

ВЕСТНИК

ISSN 0869–7698

ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО
ОТДЕЛЕНИЯ
РОССИЙСКОЙ
АКАДЕМИИ
НАУК

6
2021

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

6 (220). 2021

СОДЕРЖАНИЕ

50 лет Институту химии ДВО РАН

Е.А. БЕЛОВ, К.В. НАДАРАИА, Д.В. МАШТАЛЯР, И.М. ИМШИНЕЦКИЙ, А.К. ЦВЕТНИКОВ, С.Л. СИ- НЕБРЮХОВ, В.М. БУЗНИК, С.В. ГНЕДЕНКОВ. Композиционные покрытия, полученные методом ПЭО с последующим нанесением полимера из водной суспензии УТПФЭ	5
Д.Н. ГРИЩЕНКО, М.А. МЕДКОВ. Получение кальций-фосфатных материалов для замещения и регенера- ции костной ткани	22

50 лет Институту географии ДВО РАН

П.Я. БАКЛАНОВ, В.В. ЕРМОШИН, К.С. ГАНЗЕЙ. Основные этапы развития научных исследований в Тихоокеанском институте географии ДВО РАН	32
И.О. НЕРОВ, С.М. КРАСНОПЕЕВ, А.Н. БУГАЕЦ, В.В. БЕЛИКОВ, А.В. ГЛОТКО, Н.М. БОРИ- СОВА, Е.С. ВАСИЛЬЕВА, Ю.В. КРОЛЕВЕЦКАЯ. Опыт создания цифровой модели рельефа для гидродинамических расчетов в бассейне р. Амур	45
Е.Г. ЕГИДАРЕВ, Л.В. ГОРБАТЕНКО, Д.Г. ТЮНЯТКИН. Оценка зоны затопления поймы реки Амур в 2013 г. на основе данных космического мониторинга	56
В.Н. НЕВСКИЙ. Заметки о некоторых физико-географических науках в культуре постмодерна, синтезе и парадигмах	64

Биологические науки

В.А. НЕЧАЕВ, П.Г. ГОРОВОЙ. Миграции и особенности зимнего питания фазана (<i>Phasianus</i> <i>colchicus</i> L.) на юге Приморского края	72
И.П. ЦЕГЛОВА, В.М. ВАН. Сосудистые растения заказника «Ольджиканский»	77

Науки о Земле

В.К. ЛЕКСИН, В.А. РОМАНЮК. Исследование ледовой экзарации в прибрежной части шельфа Сахалина	94
В.В. МОРОЗ, Т.А. ШАТИЛИНА, Н.И. РУДЫХ. Формирование аномальных термических режимов в север- ной части Татарского пролива и Амурском лимане под воздействием атмосферных процессов	101

Химические науки

А.Г. ЧЕРНОБРОВИНА, Н.Е. КУЛИКОВА, Н.Н. РОЕВА, О.Ю. ПОПОВА. Влияние предварительной обра- ботки ягод красной смородины на выход фитонутриентов и комплексообразующие свойства сока	111
Т.Н. ХАМАГАНОВА. Фазы переменного состава $Cd_{1-x}M_xV_4O_7$ ($0 \leq x \leq 0,07$), $M = Tb, Eu$	118
Н.Е. КУЛИКОВА, А.Г. ЧЕРНОБРОВИНА, Н.Н. РОЕВА, О.Ю. ПОПОВА. Изучение некоторых свойств ак- тивированного ферментного препарата высокой степени очистки методами спектрального и седиментаци- онного анализов	122

Точка зрения

Ю.Д. КУЗЬМИН, В.Г. САХНО . Роль воды в эволюции Земли и планет земной группы	130
---	-----

Авторский указатель статей, опубликованных в 2021 году	145
--	-----

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 |
| д-р биол. наук В.Ю. БАРКАЛОВ | – главный научный сотрудник Федерального научного центра биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии 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 С.В. ГНЕДЕНКОВ | – директор Института химии ДВО РАН, Владивосток |
| чл.-корр. РАН А.А. ГОНЧАРОВ | – директор 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 | – зав. отделом Тихоокеанского океанологического института им. В.И. Ильичёва ДВО РАН, Владивосток |
| д.г.-м.н. О.В. ДУДАРЕВ | – главный научный сотрудник Тихоокеанского океанологического института им. В.И. Ильичёва ДВО РАН, Владивосток |
| акад. РАН Ю.Н. ЖУРАВЛЁВ | – научный руководитель Федерального научного центра биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН, Владивосток |
| д.х.н. А.И. КАЛИНОВСКИЙ | – главный научный сотрудник Тихоокеанского института биоорганической химии им. Г.Б. Елякова 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.б.н. А.С. ЛЕЛЕЙ | – зав. лабораторией Федерального научного центра биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии 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.х.н. А.Г. МИРОЧНИК | – зав. лабораторией Института химии ДВО РАН, Владивосток |
| 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 | – научный руководитель Института комплексного анализа региональных проблем ДВО РАН, Биробиджан |
| акад. РАН А.И. ХАНЧУК | – научный руководитель Дальневосточного геологического института ДВО РАН, Владивосток |
| д.г.-м.н. Р.Б. ШАКИРОВ | – зам. директора по научной работе Тихоокеанского океанологического института им. В.И. Ильичёва 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

6 (220). 2021

CONTENTS

50th anniversary of the Institute of Chemistry, FEB RAS

- E.A. BELOV, K.V. NADARAIA, D.V. MASHTALYAR, I.M. IMSHINETSKIY, A.K. TSVETNIKOV, S.L. SINEBRYUKHOV, V.M. BUZNIK, S.V. GNEDENKOV. Composite coatings obtained by the PEO-method followed by the deposition of a polymer from an aqueous suspension of UTPFE 5
- D.N. GRISHCHENKO, M.A. MEDKOV. Obtaining calcium-phosphate materials for replacement and regeneration of bone tissue 22

50th anniversary of the Institute of Geography, FEB RAS

- P.Ya. BAKLANOV, V.V. ERMOSHIN, K.S. GANZEL. The main stages in the development of the scientific research at the Pacific Geographical Institute, FEB RAS 32
- I.O. NEROV, S.M. KRASNOPEYEV, A.N. BUGAETS, V.V. BELIKOV, A.V. GLOTKO, N.M. BORISOVA, E.S. VASILEVA, Yu.V. KROLEVETSKAYA. Experience in digital terrain model generation for hydrodynamic modeling in the Amur River basin 45
- E.G. EGIDAREV, L.V. GORBATENKO, D.G. TYUNYATKIN. Assessment of the flooded zone of the Amur River floodplain in 2013 based on space monitoring data 56
- V.N. NEVSKY. Notes on some physical-geographic sciences in the postmodern culture, synthesis and paradigms 64

Biological sciences

- V.A. NECHAEV, P.G. GOROVOY. Migrations and features of the winter food allowance of the pheasant (*Phasianus colchicus* L.) in the south of Primorsky Krai 72
- I.P. SHCHEGLOVA, V.M. VAN. "Oldzhikansky" sanctuary vascular plants 77

Earth sciences

- V.K. LEKSIN, V.A. ROMANYUK. Study of ice gouging in the coastal part of the Sakhalin Island shelf 94
- V.V. MOROZ, T.A. SHATILINA, N.I. RUDYKH. The abnormally thermal regime forming in the North part of the Tatar Strait and Amur Liman under the influence of atmosphere processes 101

Chemical sciences

- A.G. CHERNOBROVINA, N.E. KULIKOVA, N.N. ROEVA, O.Yu. POPOVA. The influence of red currant berries pretreatment on phytoingredients extraction and juice complexing properties 111
- T.N. KHAMAGANOVA. Phases of variable composition $Cd_{1-x}MxB_4O_7$ ($0 \leq x \leq 0.07$), $M = Tb, Eu$ 118
- N.E. KULIKOVA, A.G. CHERNOBROVINA, N.N. ROEVA, O.Yu. POPOVA. Study of some properties of an activated enzyme preparation of a high degree of purification by methods of spectral and sedimentation analyses 122

Point of view

- Yu.D. KUZMIN, V.G. SAKHNO. The role of water in the evolution of the Earth and other terrestrial planets 130

- Author index of articles published in 2021 145

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.Y. BARKALOV, Doctor of Biological Sciences	– Principal Researcher, Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity, 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	– Head of the Department, V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute, FEB RAS, Vladivostok
O.V. DUDAREV, Doctor of Geological-Mineralogical Sciences	– Chief Researcher, V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute, FEB RAS, Vladivostok
E.Ya. FRISMAN, Corresponding Member of RAS	– Research Supervisor, Institute of Complex Analysis of Regional Problems, FEB RAS, Birobidzhan
S.V. GNEDENKOV, Corresponding Member of RAS	– Director, Institute of Chemistry, FEB RAS, Vladivostok
A.A. GONCHAROV, Corresponding Member of RAS	– Director, 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
A.I. KALINOVSKY, Doctor of Chemistry	– Principal Researcher, G.B. Elyakov Pacific Institute of Bioorganic Chemistry, 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
P.V. KRESTOV, Corresponding Member of RAS	– Director, Botanical Garden-Institute, FEB RAS, Vladivostok
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
A.S. LELEJ, Doctor of Biological Sciences	– Chief of Laboratory, Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity, 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.G. MIROCHNIK, Doctor of Chemistry	– Chief of Laboratory, Institute of Chemistry, FEB RAS, Vladivostok
A.Yu. OSEROV, 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
R.B. SHAKIROV, Doctor of Geological-Mineralogical Sciences	– Deputy Director for Research, 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	– Research Supervisor, Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity, FEB RAS, Vladivostok

Е.А. БЕЛОВ, К.В. НАДАРАИА, Д.В. МАШТАЛЯР,
И.М. ИМШИНЕЦКИЙ, А.К. ЦВЕТНИКОВ, С.Л. СИНЕБРЮХОВ,
В.М. БУЗНИК, С.В. ГНЕДЕНКОВ

Композиционные покрытия, полученные методом ПЭО с последующим нанесением полимера из водной суспензии УТПФЭ

В работе представлено комплексное исследование композиционных полимерсодержащих покрытий на магниевом сплаве МА8, сформированных плазменным электролитическим оксидированием (ПЭО) с последующим нанесением фторполимера из водной суспензии ультрадисперсного политетрафторэтилена. Методами сканирующей электронной микроскопии, энергодисперсионного и рентгенофазового анализа установлены морфологические особенности, элементный и фазовый состав композиционных покрытий. Экспериментально подтвержден факт заполнения пор фторполимером. Оценка коррозионных свойств формируемых композиционных покрытий выявила снижение плотности тока коррозии более чем на 4 порядка в сравнении с базовым ПЭО-слоем. Наибольшую стойкость к разрушающему воздействию коррозионной среды по результатам испытаний в камере соляного тумана продемонстрировали покрытия после трехкратной обработки политетрафторэтиленом. Полученные полимерсодержащие покрытия обладают антифрикционными свойствами, снижая износ покрытия более чем в 27 раз в сравнении с базовым ПЭО-слоем. Выявлено, что композиционные покрытия с двукратным внедрением УТПФЭ обладают супергидрофобными свойствами: значения контактного угла достигают 154° , а гистерезис контактного угла меньше 10° .

Ключевые слова: коррозия, износ, композиционные покрытия, плазменное электролитическое оксидирование, магниевые сплавы, УТПФЭ, водная суспензия, гидрофобные покрытия.

Composite coatings obtained by the PEO-method followed by the deposition of a polymer from an aqueous suspension of UTPFE. E.A. BELOV¹, K.V. NADARAIA^{1,2}, D.V. MASHTALYAR^{1,2}, I.M. IMSHINETSKIY¹, A.K. TSVETNIKOV¹, S.L. SINEBRYUKHOV¹, V.M. BUZNIK^{1,3}, S.V. GNEDENKOV¹ (¹Institute of Chemistry, FEB RAS, Vladivostok; ²Far Eastern Federal University, Vladivostok; ³All-Russian Research Institute of Aviation Materials, Moscow).

The paper presents a comprehensive study of composite polymer-containing coatings on the MA8 magnesium alloy, formed by plasma electrolytic oxidation (PEO) followed by the deposition of a fluoropolymer from an aqueous suspension of ultradispersed polytetrafluoroethylene. By the methods of scanning electron microscopy, energy dispersive

*БЕЛОВ Евгений Алексеевич – младший научный сотрудник, ИМШИНЕЦКИЙ Игорь Михайлович – кандидат химических наук, старший научный сотрудник, ЦВЕТНИКОВ Александр Константинович – кандидат химических наук, заведующий лабораторией, СИНЕБРЮХОВ Сергей Леонидович – доктор химических наук, заместитель директора, ГНЕДЕНКОВ Сергей Васильевич – член-корреспондент РАН, доктор химических наук, директор (Институт химии ДВО РАН, Владивосток), МАШТАЛЯР Дмитрий Валерьевич – доктор химических наук, заведующий лабораторией, доцент, НАДАРАИА Константин Вахтангович – кандидат химических наук, старший научный сотрудник, старший преподаватель (Институт химии ДВО РАН, Владивосток, Дальневосточный федеральный университет, Владивосток), БУЗНИК Вячеслав Михайлович – академик РАН, советник генерального директора ВИАМ (Институт химии ДВО РАН, Владивосток, Всероссийский исследовательский институт авиационных материалов, Москва). *E-mail: belov_eal@mail.ru

and X-ray phase analysis, morphological features, elemental and phase composition of composite coatings have been established. The fact of filling the pores with a fluoropolymer has been experimentally confirmed. Evaluation of the corrosion properties of the formed composite coatings revealed a decrease in the corrosion current density by more than 4 orders of magnitude in comparison with the base PEO layer. The highest resistance to the destructive effects of a corrosive environment, according to the results of tests in a salt fog chamber, was demonstrated by coatings after three times treatment with polytetrafluoroethylene. The resulting polymer-containing coatings have antifriction properties, reducing coating wear by more than 27 times in comparison with the base PEO layer. It was found that composite coatings have superhydrophobic properties: the contact angle reaches 154°, and the contact angle hysteresis is less than 10°.

Key words: corrosion, wear, composite coatings, plasma electrolytic oxidation, magnesium alloys, UTPFE, aqueous suspension, hydrophobic coatings.

Введение

Перспективы применения магниевых сплавов для различных отраслей промышленности определяются их высокой прочностью, низкой плотностью и высокой демпфирующей способностью [6, 8]. Данные сплавы имеют значительные перспективы применения в машино-, авиа- и ракетостроении, медицине, электронике и т.д. [6, 21, 34]. Но низкое сопротивление коррозии [8] и износу [25] существенно ограничивает применение магниевых сплавов.

Формирование защитных покрытий на поверхности магниевых сплавов является перспективным направлением защиты материалов от агрессивного воздействия окружающей среды [2, 3, 9, 20, 22, 23, 41]. Применение плазменного электролитического оксидирования как метода создания прочного противокоррозионного покрытия на поверхности металлов и сплавов рассматривалось в работах [7, 11, 18, 28, 30, 38], в которых представлены принципы формирования и характеристики керамикоподобных покрытий.

Защитные свойства ПЭО-покрытий обусловлены их химическим составом и морфологической структурой. Особенности формирования покрытий плазменным электролитическим оксидированием предполагают наличие внешнего пористого и внутреннего барьерного слоев. Пористость ПЭО-покрытий варьирует от 5 до 50 %, размеры пор – от 0,01 до 10 мкм [1, 27, 29, 36, 39]. Таким образом, противокоррозионные свойства покрытий определяются характеристиками плотного барьерного слоя на границе раздела сплав/покрытие, а именно его толщиной, дефектностью и составом. Причем, как правило, внутренний слой по толщине гораздо меньше внешнего пористого. В то же время благодаря такой морфологической структуре ПЭО-слой может служить хорошей основой для создания композиционных покрытий (КП), позволяющих придать новые функциональные свойства обрабатываемой поверхности, как было представлено в работах [12, 13, 26]. В этом случае основным перспективным подходом является заполнение пор ПЭО-покрытия материалами, обладающими необходимым набором служебных характеристик. Одним из таких перспективных материалов является политетрафторэтилен – химически инертный, электроизоляционный материал, обладающий антифрикционными свойствами и имеющий очень широкий диапазон рабочих температур от –200 до +320 °С [10]. В связи с этим в статьях [17, 33, 40] рассматривались методы формирования композиционных покрытий с применением метода ПЭО и фторполимера.

Одним из ключевых факторов, влияющих на свойства композиционного покрытия, является способ нанесения политетрафторэтилена на предварительно сформированный ПЭО-слой. Ранее использовались методы трибоэлектрического [15, 16, 19], электрофоретического нанесения [14], а также методы распыления [32] или погружения [17, 31, 33] с применением суспензии ультрадисперсного политетрафторэтилена (УПТФЭ) торговой марки «Форум®» в изопропанол. Однако применение спиртовой суспензии сопряжено с определенными технологическими ограничениями. Изопропиловый спирт, который служит для суспензии дисперсной средой, – легколетучее и горючее вещество, обладающее резким неприятным запахом и опьяняющим наркотическим эффектом. Работа с ним

требует специальных мер предосторожности для предотвращения возможных возгораний или отравлений персонала. Нами разработана и применена методика нанесения водной суспензии УПТФЭ [5]. В статье описана данная методика формирования покрытий, приведены результаты детального исследования свойств полученных композиционных слоев в зависимости от кратности обработки образцов с ПЭО-покрытием в водной суспензии УПТФЭ и результаты климатических испытаний.

Материалы и методики

Подготовка образцов. В качестве подложки для изготовления образцов использовали магниевый сплав МА8 (система Mg–Mn–Se, в масс. %: 1,30 Mn; 0,15 Se; остальное – Mg). Размеры образцов $30 \times 20 \times 1$ мм. Перед нанесением покрытий образцы подвергали механической обработке шлифовальной бумагой с уменьшением последовательной зернистости до 30 мкм. Затем образцы промывали в дистиллированной воде и спирте в ультразвуковой ванне в течение 5 мин.

Приготовление суспензии. Для приготовления суспензии в качестве дисперсной фазы в данной работе применяли ультрадисперсный политетрафторэтилен торговой марки «Форум®», полученный методом термоградиентного синтеза при переработке фторопласта марки Ф-4 [24]. В качестве дисперсной среды использовалась дистиллированная вода. Концентрация УПТФЭ в воде составляла 20 %. Политетрафторэтилен обладает гидрофобными свойствами, поэтому получить устойчивую суспензию простым смешением компонентов невозможно. Для стабилизации электролитической системы и повышения смачиваемости частиц УПТФЭ в суспензию дополнительно добавляли неионогенное поверхностно-активное вещество ОП-10 ($R_2C_6H_4O(C_2H_4O)_{10}$) в концентрации $C = 25$ г/л.

Формирование покрытий. В соответствии с ранее разработанными принципами направленного синтеза покрытий на поверхности металлов и сплавов [18] и выводами, сделанными из анализа литературных данных [4, 35, 41], для формирования базового ПЭО-слоя был использован силикатно-фторидный электролит, содержащий 15 г/л ортосиликата натрия (Na_4SiO_4) и 5 г/л фторида натрия (NaF). Образцы обрабатывались плазменным электролитическим окислением в два этапа в биполярном режиме, в котором анодные импульсы периодически чередуются с катодными [18]. На первом этапе в анодной компоненте напряжение повышали с 20 до 240 В со скоростью 1,05 В/с, катодная компонента была зафиксирована потенциостатически на значении –40 В. На втором этапе напряжение изменялось в анодной части с 240 до 200 В со скоростью 0,07 В/с, в катодной с –40 до –10 В со скоростью 0,05 В/с. Длительность первого этапа – 200 с, второго – 600 с. Соотношение длительности анодного и катодного импульсов было равно 1, коэффициент заполнения равен 50 %, частота поляризации – 300 Гц. Во время процесса окисления температуру электролита (8 °С) поддерживали с помощью охлаждающей установки ChillerSmart H150-3000 (LabTech Group, Великобритания).

Формирование композиционных покрытий осуществлялось методом окунания (погружения) образцов на 10 с в водную суспензию фторполимера, с последующей сушкой на воздухе при нормальных условиях. Затем образцы термически обрабатывались при температуре 315 °С в течение 15 мин. Термическая обработка проводилась после каждого нанесения полимера с целью внедрения его в пористую часть покрытия [15, 24, 33]. В данной работе влияние количества полимерных слоев на свойства формируемых композиционных покрытий представлено для образцов с одно- (КП-1Х), дву- (КП-2Х) и трехкратным (КП-3Х) нанесением УПТФЭ.

Исследование состава и морфологии покрытий. Для оценки морфологических особенностей исследуемых образцов был использован метод сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) на установках Evex Mini-SEM (Evex Analytical Instruments, США) и EVO 40

(Carl Zeiss, Германия). Элементный состав покрытий исследован на микроскопе EVO 40 (Carl Zeiss, Германия), оснащенном прибором для проведения энергодисперсионного анализа INCA X-act (Oxford Instruments, Великобритания).

Фазовый состав поверхностных слоев определяли в Центре коллективного пользования «Дальневосточный центр структурных исследований» (ИХ ДВО РАН) на многоцелевом рентгеновском дифрактометре Rigaku (SmartLab, Япония) (CuK α -излучение). При съемке использовалась классическая фокусировка по геометрии Брегга–Брентано в интервале углов по 2Θ от 5 до 80° с шагом сканирования 0,02° и временем экспозиции 1 с в каждой точке. При выполнении рентгенофазового анализа (РФА) была использована программа поиска «EVA» с банком данных «PDF-2» для порошковых образцов.

Изучение электрохимических свойств покрытий. Электрохимические параметры образцов магниевого сплава без обработки, с ПЭО-слоем и с композиционными покрытиями были исследованы методами потенциодинамической поляризации и электрохимической импедансной спектроскопии (ЭИС) с применением электрохимической системы VersaSTAT MC (Princeton Applied Research, США). Измерения проводили в трехэлектродной ячейке при комнатной температуре в 3%-м растворе NaCl. В качестве противоэлектрода была использована платинированная ниобиевая сетка. Электродом сравнения служил насыщенный каломельный электрод (н.к.э.), все значения потенциала, приведенные в данной работе, представлены относительно данного электрода. Рабочая площадь поверхности образцов составляла 1 см². Перед началом электрохимических измерений образцы выдерживали в растворе в течение 30 мин для достижения стационарного состояния на границе раздела электрод/электролит. Во время выдержки фиксировалось значение электродного потенциала, последнее измеренное значение стабилизировалось потенциостатически при проведении измерений методом ЭИС. Во время записи импедансного спектра синусоидальный сигнал имел амплитуду 10 мВ (среднеквадратичное значение). Измерения выполняли в диапазоне частот от 0,01 Гц до 1 МГц при логарифмической развертке 10 точек на декаду.

Для детального исследования изменения свойств полученных покрытий в 3%-м растворе NaCl образцы выдерживали в электролите при комнатной температуре в течение 72 ч с записью импедансных спектров после 1, 24 и 72 ч в том же диапазоне частот, но при логарифмической развертке 7 точек на декаду.

Запись потенциодинамических кривых проводили при скорости развертки потенциала 1 мВ/с в диапазоне от $E_c - 0,15$ В до $E_c + 0,50$ В. Для описания экспериментальной зависимости плотности тока I от потенциала E применялся метод Левенберга–Марквардта (LEV) по уравнению

$$I = I_c \left(10^{\frac{E-E_c}{\beta_a}} + 10^{\frac{E-E_c}{\beta_c}} \right). \quad (1)$$

Данный метод позволяет получить наиболее точные расчетные значения таких параметров, как потенциал коррозии E_c , плотность тока коррозии I_c , а также константы тафелевской зависимости катодного β_c и анодного β_a участков поляризационной кривой.

Поляризационное сопротивление R_p было определено в отдельном эксперименте при потенциодинамической поляризации образца в области потенциалов $\Delta E = E_c \pm 20$ мВ со скоростью развертки 0,167 мВ/с, в которой наблюдается линейная зависимость $I = f(E)$. Расчет значений R_p выполнен по формуле $R_p = \Delta E / \Delta I$.

Оценка износостойкости покрытий. Износостойкость покрытий определяли на установке TRB-S-DE (CSM Instruments, Швейцария). Испытания проводили по схеме «шар-диск» при комнатной температуре при скорости скольжения 50 мм/с до полного истирания покрытия в режиме сухого трения при нагрузке 10 Н. Трек движения контртела по образцу представлял окружность диаметром 10 мм. В качестве контртела служил корундовый шар (α -Al₂O₃) диаметром 10 мм. Профиль трека износа покрытий устанавливали с применением профилометра Surtronic 25 (Taylor Hobson Ltd, Великобритания).

Скорость износа материала была рассчитана по формуле

$$P = \frac{\Delta V_{\text{образца}}}{NF}, \quad (2)$$

где P – скорость износа, $\text{мм}^3/(\text{Н}\cdot\text{м})$; $\Delta V_{\text{образца}}$ – потеря объема образца при испытании, мм^3 ; N – длина пробега, мм ; F – приложенная нагрузка, Н ; $\Delta V = SL$, где L – длина окружности трека истирания, мм , S – площадь сечения трека износа, мм^2 .

Во всех проведенных экспериментах износ контртела не был обнаружен и не учитывался при расчете.

Оценка адгезионных свойств покрытий. Адгезионные характеристики покрытий оценивали с помощью установки Revetest Scratch Tester (CSM Instruments, Швейцария). Исследование адгезии царапанием проводили путем измерения критической нагрузки, при которой наблюдались характерные разрушения покрытия. Индентор представлял собой конический алмазный наконечник (типа Роквелла) с углом при вершине 120° и радиусом закругления 200 мкм . Путь перемещения индентора вдоль поверхности образца составлял 5 мм , при увеличении прилагаемой нагрузки от 1 до 20 Н со скоростью $0,1 \text{ Н/с}$.

Оценка смачиваемости покрытий. Смачиваемость полученных покрытий исследована методом сидячей капли при помощи прибора DSA100 (Krüss, Германия) согласно методике, изложенной в [40]. Тестовой жидкостью была дистиллированная вода. Объем капли составлял 10 мкл . При расчете контактного угла применялся метод Юнга–Лапласа для учета искажения формы капли под действием гравитационной силы [37].

Измерение угла натекания и угла оттекания проводили согласно методике [40]. Гистерезис контактного угла рассчитывался как разница между углом натекания и углом оттекания.

Результаты и обсуждения

Морфология и состав покрытий

Свойства исследуемых в данной работе композиционных покрытий, формируемых при различной кратности обработки образца с базовым ПЭО-слоем в водной суспензии УПТФЭ, обусловлены изменением морфологического строения покрытия и заполненности его пор фторполимером. Анализ поверхности композиционных покрытий показывает, что при однократном нанесении полимера количество видимых пор и дефектов резко снижается (с 37 до 3%) по сравнению с базовым ПЭО-слоем (рис. 1, б). Дальнейшее увеличение кратности нанесения УПТФЭ приводит к уменьшению неоднородности поверхности и возрастанию сплошности полимерного покрытия (рис. 1, в, з). Также стоит отметить образование микротрещин на поверхности полимерного слоя (рис. 1, б, в, з), появление которых обусловлено неравномерностью распределения напряжений, возникающих в результате термической обработки и последующего охлаждения образца.

Согласно данным рентгенофазового анализа, в составе ПЭО-покрытия присутствуют периклаз (MgO) и форстерит (Mg_2SiO_4) (рис. 2). Наличие данных фаз является следствием взаимодействия компонентов электролита с материалом подложки в процессе плазменного электролитического оксидирования [33]. На дифрактограмме композиционного покрытия с однократным нанесением фторполимера (рис. 2) присутствуют пики политетрафторэтилена, которые указывают на внедрение полимера в ПЭО-покрытие при формировании композиционных слоев.

Фиксируемое на спектрах РФА (рис. 2) возрастание интенсивности пика при $2\theta = 18\text{--}19^\circ$ с увеличением кратности нанесения УПТФЭ обусловлено повышением доли кристаллического политетрафторэтилена в составе покрытия.

Распределение элементов по толщине КП-3Х было исследовано методом энергодисперсионного анализа на поперечном шлифе (рис. 3). Относительно однородное распределение

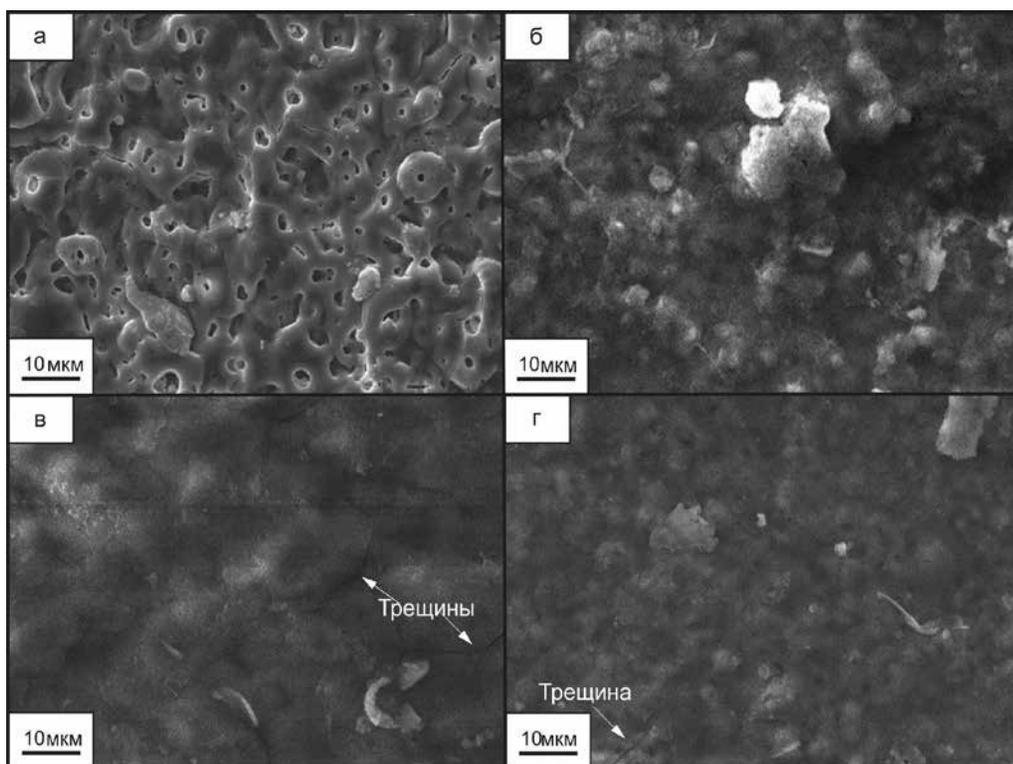


Рис. 1. СЭМ-изображения поверхности образцов с базовым ПЭО-покрытием (а), КП-1Х (б), КП-2Х (в) и КП-3Х (г)

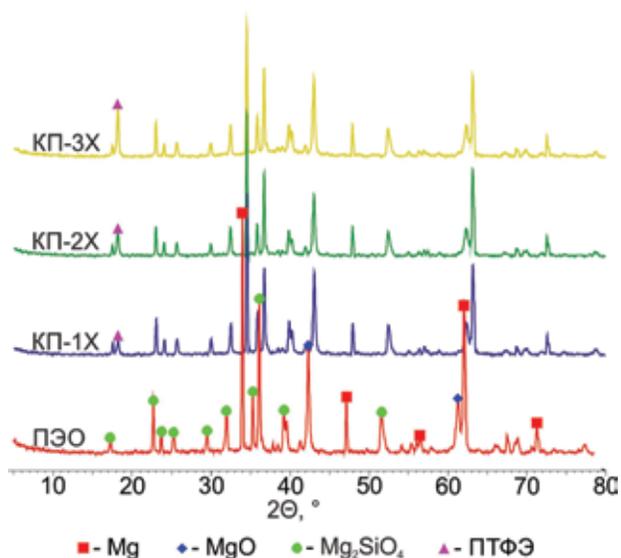


Рис. 2. Дифрактограммы образцов с различными типами поверхностной обработки

по толщине покрытия таких элементов, как магний, кремний и кислород, является следствием образования в ходе ПЭО оксида и ортосиликата магния. Характер распределения по толщине покрытия КП-3Х компонентов УПТФЭ, углерода и фтора, свидетельствует о заполнении пор ПЭО-слоя и образовании на его поверхности дополнительного защитного

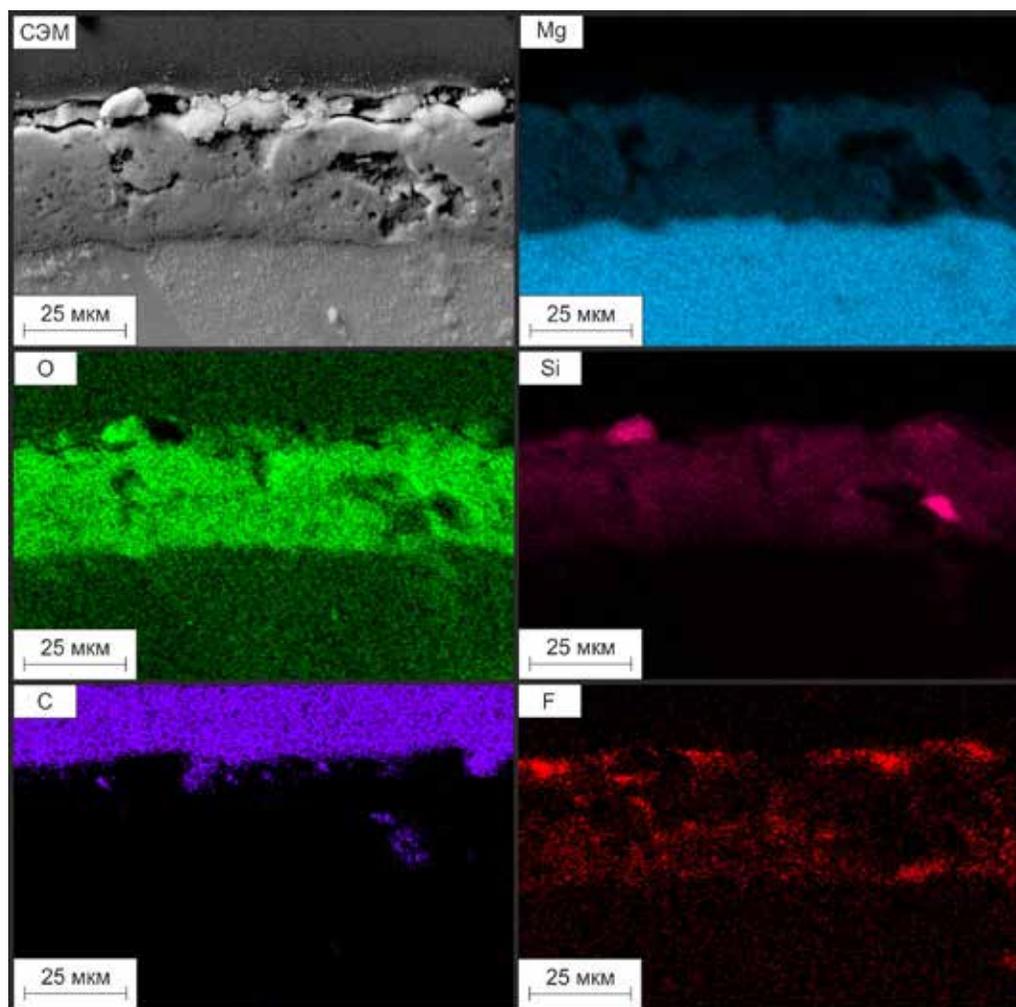


Рис. 3. СЭМ-изображение поперечного шлифа КП-3Х с распределением элементов в толщине покрытия

фторполимерного слоя (рис. 3). По данным, полученным методом энергодисперсионной спектроскопии (ЭДС), можно выявить проникновение в поры исходного ПЭО-слоя политетрафторэтилена и образование полимерной пленки на его поверхности. Таким образом, сформированное композиционное покрытие изолирует металлическую подложку от окружающей среды.

Электрохимические испытания

Магниевый сплав без покрытия демонстрирует относительно стабильные в течение исследуемого времени значения электродного потенциала около $-1,65$ В. В условиях агрессивной среды на сплаве происходит постоянное образование и разрушение оксидно/гидроксидного слоя, включающего продукты коррозии (рис. 4).

Электродный потенциал образца с ПЭО-покрытием приблизительно равен $-1,6$ В и также практически не изменяется в течение выдержки в 3% NaCl. Для образцов с композиционными покрытиями электродный потенциал возрастает при увеличении кратности нанесения УПТФЭ (рис. 4) и он существенно выше, чем потенциал для образца без покрытия и с ПЭО-покрытием. В то же время характер изменения электродного потенциала

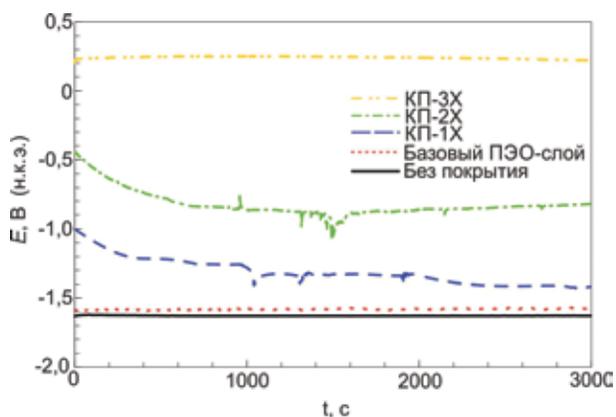


Рис. 4. Динамика изменений коррозионного потенциала в течение 50 мин выдержки в 3%-м растворе NaCl для образцов с различными видами поверхностной обработки

образца с композиционным покрытием КП-2Х, для которого было зафиксировано падение потенциала с $-0,5$ до $-0,8$ В в течение первых 10 мин с дальнейшей стабилизацией до значений около $-0,9$ В (рис. 4).

Наиболее высокое значение электродного потенциала было зафиксировано для образца с композиционным покрытием КП-3Х. Наблюдаются стабильные значения потенциала около $0,25$ В на протяжении всего времени эксперимента в отличие от других образцов с композиционными покрытиями (рис. 4). Такое поведение электродного потенциала во времени является следствием заполнения пористой части (пор и дефектов) ПЭО-слоя полимером и формирования сплошного полимерсодержащего слоя (рис. 1, 2, рис. 4).

Коррозионные свойства образцов были исследованы методами потенциодинамической поляризации (рис. 5) и электрохимической импедансной спектроскопии (рис. 6) (табл. 1). Анализ представленных данных показывает, что ПЭО-покрытие уже само по себе увеличивает коррозионную стойкость на 2 порядка по сравнению с магниевым сплавом без покрытия. Композиционные же покрытия позволяют снизить плотность токов коррозии I_c более чем на 3 порядка в сравнении с базовым ПЭО-слоем (табл. 1).

Спектры, полученные методом электрохимической импедансной спектроскопии, представлены на рис. 6 в виде диаграмм Боде (зависимость модуля импеданса $|Z|$ от частоты f) и Найквиста (зависимость мнимой части импеданса Z'' от действительной Z').

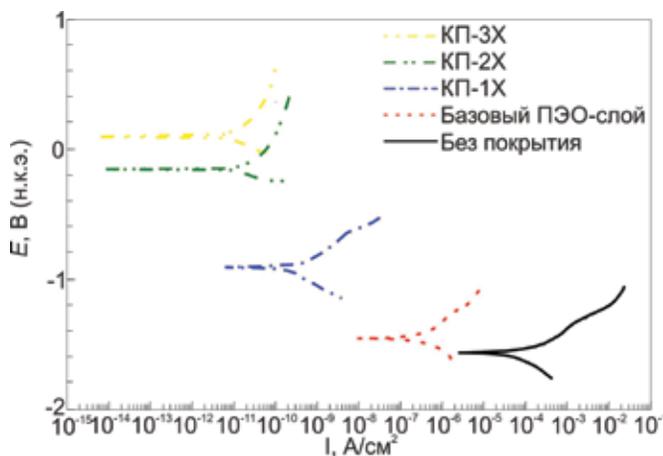


Рис. 5. Поляризационные кривые для образцов с различными видами поверхностной обработки

**Коррозионные свойства образцов из магниевого сплава МА8
с различными покрытиями в 3%-м растворе NaCl**

Образец	R_p , Ом·см ²	I_c , А/см ²	E_c , В	$ Z _{f=0,01 \text{ Гц}}$, Ом·см ²
Без покрытия	489,5	$3,3 \cdot 10^{-5}$	-1,56	717,7
С ПЭО-покрытием	$1,03 \cdot 10^8$	$2,4 \cdot 10^{-7}$	-1,43	$6,3 \cdot 10^4$
КП-1Х	$2,2 \cdot 10^8$	$2,5 \cdot 10^{-10}$	-0,91	$1,3 \cdot 10^8$
КП-2Х	$2,9 \cdot 10^8$	$1,6 \cdot 10^{-10}$	-0,18	$1,8 \cdot 10^9$
КП-3Х	$6,3 \cdot 10^8$	$7,7 \cdot 10^{-11}$	0,12	$2,8 \cdot 10^9$

Для описания эквивалентных электрических схем (ЭЭС) в данной работе использован элемент постоянной фазы CPE (constant phase element) вместо идеальной емкости. Использование CPE в эквивалентных электрических схемах обусловлено гетерогенностью исследуемых систем. Импеданс CPE можно выразить при помощи формулы

$$Z_{\text{CPE}}(\omega) = 1 / Q(i\omega)^n. \quad (3)$$

Это подтверждается анализом расчетных параметров элементов электрических эквивалентных схем (табл. 2) согласно формуле (3), где Q – предэкспоненциальный множитель, который является частотно независимым параметром, $i = \sqrt{-1}$ – мнимая единица, $\omega = 2\pi f$ – угловая частота, n – показатель степени, определяющий характер частотной зависимости ($-1 \leq n \leq 1$).

Исходя из анализа полученных результатов ЭИС, формирование на поверхности магниевого сплава МА8 ПЭО-покрытия приводит к увеличению значений модуля импеданса на низких частотах $|Z|_{f=0,01 \text{ Гц}}$ почти на 2 порядка по сравнению с магниевым сплавом без покрытия. Формирование композиционного полимерсодержащего покрытия позволяет увеличить $|Z|_{f=0,01 \text{ Гц}}$ более чем на 4 порядка в сравнении с ПЭО-покрытием. Каждая последующая обработка УПТФЭ, согласно табл. 1, увеличивает значения модуля импеданса $|Z|_{f=0,01 \text{ Гц}}$ в 1,5–2 раза.

Наиболее высокие значения модуля импеданса были получены для КП-3Х (табл. 1). Для образца после трехкратной обработки ПЭО-слоя в суспензии УПТФЭ $|Z|_{f=0,01 \text{ Гц}} = 1,14 \cdot 10^9$ Ом·см², что более чем на 6 порядков превосходит данную величину для образца без покрытия и на 5 – для образца с ПЭО-покрытием. Такое существенное повышение модуля импеданса для КП в сравнении с базовым ПЭО-покрытием является следствием запечатывания фторорганическим материалом пор и дефектов базового ПЭО-слоя (рис. 1, 5, 6).

Согласно результатам проведенного электрохимического моделирования, спектр для образца без покрытия (рис. 6) может быть описан с применением упрощенной электрической эквивалентной схемы с одной R_2 -CPE₂-цепочкой (рис. 7), где R_2 – сопротивление переносу заряда, а CPE₂ – емкость двойного электрического слоя (табл. 2). В этом случае главный пик находится в области средних частот.

Для образца с базовым ПЭО-покрытием зависимость фазового угла от частоты демонстрирует наличие двух временных констант. Таким образом, экспериментальный спектр может быть описан двухцепочечной последовательно-параллельной ЭЭС (рис. 7), в которой цепочка R_2 -CPE₂ отвечает за беспористый подслой ПЭО-покрытия, а R_1 -CPE₁ – за пористую его часть.

Графики зависимости фазового угла от частоты для композиционных покрытий демонстрируют несколько перегибов, которые обуславливают выбор соответствующей ЭЭС, описывающей экспериментальные данные (рис. 7). Спектры всех образцов с композиционными покрытиями могут быть смоделированы трехцепочечной ЭЭС, в которой

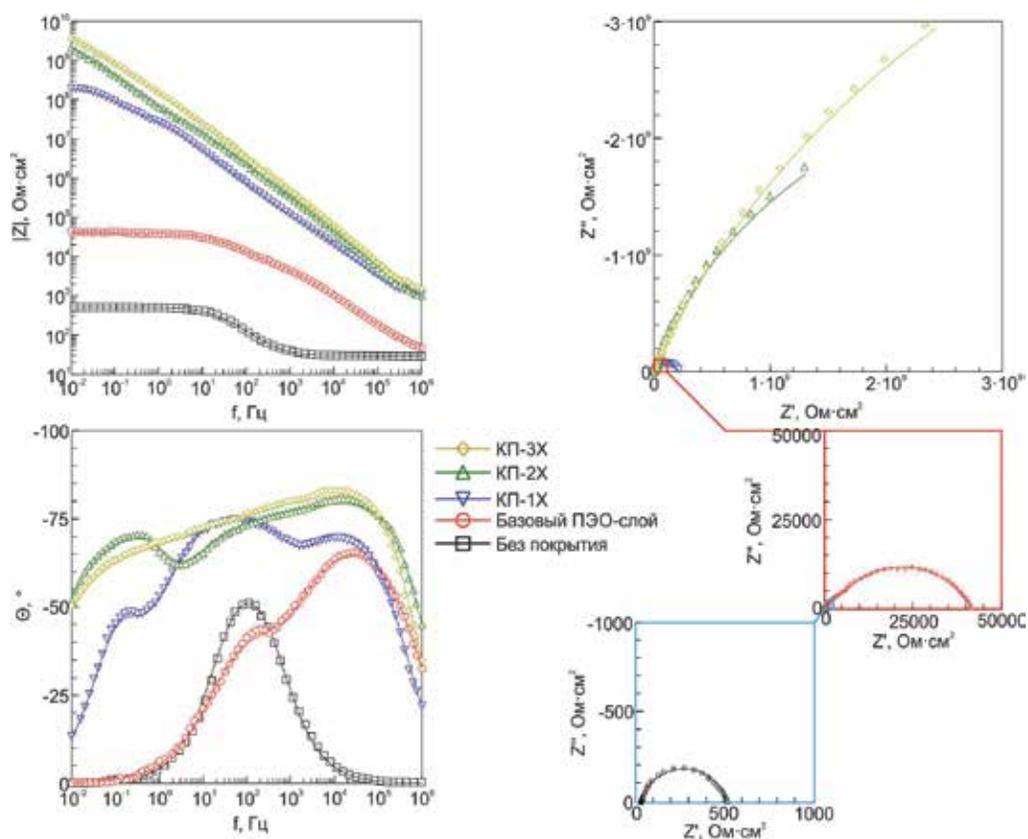


Рис. 6. Диаграмма Бодэ (изменение модуля импеданса $|Z|$ и фазового угла Θ от частоты f) и Найквиста (зависимость мнимой части импеданса Z'' от действительной Z') образцов с различными видами поверхностной обработки. Экспериментально полученные данные представлены на графиках символами, а теоретические кривые, описывающие спектры на основании соответствующих ЭЭС (рис. 7), – сплошной линией

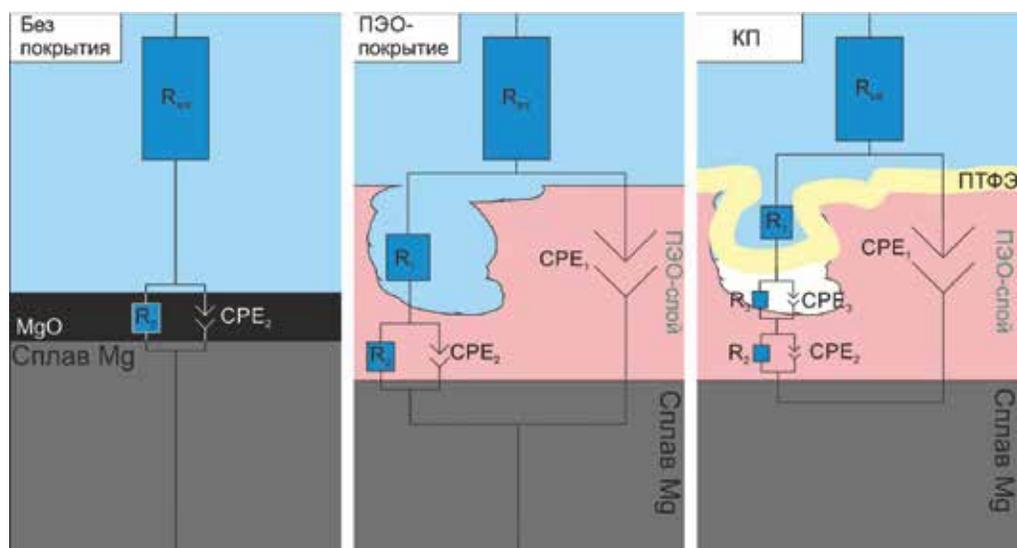


Рис. 7. Эквивалентные электрические схемы для металла без покрытия, с ПЭО-слоем и композиционным слоем

элементы CPE_1 и R_1 отвечают, соответственно, за геометрическую емкость всего покрытия и сопротивление электролита в порах. R_2-CPE_2 -цепочка описывает поведение плотного беспористого подслоя композиционного покрытия, а R_3-CPE_3 ответственна за псевдослой воздушных пузырей, присутствующих в порах ПЭО-покрытия и запечатанных сверху полимерной пробкой.

Анализ импедансных спектров образцов с КП позволяет сделать вывод о емкостном характере границы раздела электрод/электролит для данного вида покрытия, что говорит о высокой однородности формируемых покрытий и отсутствии в нем дефектов и трещин. Очевидно, что все вышеперечисленные свойства композиционных слоев являются следствием запечатывания фторполимером пор и дефектов в базовом ПЭО-покрытии.

Таблица 2

Расчетные параметры эквивалентных электрических схем с различными видами поверхностной обработки

Образец	R_1 , Ом·см ²	CPE		R_2 , Ом·см ²	CPE		R_3 , Ом·см ²	CPE	
		Q_1 , Ом ⁻¹ ·см ⁻² ·с ⁿ	n_1		Q_2 , Ом ⁻¹ ·см ⁻² ·с ⁿ	n_2		Q_3 , Ом ⁻¹ ·см ⁻² ·с ⁿ	n_3
Без покрытия	–	–	–	477	$3,32 \cdot 10^{-5}$	0,85	–	–	–
С ПЭО-покрытием	8994	$2,1 \cdot 10^{-7}$	0,76	$33 \cdot 10^3$	$9,87 \cdot 10^{-7}$	0,65	–	–	–
КП-1Х	1084	$7,40 \cdot 10^{-9}$	0,54	9911	$3,57 \cdot 10^{-9}$	0,98	$2,4 \cdot 10^8$	$4,84 \cdot 10^{-9}$	0,85
КП-2Х	1728	$2,52 \cdot 10^{-9}$	0,70	$3,20 \cdot 10^6$	$4,23 \cdot 10^{-10}$	0,99	10^{10}	$1,03 \cdot 10^{-9}$	0,99
КП-3Х	1628	$1,01 \cdot 10^{-9}$	0,60	$4,01 \cdot 10^6$	$9,7 \cdot 10^{-10}$	0,94	$1,2 \cdot 10^{10}$	$7,23 \cdot 10^{-10}$	0,98

Повышение R_1 и снижение Q_1 – параметров, характеризующих пористую часть покрытий, для композиционных слоев в сравнении с ПЭО-покрытием является следствием сужения (уменьшения сечения) оставшихся пор и увеличения толщины КП после обработки УПТФЭ. Наблюдаемая тенденция повышения сопротивления беспористого подслоя R_2 и снижения предэкспоненциального множителя Q_2 во второй временной константе есть результат увеличения толщины беспористого подслоя вследствие осаждения ПТФЭ на дне пор в процессе формирования композиционного покрытия. Высокие значения электрического сопротивления R_3 и низкие – предэкспоненциального множителя Q_3 для композиционных покрытий характеризуют проводимость и толщину воздушной прослойки, находящейся между беспористым подслоем и полимерной пробкой.

Для проверки коррозионной стойкости полученных композиционных слоев при долговременном контакте с агрессивной средой образцы выдерживали в 3%-м растворе NaCl в течение 72 ч с записью импедансного спектра после 1, 24 и 72 ч выдержки. Исходя из представленных данных (рис. 8, табл. 3), модуль импеданса $|Z|_{f=0,01 \text{ Гц}}$ для композиционных покрытий снижается на порядок в течение 1 ч выдержки в сравнении с выдержкой 0,5 ч (спектры для КП после 0,5 ч выдержки в электролите см. на рис. 6).

Таблица 3

Показатели модуля импеданса $|Z|_{f=0,01 \text{ Гц}}$ при выдержке образцов в 3%-м растворе NaCl

Образец	1 ч	24 ч	72 ч
КП-1Х	$1,43 \cdot 10^7$	$3,33 \cdot 10^5$	$1,46 \cdot 10^5$
КП-2Х	$2,08 \cdot 10^8$	$1,41 \cdot 10^6$	$3,36 \cdot 10^5$
КП-3Х	$2,1 \cdot 10^8$	$9,57 \cdot 10^6$	$1,31 \cdot 10^7$

Показатель импеданса после 24 ч испытаний заметно снижается в сравнении с первоначальным. После 72 ч композиционные покрытия демонстрируют снижение защитных свойств, а наблюдаемое поведение защитного слоя схоже с поведением металла, защищенного слоем продуктов коррозии. Данный факт обусловлен образованием в не закрытых

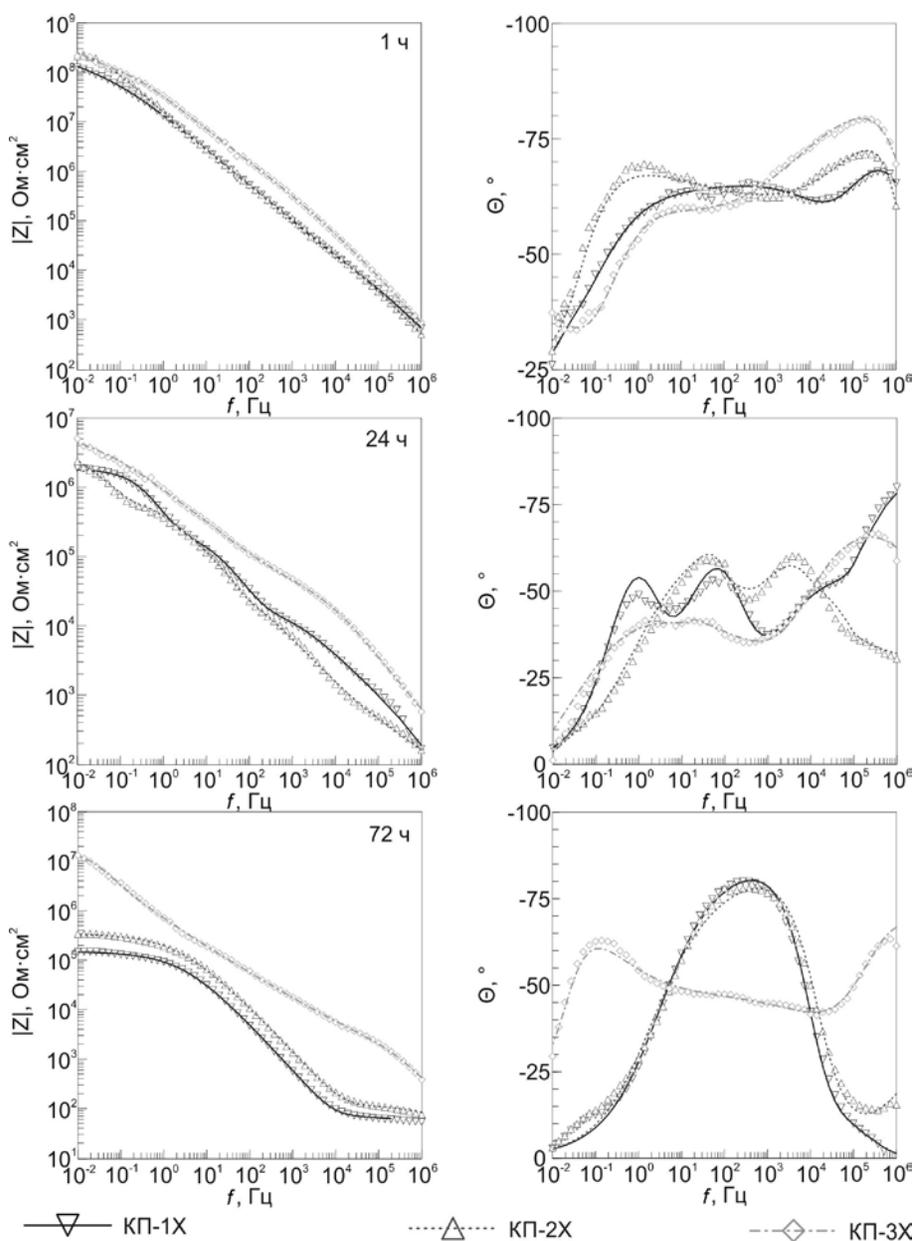


Рис. 8. Диаграмма Бode образцов с различными видами поверхностной обработки после выдержки различной длительности в 3%-м растворе NaCl: 1 ч (а), 24 ч (б), 72 ч (в). Символами обозначены экспериментальные данные, линией – расчетные спектры

полимером порах и микродефектах (для КП-3Х их количество наименьшее по сравнению с КП-1Х и КП-2Х) продуктов коррозии, которые блокировали доступ агрессивной среды к подложке.

Испытания в среде 3%-го раствора NaCl оказали серьезное воздействие на сформированные композиционные покрытия. Наличие даже мельчайших пор ведет к проникновению агрессивной среды к металлу подложки, образованию продуктов коррозии, подрыву защитного покрытия и формированию очагов разрушения. Это приводит к сильной деградации защитного слоя. О разрушении покрытий свидетельствуют увеличение показателей плотности тока коррозии и снижение модуля импеданса и поляризационного сопротивления.

Износостойкость покрытий

Результаты трибологических испытаний, представленные в виде зависимости коэффициента трения от количества оборотов контртела (рис. 9), показывают существенное влияние фторполимерного материала на износостойкость покрытий, а также на ход процесса истирания. Так, базовое ПЭО-покрытие истирается за $\sim 2\,200$ оборотов (рис. 9). При этом наблюдается постепенный рост коэффициента трения, что является следствием равномерного истирания ПЭО-слоя в ходе эксперимента (рис. 9). Характер износа полимерсодержащих покрытий существенно меняется. Вне зависимости от кратности нанесения УПТФЭ для всех композиционных слоев можно выделить два этапа истирания: 1) равномерное истирание внешнего полимерсодержащего слоя (полимер находится на поверхности и в порах КП), характеризуемое низкими значениями коэффициента трения около $0,10\text{--}0,30$ (рис. 9); 2) истирание композиционного слоя, не содержащего полимера в порах, до металла, при котором наблюдается резкий рост коэффициента трения до $0,55\text{--}0,70$ (рис. 9).

Стоит отметить, что продолжительность первого этапа зависит от количества фторполимера в порах и на поверхности. Так, образец КП-3Х выдерживает наибольшее (около 100 000) количество оборотов до второго этапа (рис. 9). Второй этап для КП-1Х и КП-2Х меняется незначительно и остается в пределах 10 000 оборотов, а для образца с КП-3Х составляет более 30 000 оборотов.

Таким образом, износостойкость образцов в первую очередь зависит от количества фторполимера, внедренного в морфологическую структуру покрытий. Низкий коэффициент трения (около $0,10$) на длительном участке зависимости (рис. 9) свидетельствует о высоких антифрикционных свойствах композиционных покрытий.

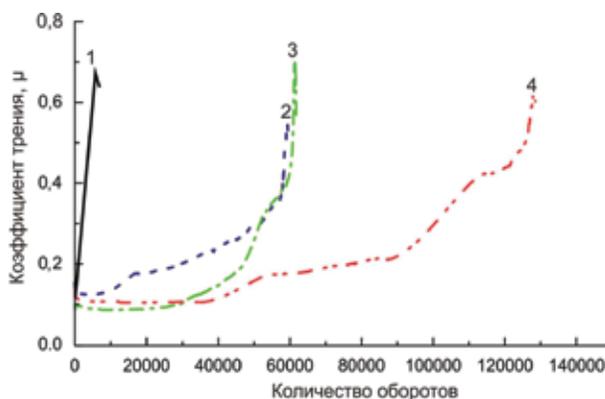


Рис. 9. Зависимость коэффициента трения от количества оборотов для образцов после различной поверхностной обработки для базового ПЭО-слоя (1), КП-1Х (2), КП-2Х (3) и КП-3Х (4)

Таблица 4

Износ и адгезионные свойства образцов из магниевого сплава МА8

Покрытие	Износ, $\text{мм}^3/(\text{Н}\cdot\text{м})$	L_{C2} , Н	L_{C3} , Н
Базовый ПЭО-слой	$1,7 \cdot 10^{-3}$	4,6	10,2
КП-1Х	$9,9 \cdot 10^{-4}$	6,7	11,9
КП-2Х	$2,0 \cdot 10^{-4}$	6,8	12,9
КП-3Х	$6,1 \cdot 10^{-5}$	6,8	13,1

Анализ данных, представленных в табл. 4, свидетельствует о том, что введение в покрытие полимерного материала снижает износ композиционного покрытия как минимум в 1,7 раза. Наиболее высокую износостойкость продемонстрировали образцы с КП-3Х, для них износ снижается более чем в 27 раз в сравнении с базовым ПЭО-покрытием (табл. 4).

Адгезия покрытия

Анализ адгезионных свойств образцов с различными видами покрытий позволяет сделать вывод о положительном влиянии фторполимерного материала на адгезию покрытий (рис. 10).

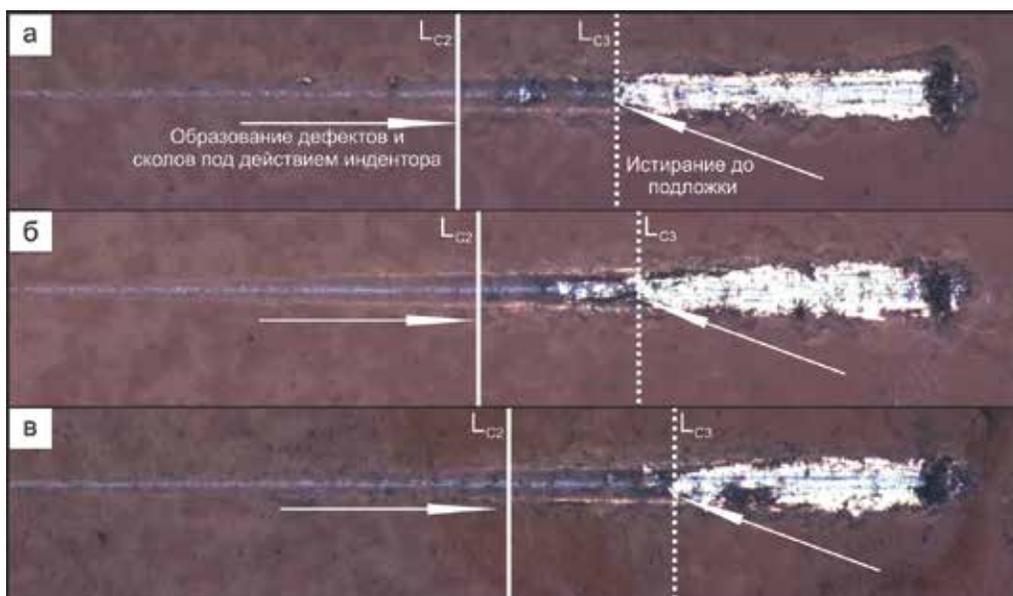


Рис. 10. Оптические изображения царапин, нанесенных на поверхность КП-1Х (а), КП-2Х (б) и КП-3Х (в)

Нагрузка L_{c2} , при которой наблюдается частичное отслаивание покрытия по краям царапины, для образцов с полимерсодержащим слоем выросла более чем на 40 % в сравнении с базовым ПЭО-покрытием (табл. 4). Причина подобного увеличения нагрузки связана с повышением сплошности и равномерности распределения полимера в поверхностном слое композиционных покрытий по мере увеличения кратности обработки ПЭО-слоя ультрадисперсным политетрафторэтиленом. Стоит отметить, что отслаивание для композиционных покрытий происходит при примерно одинаковой нагрузке.

Значение величины L_{c3} (табл. 4), при которой происходит пластичное истирание покрытия до подложки, для композиционных слоев более чем на 20 % выше, чем у базового ПЭО-слоя. Это связано с присутствием в составе композиционного покрытия УПТФЭ, который имеет низкий коэффициент трения и выступает в качестве сухой смазки. Разница L_{c3} у полимерсодержащих покрытий варьирует в пределах 10 %. Вероятно, после продавливания индентором внешнего пористого слоя, заполненного фторполимером, разрушение внутреннего подслоя происходит при близких величинах нагрузки.

Смачиваемость покрытий

Анализ данных о смачиваемости композиционных покрытий свидетельствует о положительном влиянии УПТФЭ на гидрофобные свойства. Так, после однократной обработки гидрофильного ПЭО-покрытия фторполимером полученное композиционное покрытие приобретает гидрофобные свойства. Контактный угол (КУ) достигал значений 149° (что на 100° больше, чем у базового ПЭО-покрытия) (табл. 5). У КП-2Х контактный угол имел значение 157° . Дальнейшее увеличение кратности полимера уменьшает КУ (табл. 5), что является следствием изменения морфологической структуры поверхности.

Супергидрофобные материалы характеризуются контактным углом поверхности более 150° и низким гистерезисом контактного угла, не превышающим 10° [40]. Для КП-2Х и КП-3Х контактный угол превышает указанное значение. Однако гистерезис контактного угла менее 10° только для КП-2Х (табл. 5), что позволяет характеризовать данное покрытие как супергидрофобное.

Показатели смачиваемости покрытий

Покрытие	Контактный угол, °	Гистерезис контактного угла, °
Базовый ПЭО-слой	45,3 ± 1,2	–
КП-1Х	146,5 ± 0,5	–
КП-2Х	153,9 ± 1,4	9,7 ± 0,3
КП-3Х	152,3 ± 0,9	11,3 ± 0,8

Выводы

Представлено комплексное исследование композиционных полимерсодержащих покрытий на магниевом сплаве МА8, сформированных путем обработки образца методом плазменного электролитического оксидирования с последующим нанесением ультрадисперсного политетрафторэтилена из водной суспензии.

Полученные покрытия снижают плотность токов коррозии на 6 порядков в сравнении с металлом без покрытия и на 3 порядка в сравнении с базовым ПЭО-слоем.

Композиционные полимерсодержащие покрытия существенно улучшают трибологические характеристики поверхностного слоя на магниевом сплаве МА8. Износ материала в сравнении с ПЭО-покрытием снижен в 27 раз.

Внедрение УПТФЭ из водной суспензии в состав композиционных покрытий позволяет придавать поверхности супергидрофобные свойства, обеспечивая значения контактного угла >150°, а гистерезис контактного угла <10.

ЛИТЕРАТУРА

1. Aliofkhaezrai M., Rouhaghdam A.S., Shahrabi T. Abrasive wear behaviour of Si₃N₄/TiO₂ nanocomposite coatings fabricated by plasma electrolytic oxidation // *Surf. Coat. Tech.* 2010. Vol. 205. P. S41–S46. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2010.03.052>.
2. Ansari M.I., Thakur D.S.G. Improvement of wear resistance of AZ91 magnesium alloy by electroless Ni-P coatings with influence of surfactant // *Mater. Today Proc.* 2017. Vol. 4, N 9. P. 9870–9874. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.06.284>.
3. Ashassi-Sorkhabi H., Moradi-Alavian S., Kazempour A. Salt-nanoparticle systems incorporated into sol-gel coatings for corrosion protection of AZ91 magnesium alloy // *Prog. Org. Coat.* 2019. Vol. 135. P. 475–482. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2019.06.043>.
4. Barati D.G., Aliofkhaezrai M., Hamghalam P., Valizade N. Plasma electrolytic oxidation of magnesium and its alloys: Mechanism, properties and applications // *J. Magnes. Alloy.* 2017. Vol. 5, N 1. P. 74–132. <https://doi.org/10.1016/j.jma.2017.02.004>.
5. Belov E.A., Nadaraia K.V., Mashtalyar D.V., Imshinetskiy I.M., German A.P., Minaev A.N., Sinebryukhov S.L., Gnedenkov S.V. Composite Coatings Formed on PEO Pretreated MA8 Magnesium Alloy in Aqueous Suspension of PTFE // *Key Eng. Mater.* 2021. Vol. 885. P. 95–102.
6. Birbilis N., Easton M.A., Sudholz A.D., Zhu S.M., Gibson M.A. On the corrosion of binary magnesium-rare earth alloys // *Corr. Sci.* 2009. Vol. 51, N 3. P. 683–689. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2008.12.012>.
7. Dehnavi V., Binns W.J., Noël J.J., Shoosmith D.W., Luan B.L. Growth behaviour of low-energy plasma electrolytic oxidation coatings on a magnesium alloy // *J. Magnes. Alloy.* 2018. Vol. 6, N 3. P. 229–237. <https://doi.org/10.1016/j.jma.2018.05.008>.
8. Esmaily M., Svensson J.E., Fajardo S., Birbilis N., Frankel G.S., Virtanen S., Arrabal R., Thomas S., Johansson L.G. Fundamentals and advances in magnesium alloy corrosion // *Prog. Mater. Sci.* 2017. Vol. 89. P. 92–193. <https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2017.04.011>.
9. Feng X., Zhu Ch., Lu X., Zhang Yi., Wu T., Zuo Yu., Zhao X., Dun Yu., Wang M. The influence of hydrofluoric acid doped polyaniline on the protective performance of a Mg-rich epoxy coating on AZ91D magnesium alloy // *Prog. Org. Coat.* 2020. Vol. 141, N 105550. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2020.105550>.
10. Fouhaili B.E.L., Dietlin C., Allonas X., Ibrahim A., Delaite C., Croutxé-Barghorn C. Study and optimization of water repellence stability in fluoroacrylate photopolymers // *Prog. Org. Coat.* 2014. Vol. 77, N 6. P. 1030–1036. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2014.02.0125>.
11. Gao Y., Yerokhin A., Matthews A. Department DC plasma electrolytic oxidation of biodegradable cp-Mg: In vitro corrosion studies // *Surf. Coat. Tech.* 2013. Vol. 234. P. 132–142. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2012.11.035>.

12. Gnedenkov S.V., Sinebryukhov S.L., Mashtalyar D.V., Nadaraia K.V., Kiryukhin D.P., Buznik V.M., Kichigina G.A., Kushch P.P. Composite coatings formed by plasma electrolytic oxidation and using telomeric tetrafluoroethylene solutions // *Rus. J. Inorg. Chem.* 2015. Vol. 60, N 8. P. 975–986. <https://doi.org/10.1134/S0036023615080094>.
13. Gnedenkov S.V., Sinebryukhov S.L., Mashtalyar D.V., Nadaraia K.V., Kiryukhin D.P., Kichigina G.A., Kushch P.P., Buznik V.M. Composite coatings formed on the PEO-layers with the use of solutions of tetrafluoroethylene telomers // *Surf. Coat. Tech.* 2018. Vol. 346. P. 53–62. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2018.04.036>.
14. Gnedenkov S.V., Sinebryukhov S.L., Mashtalyar D.V., Imshinetskiy I.M. Composite fluoropolymer coatings on Mg alloys formed by plasma electrolytic oxidation in combination with electrophoretic deposition // *Surf. Coat. Tech.* 2015. Vol. 283. P. 347–352. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2015.10.066>.
15. Gnedenkov S.V., Sinebryukhov S.L., Zavidnaya A.G., Egorkin V.S., Puz' A.V., Mashtalyar D.V., Sergienko V.I., Yerokhin A.L., Matthews A. Composite hydroxyapatite-PTFE coatings on Mg-Mn-Ce alloy for resorbable implant applications via a plasma electrolytic oxidation-based route // *J. of the Taiw. Inst. of Chem. Eng.* 2014. Vol. 45. P. 3104–3109. <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2014.03.022>.
16. Gnedenkov S.V., Sinebryukhov S.L., Mashtalyar D.V., Egorkin V.S., Sidorova M.V., Gnedenkov A.S. Composite polymer-containing protective coatings on magnesium alloy MA8 // *Corr. Sci.* 2014. Vol. 85. P. 52–59. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2014.03.035>.
17. Gnedenkov S.V., Sinebryukhov S.L., Egorkin V.S., Vyalyi I.E., Mashtalyar D.V., Nadaraia K.V., Ryabov D.K., Buznik V.M. Formation and properties of composite coatings on aluminum alloys // *Rus. J. Inorg. Chem.* 2017. Vol. 62, N 1. P. 1–11. <https://doi.org/10.1134/S0036023617010065>.
18. Gnedenkov S.V., Khrisanfova O.A., Zavidnaya A.G., Sinebryukhov S.L., Egorkin V.S., Nistratova M.V., Yerokhin A., Matthews A. PEO coatings obtained on an Mg-Mn type alloy under unipolar and bipolar modes in silicate-containing electrolytes // *Surf. Coat. Tech.* 2010. Vol. 204, N 14. P. 2316–2322. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2009.12.024>.
19. Gnedenkov S.V., Sinebryukhov S.L., Mashtalyar D.V., Imshinetskiy I.M., Gnedenkov A.S., Samokhin A.V., Tsvetkov Y.V. Protective composite coatings obtained by plasma electrolytic oxidation on magnesium alloy MA8 // *Vacuum.* 2015. Vol. 120. P. 107–114. <https://doi.org/10.1016/j.vacuum.2015.02.004>.
20. Gray J.E., Luan B. Protective coatings on magnesium and its alloys – a critical review // *J. Alloys Comp.* 2002. Vol. 336. P. 88–113. [https://doi.org/10.1016/S0925-8388\(01\)01899-0](https://doi.org/10.1016/S0925-8388(01)01899-0).
21. Gu Ya., Chen C.F., Bandopadhyay S., Ning C., Zhang Y., Guo Y. Corrosion mechanism and model of pulsed DC microarc oxidation treated AZ31 alloy in simulated body fluid // *Appl. Surf. Sci.* 2012. Vol. 258, N 16. P. 6116–6126. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2012.03.016>.
22. Guo L., Wu W., Zhou Yo., Zhang F., Zeng R., Zeng J. Layered double hydroxide coatings on magnesium alloys: A review // *J. Mater. Sci. Tech.* 2018. Vol. 34, N 9. P. 1455–1466. <https://doi.org/10.1016/j.jmst.2018.03.003>.
23. Hu J., Li Q., Zhong X., Zhang L., Chen B. Composite anticorrosion coatings for AZ91D magnesium alloy with molybdate conversion coating and silicon sol-gel coatings // *Prog. Org. Coat.* 2009. Vol. 66. P. 199–205. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2009.07.003>.
24. Ignatieva L.N., Gorbenko O.M., Kuryavyi V.G., Savchenko N.N., Pavlov A.D., Mashtalyar D.V., Bouznik V.M. Characteristics of the structure and properties of low-temperature fractions recovered from the powder ultradispersed polytetrafluoroethylene by sublimation // *J. Fluor. Chem.* 2013. Vol. 156. P. 246–252. <https://doi.org/10.1016/j.jfluchem.2013.06.012>.
25. Ilanaganar E., Anbuselvan S. Wear mechanisms of AZ31B magnesium alloy during dry sliding condition // *Mater. Today Proc.* 2018. Vol. 5, N 1. P. 628–635. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.11.126>.
26. Lamaka S.V., Knörnschild G., Snihirova D.V., Taryba M.G., Zheludkevich M.L., Ferreira M.G.S. Complex anticorrosion coating for ZK30 magnesium alloy // *Electrochim. Acta.* 2009. Vol. 55, N 1. P. 131–141. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2009.08.018>.
27. Lee K.M., Ko Y.G., Shin D.H. Microstructural characteristics of oxide layers formed on Mg-9 wt%Al-1 wt%Zn alloy via two-step plasma electrolytic oxidation // *J. Alloys Compd.* 2014. Vol. 615, S1. P. S418–S422. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2014.01.097>.
28. Liu C.Y., Tsai D.S., Wang J.M., Tsai J.T.J., Chou C.C. Particle size influences on the coating microstructure through green chromia inclusion in plasma electrolytic oxidation // *ACS Appl. Mater. Interfaces.* 2017. Vol. 9, N 26. P. 21864–21871. <https://doi.org/10.1021/acsami.7b03113>.
29. Liu F., Shan D., Song Y., Han E.H., Ke W. Corrosion behavior of the composite ceramic coating containing zirconium oxides on AM30 magnesium alloy by plasma electrolytic oxidation // *Corr. Sci.* 2011. Vol. 53, N 11. P. 3845–3852. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2011.07.037>.
30. Mashtalyar D.V., Nadaraia K.V., Imshinetskiy I.M., Belov E.A., Filonina V.S., Suchkov S.N., Sinebryukhov S.L., Gnedenkov S.V. Composite coatings formed on Ti by PEO and fluoropolymer treatment // *Appl. Surf. Sci.* 2021. Vol. 536, N 147976. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2020.147976>.
31. Mashtalyar D.V., Nadaraia K.V., Sinebryukhov S.L., Gnedenkov S.V. Polymer-containing layers formed by PEO and spray-coating method // *Mater. Today: Proceed.* 2019. Vol. 11. P. 150–154. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2018.12.123>.

32. Mashtalyar D.V., Nadaraia K.V., Sinebryukhov S.L., Gnedenkov S.V. Protective composite coatings formed on Mg alloy surface by PEO using organofluorine materials // *J. Mater. Sci. Tech.* 2016. Vol. 33, N 7. P. 661–667. <https://doi.org/10.1016/j.jmst.2016.09.006>.
33. Mordike B., Ebert T. Magnesium: Properties – applications – potential // *Mater. Sci. Eng. A.* 2001. Vol. 302, N 1. P. 37–45. [https://doi.org/10.1016/S0921-5093\(00\)01351-4](https://doi.org/10.1016/S0921-5093(00)01351-4).
34. Mori Y., Koshi A., Liao J., Asoh H., Ono S. Characteristics and corrosion resistance of plasma electrolytic oxidation coatings on AZ31B Mg alloy formed in phosphate – silicate mixture electrolytes // *Corr. Sci.* 2014. Vol. 88. P. 254–262. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2014.07.038>.
35. Němcová A., Skeldon P., Thompson G.E., Morse S., Čížek J., Pacal B. Influence of plasma electrolytic oxidation on fatigue performance of AZ61 magnesium alloy // *Corr. Sci.* 2014. Vol. 82. P. 58–66. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2013.12.019>.
36. Shi Z., Zhang X. Contact angle hysteresis analysis on superhydrophobic surface based on the design of channel and pillar models // *Materials & Design.* 2017. Vol. 131. P. 323–333. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2017.06.008>.
37. Suna M., Yerokhin A., Bychkova M.Ya., Shtansky D.V., Levashov E.A., Matthews A. Self-healing plasma electrolytic oxidation coatings doped with benzotriazole loaded halloysite nanotubes on AM50 magnesium alloy // *Corr. Sci.* 2016. Vol. 111. P. 753–769. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2016.06.016>.
38. Yao Z., Jia F., Tian S., Li C., Jiang Z., Bai X. Microporous Ni-Doped TiO₂ film photocatalyst by plasma electrolytic oxidation // *ACS Appl. Mater. Interfaces.* 2010. Vol. 2, N 9. P. 2617–2622. <https://doi.org/10.1021/am100450h>.
39. Yu L., Cao J., Cheng Y. An improvement of the wear and corrosion resistances of AZ31 magnesium alloy by plasma electrolytic oxidation in a silicate-hexametaphosphate electrolyte with the suspension of SiC nanoparticles // *Surf. Coat. Tech.* 2015. Vol. 276. P. 266–278. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2015.07.014>.
40. Zettsu N., Itoh H., Yamamura K. Surface functionalization of PTFE sheet through atmospheric pressure plasma liquid deposition approach // *Surf. Coat. Tech.* 2008. Vol. 202, N 22–23. P. 5284–5288. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2008.06.006>.
41. Zhang D., Dong G., Chen Y., Zeng Q. Electrophoretic deposition of PTFE particles on porous anodic aluminum oxide film and its tribological properties // *Appl. Surf. Sci.* 2014. Vol. 290. P. 466–474. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2013.11.114>.

Д.Н. ГРИЩЕНКО, М.А. МЕДКОВ

Получение кальций-фосфатных материалов для замещения и регенерации костной ткани

Статья посвящена получению и изучению биоактивных свойств материалов, которые могут быть использованы в медицине для замены поврежденных участков костной ткани. В работе представлен метод получения биоактивного стекла Bioglass 45S5 пиролизом органических растворов, а также способы его допирования соединениями висмута, вольфрама, тантала и бора для придания материалу дополнительных свойств: рентгеноконтрастных, антимикробных. Метод позволяет получать биоактивные стекла как в форме порошковых материалов, так и в виде покрытий на различных пористых носителях. Предложен способ получения пористой керамики на основе диоксида циркония, биосовместимой с живыми тканями за счет введения в объем керамики фосфатов кальция. Способ позволяет изготавливать индивидуальные импланты с заданными характеристиками. Доказана биоактивность материалов in vitro.

Ключевые слова: биостекло, стеклокерамика, биоактивные материалы, пиролиз органических растворов.

Obtaining calcium-phosphate materials for replacement and regeneration of bone tissue.
D.N. GRISHCHENKO, M.A. MEDKOV (Institute of Chemistry, FEB RAS, Vladivostok).

The article is devoted to obtaining and studying the bioactive properties of materials that can be used in medicine to replace damaged areas of bone tissue. The paper presents a method for producing bioactive glass "Bioglass 45S5" by pyrolysis of organic solutions, as well as methods for doping it with compounds of bismuth, tungsten, tantalum and boron to impart X-ray contrast and antimicrobial properties to the material. The method makes it possible to obtain bioactive glasses both in the form of powder materials and in the form of coatings on various porous carriers. A method for producing porous ceramics based on zirconium dioxide biocompatible with living tissues by introducing calcium phosphates into the volume of ceramics is proposed. The method allows manufacturing individual implants with specified characteristics. The bioactivity of materials has been proven in vitro.

Key words: bioglass, glass ceramics, bioactive materials, pyrolysis of organic solutions.

Материалы, участвующие в регенерации костной ткани, имеют множество потенциальных клинических применений: от лечения плохо срастающихся переломов до фиксации эндопротезов за счет врастания собственной костной ткани пациента в пористую поверхность импланта. В последние десятилетия разработка, изготовление и модификация биоматериалов, обладающих желаемыми свойствами, оставались в центре внимания.

В качестве материалов, способных стимулировать процесс восстановления костного дефекта, применяют кальций-фосфатные биосовместимые материалы. Они близки по составу к естественной костной ткани, поэтому не вызывают негативных аллергических реакций, не обладают канцерогенным и мутагенным свойствами и хорошо интегрируются в процесс образования кости. Такие материалы могут быть представлены биостеклами,

*ГРИЩЕНКО Дина Николаевна – кандидат химических наук, научный сотрудник, МЕДКОВ Михаил Азарьевич – доктор химических наук, профессор, заведующий лабораторией (Институт химии ДВО РАН, Владивосток). *E-mail: grishchenko@ich.dvo.ru

биокерамикой, стеклокерамикой и композитами [1, 4, 15]. Биостекло занимает особое место среди этих материалов [12]. Механизмы, позволяющие применять такие стекла в тканевой инженерии, исследовались Ларри Хенчем [13]. Известное биостекло Bioglass 45S5 обладает хорошей остеопрободимостью, биологической активностью и является биодegradируемым. Допирование биостекла производят с целью придания материалу дополнительных свойств.

Контролировать процесс восстановления костной ткани можно за счет введения в стекло рентгеноконтрастных веществ (РКВ). В качестве РКВ в сочетании с биоактивными фосфатами кальция в составе стекол перспективны соединения вольфрама, висмута и тантала. Соединения висмута входят в состав обеззараживающих, подсушивающих, вяжущих и антисептических препаратов [23]. Применение в медицине соединений тантала обусловлено их совместимостью с живой тканью: они не окисляются в организме и не вызывают раздражения. Известно, что оксид вольфрама не обладает канцерогенными, тератогенными или метаболическими свойствами по отношению к животным и человеку [16]. Считается, что оксид вольфрама обладает антимикробными свойствами благодаря своей высокой фотокаталитической активности.

В ряде исследований доказано, что биоактивные стекла, легированные бором, имеют более высокую биологическую активность и биосовместимость по сравнению с традиционным биостеклом, а также обладают антибактериальными свойствами [11, 21]. Роль бора в организме человека определяется его участием в обмене жиров, углеводов, гормонов и витаминов, он вовлечен в метаболизм костных тканей и принимает активное участие в их формировании [18, 20, 22, 24].

Керамика на основе диоксида циркония является предпочтительным материалом для заместительной терапии костной ткани благодаря ее уникальным свойствам. Инертность к биологической среде и высокие прочностные характеристики позволяют успешно использовать этот материал для изготовления конструкций, имплантируемых в организм [10]. Диоксид циркония обладает наилучшим сочетанием механической прочности, трещиностойкости и биосовместимости. Однако свойства такой керамики могут быть улучшены, например, модификацией поверхности либо комбинацией с другой биоактивной керамикой или стеклом для придания биоинертной керамике биоактивных свойств.

Цель данной статьи – представить современные разработки по биоактивным композиционным материалам для костной инженерии, в которых в качестве биоактивной фазы используются кальций-фосфатные соединения.

Материалы и методы

Для получения биостекла 45S5 использовали раствор, содержащий тетраэтоксисилан, трибутилфосфат, олеат натрия и олеат кальция в смеси растворителей скипидара и бензола. Для придания материалу рентгеноконтрастных свойств применяли экстракты висмута, вольфрама, тантала. Висмут экстрагировали из сульфато-хлоридных растворов 10%-м бензольным раствором три-*n*-октиламина (ТОА) [8]. Вольфрам и тантал экстрагировали соответственно из хлоридных [7] и сульфатно-оксалатных [8] растворов 20%-м бензольным раствором ТОА.

После смешивания всех компонентов в необходимых пропорциях выполняли отгонку растворителя при температуре 150–200 °С. Полученную массу (прекурсор) переносили в тигель, подвергали пиролизу, нагревая в муфельной печи до 1300 °С со скоростью 7°/мин, и выдерживали при этой температуре 20 мин. Этим способом получены стекла, содержащие в своем составе до 4 масс.% Ta₂O₅, до 10 масс.% Bi₂O₃, до 15 масс.% WO₃.

Пиролизом органических растворов создано борсодержащее биоактивное стекло [2]. Методом жидкостно-твердофазной экстракции приготовлен высококонцентрированный органический раствор бора для допирования биостекла. Борную кислоту растворяли

при температуре 180 °С в смеси три-н-октиламина и 1-октанола (Ос) в соотношении ТОА : Ос = 1 : 1. Получены биоактивные стекла состава Bioglass 45S5, легированные 5, 15, 25 и 60 масс.% бора.

Композиционная керамика из диоксида циркония и фосфатов кальция произведена методом холодного одноосного прессования. Образцы керамики изготавливали из диоксида циркония, лабораторного стекла марки ХС-2 № 29, оксида магния, кальций-фосфатных соединений (КФС). Смесь истирали на вибромельнице, размер 90 % частиц составил менее 50 мкм. К полученной смеси добавляли порообразователь, который при обжиге образует КФС. В качестве порообразователя выступала смесь аммония фосфорнокислого двухзамещенного с карбонатом кальция. Соотношение компонентов смеси выбрано таким образом, чтобы $Ca/P = 1,667$. Состав шихты, %: $ZrO_2 - 70$; КФС – 15; стекло лабораторное – 10; $MgO - 5$. Образцы прессовали под давлением 100, 50, 20 и 10 МПа на универсальной испытательной машине SHIMADZU AUTOGRAPH AG-X plus. Полученные «таблетки» прокаливали в муфельной печи до температуры 1300 °С со скоростью нагрева 8°/мин. Изготовлены образцы диаметром 1 см и толщиной 0,4 см. Предел прочности образцов при сжатии определяли на вышеуказанной универсальной испытательной машине.

Биоактивность материалов *in vitro* оценивалась с помощью модельной среды – SBF-раствора. Процедура приготовления SBF-раствора аналогична методу, предложенному в работе [14]. Модельный раствор был получен растворением в дистиллированной воде необходимых реагентов и доведен раствором HCl до pH 7,4 при температуре 37 °С. Образцы выдерживались в растворе в течение 14 или 20 сут в термостате Binder BD 115 при температуре 37 °С. Раствор обновляли каждые 48 ч.

Дифрактограммы образцов снимали на дифрактометре D8 ADVANCE в CuK_{α} -излучении с графитовым монохроматором. Состав контролировали методом рентгенофазового анализа с использованием программы поиска EVA по базе порошковых данных PDF-2. Для исследования качественного и количественного элементарного состава, а также морфологии образцов использовали метод растровой электронной микроскопии (РЭМ). РЭМ-изображения образцов и энергодисперсионные спектры получали на электронном сканирующем микроскопе Hitachi S5500.

Обсуждение результатов

Для получения биостекол чаще используют золь-гель методы, но процесс приготовления золя из исходных реагентов достаточно длителен, до 5 дней [17]. Получение биостекол пиролизом органических растворов – это простой метод, занимающий несколько часов, не требующий дорогостоящего оборудования. Возможность формирования покрытий дает методу дополнительные преимущества.

Микрофотография биостекла, полученного пиролизом органических растворов, представлена на рис. 1, а. После погружения в SBF-раствор на 20 сут поверхность стекла изменилась (рис. 1, б). Образовалось покрытие в виде растрескавшейся плотной корки. Результаты ЭДС показывают, что в составе поверхностного слоя стали преобладать фосфор и кальций (рис. 2), что подтверждает осаждение на поверхности слоя апатита, участвующего впоследствии в формировании костной ткани пациента. В результате тестов, проведенных *in vitro* с помощью SBF-раствора, установлено, что полученное стекло обладает биоактивностью.

Биостекла по своим механическим свойствам уступают костной ткани. Для костного эндопротезирования чаще используют прочную пористую биоинертную керамику, пропитанную шихтой, содержащей биоактивные компоненты. Керамику обжигают для получения биоактивного кальций-фосфатного слоя, что должно способствовать остеоинтеграции, которая заключается в возникновении анатомической связи между костью и поверхностью импланта. Наши органические растворы после нанесения на керамику и

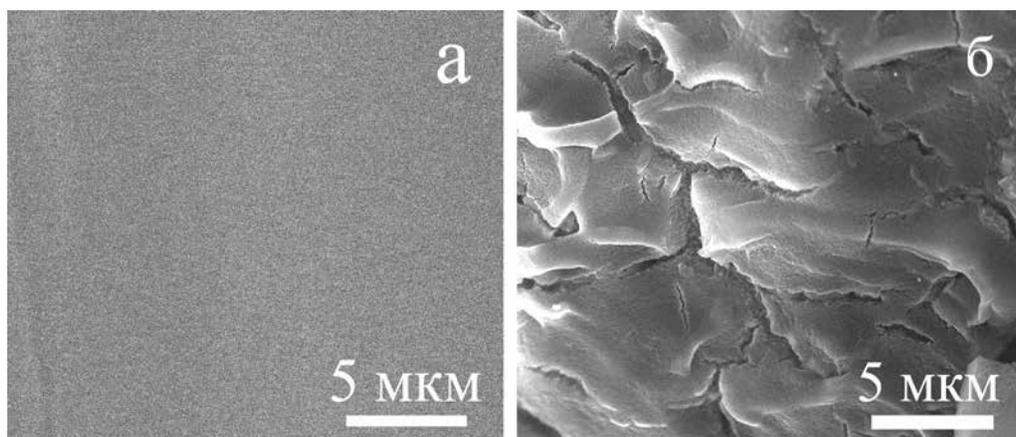


Рис. 1. Микрофотографии стекла Bioglass 45S5 до (а) и после (б) его пребывания в SBF-растворе

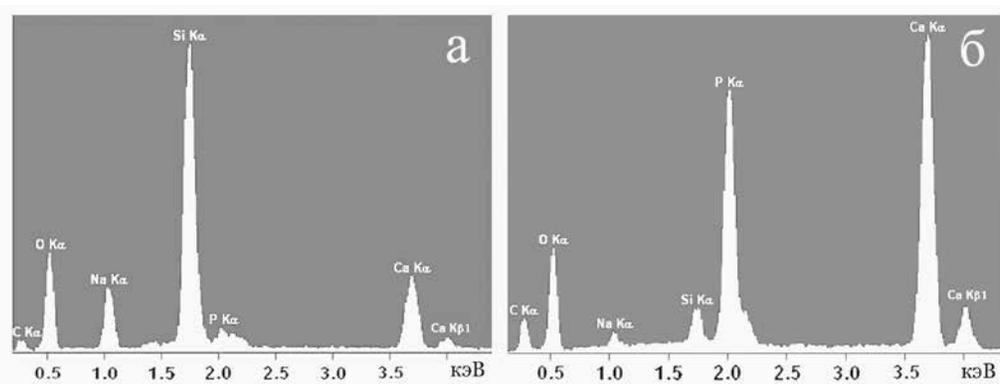


Рис. 2. Энергодисперсионные спектры стекла Bioglass 45S5 до (а) и после (б) его пребывания в SBF-растворе

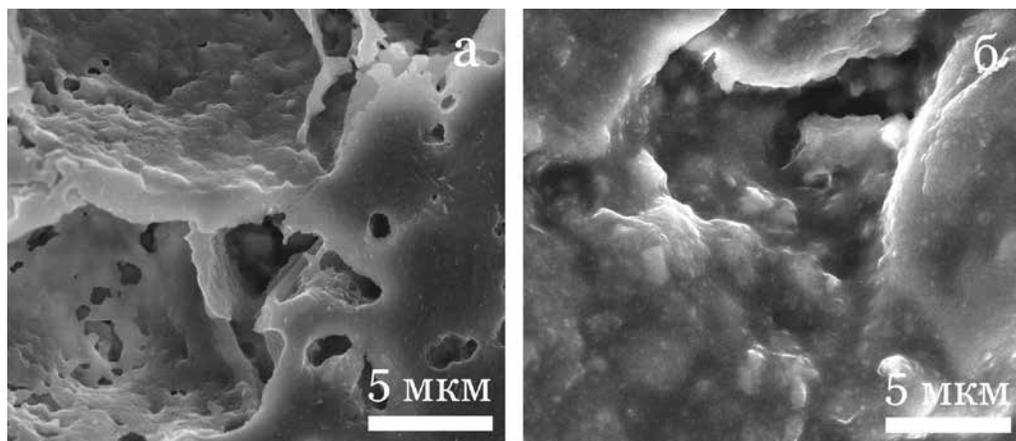


Рис. 3. Микрофотография образца из γ - Al_2O_3 без покрытия (а) и с покрытием из биостекла (б)

прокаливания образуют тонкий биоактивный слой стекла на поверхности биоинертного носителя. Возможность формирования биоактивных покрытий на биоинертных подложках продемонстрирована на примере керамики из γ - Al_2O_3 . На рис. 3 и 4 приведены микрофотографии и энергодисперсионные спектры исходной керамики и керамики, покрытой биостеклом. Из приведенных рисунков видно, что морфология поверхности исходного

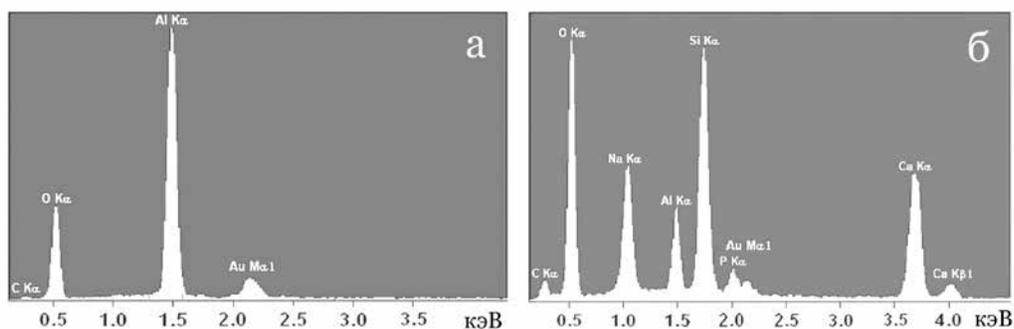


Рис. 4. Энергодисперсионные спектры образца из γ - Al_2O_3 без покрытия (а) и с покрытием из биостекла (б)

образца практически не изменилась. В энергодисперсионном спектре появились линии компонентов стекла, а интенсивность сигнала алюминия значительно снизилась. Таким образом, метод получения биоактивного стекла из органических растворов позволяет наносить покрытия на различные пористые носители [9].

Рентгеноконтрастные свойства материалам придают для контролирования процессов введения имплантов и изучения восстановления костной ткани рентгенологическими методами. Для придания биоактивным стеклам рентгеноконтрастных свойств в их состав вводят соединения тяжелых металлов. В нашем случае удобнее использовать органические растворы этих металлов, полученные экстракционным методом. Таким образом, экстракционно-пиролитическим методом нами изготовлены рентгеноконтрастные стекла, содержащие в качестве РКВ висмут, вольфрам и тантал. Рентгенофазовый анализ показывает, что обжиг прекурсоров при 600–1000 °С приводит к образованию смеси рентгеноаморфной фазы с кристаллическими фазами. При 1300 °С все исследованные образцы, содержащие до 10 масс.% оксидов легирующих элементов, рентгеноаморфны.

Изучены биоактивные свойства рентгеноконтрастных стекол. На рис. 5 представлены микрофотографии легированного стекла после пребывания в SBF-растворе. Покрытия, образовавшиеся на поверхности, неплотные, имеют вид островков разного размера. Энергодисперсионные спектры покрытия соответствуют фосфатам кальция. Стоит отметить, что чем меньше РКВ в образце, тем большую площадь занимает покрытие на его поверхности. У образцов с 7%-м содержанием РКВ покрытие имеет вид отдельных частиц различного диаметра. Образцы с 10%-м содержанием легирующего элемента не имеют кальций-фосфатного покрытия спустя 14 сут пребывания в SBF-растворе. Полученные результаты показывают, что биоактивность образцов снижается с увеличением количества РКВ в составе Bioglass 45S5. Это согласуется с исследованиями [19], где в качестве легирующей добавки выступал оксид висмута. Биоактивность проявлялась у стекол с добавкой Bi_2O_3 менее 8 масс.%.

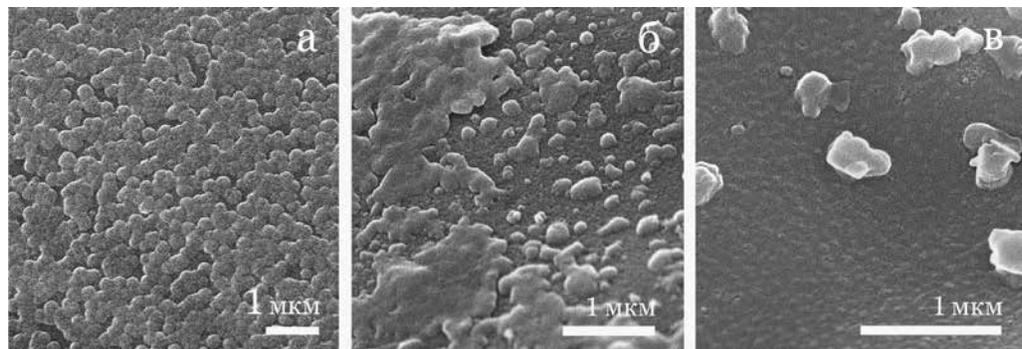


Рис. 5. Микрофотографии стекла, содержащего 3,0 (а), 5,0 (б) и 7,0 масс.% WO_3 (в), после пребывания в SBF-растворе

В работе [3] установлен механизм подавления биологической активности стекла с увеличением содержания оксида тантала в общей массе образца. Основной причиной подавления биоактивности стекол названо снижение концентрации кальция в стеклофазе за счет образования CaTa_2O_6 . Результатом выведения катионов кальция из сетки стекла в кристаллическую фазу является снижение концентрации кальция при деградации биоматериала. Следствие – в поверхностном слое не происходит пересыщения SBF-раствора катионами кальция, и кальций-фосфатный слой перестает осажаться на поверхности образца. Рентгенофазовый анализ подтверждает наличие кристаллов CaWO_4 или $\text{BiCa}_4(\text{PO}_4)_3\text{O}$ и $\text{Ca}_2\text{Bi}_8(\text{SiO}_4)_6\text{O}_2$ в стеклах, содержащих более 10 масс.% WO_3 или Bi_2O_3 соответственно. Таким образом, механизм подавления биоактивности вольфрам- и висмутсодержащих стекол можно считать аналогичным механизму подавления биоактивности танталсодержащих стекол.

Костные ткани имеют собственную рентгеноконтрастность. Она изменяется в диапазоне от 350 до 1250 HU (единицы Хаунсфилда) в зависимости от формы, строения, функции и развития костной ткани (классификация С. Mish). Рентгеноконтрастность биостекла 45S5 толщиной 0,5 мм составляет 1100–1200 HU. Рентгеноконтрастность 1%-х висмут-, вольфрам- и танталсодержащих биостекол составляет около 1500 HU, 3%-х – около 3000 HU, 5%-х – около 4300 HU, 10%-х – около 7500 HU. Таким образом, образцы, содержащие в составе до 10 масс.% оксидов вольфрама, тантала и висмута, являются одновременно и рентгеноконтрастными, и биоактивными, а значит могут применяться для восстановительной хирургии как в виде порошковых материалов, так и в виде покрытий на биоинертных носителях.

Пиролизом органических растворов нами получено борсодержащее биоактивное стекло [2]. Для его получения метод жидкостной экстракции не применим, так как бор плохо экстрагируется из водных растворов. Разработанный метод жидкостно-твердофазной экстракции бора позволяет получить высококонцентрированный органический раствор – до 40 масс.% H_3BO_3 в смеси. Это дает возможность варьировать содержание бора в образцах в широком диапазоне.

Пиролиз прекурсора после отгонки растворителя при температуре обжига до 700 °C приводит к образованию смеси рентгеноаморфной фазы с кристаллической $\text{Na}_4\text{Ca}_4(\text{Si}_6\text{O}_{18})$. При температурах 700–1000 °C образуются кристаллические фазы $\text{Na}_4\text{Ca}_4(\text{Si}_6\text{O}_{18})$, Ca_2SiO_4 , $\text{Na}_2\text{CaSiO}_4$. При 1300 °C образец становится рентгеноаморфным. Стекла, содержащие 1–25 % оксида бора, прозрачны (рис. 6, а) и содержат все компоненты: кремний, кислород, натрий, кальций, фосфор и бор. В энергодисперсионном спектре бор дает очень слабый сигнал, поэтому он практически сливается с фоновым (рис. 6, б).

Обжиг прекурсора, содержащего более 25 масс.% B_2O_3 , позволяет выявить на дифрактограммах фазы фосфатов кальция. Исследования показывают, что при обжиге прекурсора при 500–700 °C образуется фаза гидроксиапатита. При температуре обжига 1000–1300 °C

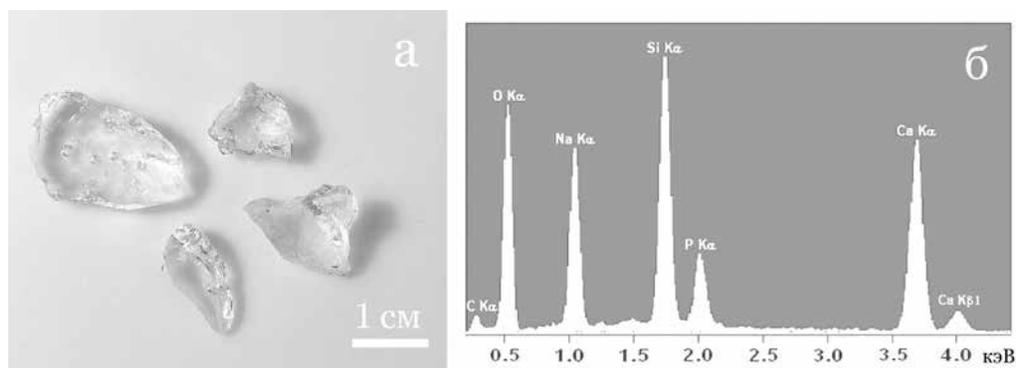


Рис. 6. Фотография (а) и энергодисперсионный спектр (б) биостекла, содержащего 15 масс.% B_2O_3

формируется фаза оксиапатита. Впоследствии при взаимодействии со средой организма оксиапатит вновь переходит в гидроксиапатит, который является основной минеральной составляющей костной ткани и активно участвует в восстановлении костной ткани пациента.

Для исследования антимикробной активности борсодержащих стекол использовался мультирезистентный бактериальный штамм *Pseudomonas aeruginosa*. Установлено, что состав образца влияет на формирование бактериальной биопленки. Данные сканирующей микроскопии свидетельствуют о значительном уменьшении биомассы и сокращении общего объема клеток в биопленках *P. aeruginosa* с увеличением процентного содержания V_2O_3 в образцах (рис. 7).

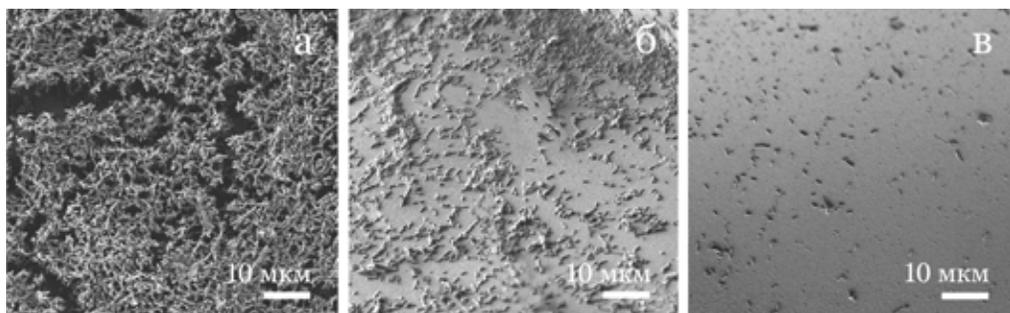


Рис. 7. Антимикробная активность борсодержащих биостекол: 0 (а), 5,0 (б) и 15,0 масс.% V_2O_3 (в)

Можно сделать вывод, что V_2O_3 в составе биостекла обладает антибактериальными и антибиопленочными свойствами. Биостекло, легированное V_2O_3 , деградируя, может медленно высвобождать ионы бора и служить материалом для восстановления костных тканей. Оксид бора можно рассматривать как эффективный компонент биоактивных стекол для профилактики и лечения связанных с биопленками инфекций протезов костей и суставов.

Разработан метод получения пористой керамики на основе диоксида циркония, биосовместимой с живыми тканями за счет введения в объем керамики фосфатов кальция. Отличительной чертой этого исследования является то, что биоактивное покрытие формируется непосредственно в процессе изготовления керамики и исключает дополнительные стадии подготовки поверхности материала и нанесения биоактивного покрытия.

В качестве добавки, формирующей в процессе обжига биорезорбируемую фазу, выбрана смесь компонентов: карбонат кальция и гидрофосфат аммония. Смесь служит порообразователем, и в процессе получения керамики фосфаты кальция формируются внутри пор. Были исследованы соотношения $Ca/P = 1$, $Ca/P = 1,33$ и $Ca/P = 1,667$. По данным рентгенофазового анализа, при выгорании смеси с $Ca/P = 1$ образуются фосфаты кальция состава $Ca_2P_2O_7$ и $Ca_3(PO_4)_2$. В результате выгорания смеси с $Ca/P = 1,33$ возникает $Ca_3(PO_4)_2$. При выгорании смеси с $Ca/P = 1,667$ получаются $Ca_3(PO_4)_2$ и $Ca_{10}(PO_4)_6O$. Оксиапатит в среде организма образует гидроксиапатит, участвующий в восстановлении костной ткани. Последнее отношение выбрано нами для дальнейших исследований. Наличие одновременно нескольких фосфатов кальция в продуктах обжига является преимуществом: различные фосфаты кальция имеют разную скорость резорбции в организме и могут обеспечивать пролонгированную доставку ионов кальция и фосфора.

Полученные образцы имеют вид пористой керамики, состоящей из нескольких фаз, различающихся по морфологии и составу¹. Образцы представлены частицами округлой, слегка удлиненной формы, со средними размерами $0,5 \times 2$ мкм, соответствующими ZrO_2 ;

¹ Способ получения пористой биоактивной керамики на основе оксида циркония: пат. РФ 2595703 / М.А. Медков, Д.Н. Грищенко. Заявл. 29.10.2015, опубл. 27.08.2016, Бюл. № 24.

частицами, сосредоточенными в основном в порах керамики, соответствующими фосфатам кальция; стеклофазой, соединяющей эти частицы. Морфология поверхности излома образцов характеризуется наличием как макро-, так и микропор. Пористость материала – важный показатель для успешной имплантации: макропоры импланта участвуют в прорастании сосудов, микропоры – в фиксации остеогенных клеток. Величину и количество пор в полученном материале можно регулировать, изменяя процентное отношение кальций-фосфатной смеси к общей массе образца и качество измельчения его компонентов (рис. 8). Образование слоя нанокристаллического гидроксиапатита на поверхности образца в SBF-растворе свидетельствует о биоактивности полученной стеклокерамики (рис. 9). Биоактивный слой, формирующийся на поверхности импланта при биологических процессах, сможет обеспечить прочную связь искусственного материала с костью и мягкими тканями.

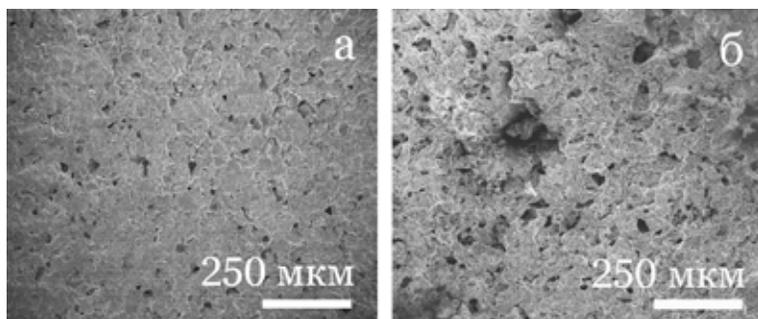


Рис. 8. Морфология поверхности излома образцов с содержанием кальций-фосфатной смеси: 10,0 (а), 20,0 масс.% (б)

Усилие, приложенное при прессовании образца, температура обжига, а также скорость его остывания после обжига – все это оказывает влияние на прочность конечного материала, а также на образующиеся фазы. Для образцов, спрессованных при 10–20 МПа, керамика представлена частицами ZrO_2 сферической формы со средними размерами 1,5 мкм, стеклофазой и частицами, имеющими форму прямоугольной призмы с длиной видимой грани 5–10 мкм и шириной 1–2 мкм, расположенными в основном внутри пор [6]. Морфология поверхности излома образцов характеризуется наличием пор размерами 20–50 мкм [5]. Объем микропор диаметром 0,17–0,3 мкм составляет порядка 0,0009 см³/г. Предел прочности при сжатии образцов, спрессованных при 10 МПа и отожженных при 1150 °С, составляет в среднем 15 МПа, а при 1300 °С – 65 МПа. Прессование при 20 МПа и отжиг при 1300 °С увеличивают среднюю прочность образца до 120 МПа. Прочность образцов, спрессованных при 50 МПа и отожженных при 1300 °С, составляет 400–450 МПа. Образцы, полученные при 100 МПа, имеют предел прочности при сжатии до 600 МПа.

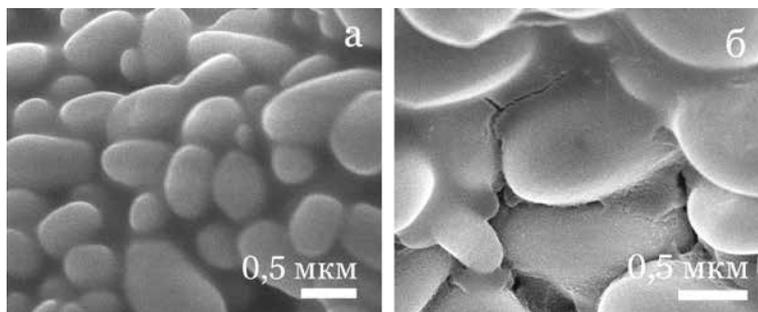


Рис. 9. РЭМ-изображение образца керамики из ZrO_2 до (а) и после (б) пребывания в SBF-растворе

Замещение дефекта костной ткани необходимо проводить имплантом с аналогичными характеристиками. При подборе материала для протезирования должны быть учтены механические свойства костной ткани конкретного пациента, которые обусловлены возрастом, индивидуальными условиями роста организма, участком кости. Согласно данным медицинских исследований, кортикальная костная ткань имеет прочность при сжатии 100–230 МПа, трабекулярная – около 10 МПа. Предложенный метод получения керамики дает возможность варьировать прочность материала и морфологию поверхности в широких пределах, а следовательно, позволяет подобрать пациенту материал, обладающий необходимыми характеристиками.

Заключение

Метод получения рентгеноконтрастных биоактивных стекол пиролизом органических растворов прост и не требует специального оборудования. Он позволяет получать биостекла в виде порошков для различных биоматериалов, а также в виде тонких биоактивных покрытий, создающих на пористых материалах слои, повторяющие форму пор носителя. Метод позволяет допировать стекла различными элементами. Изменяя состав, можно придавать материалам необходимые свойства. Нами получены рентгеноконтрастные и антимикробные биоактивные стекла.

Способ изготовления пористой керамики на основе диоксида циркония методом холодного одноосного прессования позволяет получить прочный биоактивный материал в одну стадию. Биосовместимость с живыми тканями достигается введением в объем керамики фосфатов кальция. Предложенным способом можно изготавливать индивидуальные импланты с заданными характеристиками.

Доказана биоактивность материалов *in vitro*.

ЛИТЕРАТУРА

1. Власов А.С., Карабанова Т.А. Керамика и медицина // Стекло и керамика. 1993. № 9/10. С. 23–25.
2. Грищенко Д.Н., Медков М.А., Папынов Е.К., Слободюк А.Б., Меркулов Е.Б., Скурихина Ю.Е. Синтез биоактивного В-содержащего стекла и стеклокерамических материалов путем пиролиза жидкой органической фазы // Журн. неорган. химии. 2020. Т. 65, № 3. С. 403–412.
3. Грищенко Д.Н., Слободюк А.Б., Курявый В.Г., Медков М.А. Танталсодержащая биоактивная стеклокерамика: механизм подавления биологической активности стекла 45S5 при его легировании Ta_2O_5 // Журн. неорган. химии. 2020. Т. 65, № 10. С. 1408–1415.
4. Мальков М.А., Липочкин С.В., Мосин Ю.М., Пимнева Л.Н. Керамика из гидроксипатита для медицинских целей // Стекло и керамика. 1991. № 7. С. 28–29.
5. Медков М.А., Грищенко Д.Н., Курявый В.Г., Руднев В.С. Биоактивная керамика на основе диоксида циркония // Хим. технология. 2015. № 10. С. 585–590.
6. Медков М.А., Грищенко Д.Н., Недозоров П.М., Курявый В.Г., Руднев В.С. Биоактивная керамика на основе оксидов циркония, алюминия и титана // Стекло и керамика. 2017. № 9. С. 38–42.
7. Медков М.А., Грищенко Д.Н., Курявый В.Г., Слободюк А.Б. Вольфрамсодержащие рентгеноконтрастные биоактивные стекла: получение и свойства // Стекло и керамика. 2018. № 8. С. 40–45.
8. Медков М.А., Грищенко Д.Н., Дмитриева Е.Э., Курявый В.Г. Получение биоактивных стекол методом пиролиза органических растворов // Хим. технология. 2019. Т. 20, № 7. С. 299–304.
9. Медков М.А., Грищенко Д.Н., Руднев В.С., Курявый В.Г., Гордиенко П.С. Формирование стеклокерамических покрытий на биоинертных подложках // Стекло и керамика. 2013. № 11. С. 38–42.
10. Afzal A. Implantable zirconia bioceramics for bone repair and replacement: A chronological review // Mater. Exp. 2014. Vol. 4, N 1. P. 1–12.
11. Balasubramanian P., Buttner T., Miguez P.V., Boccaccini A.R. Boron-containing bioactive glasses in bone and soft tissue engineering // J. Eur. Ceram. Soc. 2018. Vol. 38, N 3. P. 855–869.
12. Chen Q.Z., Thompson I.D., Boccaccini A.R. 45S5 Bioglass-derived glass-ceramic scaffolds for bone tissue engineering // Biomaterials. 2006. Vol. 27. P. 2414–2425.
13. Hench L.L. The story of Bioglass // J. Mater. Sci: Mater. Med. 2006. Vol. 17. P. 967–978.
14. Kokubo T., Takadama H. How useful is SBF in predicting *in vivo* bone bioactivity? // Biomaterials. 2006. Vol. 27, N 15. P. 2907–2915.

15. Nandi S.K., Kundu B., Datta S. Development and applications of varieties of bioactive glass compositions in dental surgery, third generation tissue engineering, orthopaedic surgery and as drug delivery system // *Biomaterials applications for nanomedicine*. 2011. P. 69–116.
16. Popov A.L., Zholobak N.M., Balko O.I. et al. Photo-induced toxicity of tungsten oxide photochromic nanoparticles // *J. Photochem. Photobiol. B: Biology*. 2018. Vol. 178. P. 395–403.
17. Qing J., Kaili L., Jipin Z. et al. Preparation of macroporous sol-gel bioglass using PVA particles as pore former // *J. Sol-Gel Sci. Technol.* 2004. Vol. 30, N 1. P. 49–61.
18. Rico P., Rodrigo-Navarro A., Salmerón-Sánchez M. Borax loaded PLLA for promotion of myogenic differentiation // *Tissue Eng.: A*. 2015. Vol. 21, N 21/22. P. 2662–2672.
19. Sakthi P.S., Ratha I., Adarsh T. et al. In vitro bioactivity and antibacterial properties of bismuth oxide modified bioactive glasses // *J. Mater. Res.* 2018. Vol. 33, N 2. P. 178–190.
20. Sych O., Gunduz O., Pinchuk N., Stan G.E., Oktar F.N. Tissue engineering scaffolds from La₂O₃-hydroxyapatite/boron glass composites // *J. Austral. Ceram. Soc.* 2016. Vol. 52. P. 103–110.
21. Wu C., Chang J. Multifunctional mesoporous bioactive glasses for effective delivery of therapeutic ions and drug/growth factors // *J. Control Release*. 2014. Vol. 193. P. 282–295.
22. Wu C., Miron R., Sculean A., Kaskel S., Doert T., Schulze R., Zhang Y. Proliferation, differentiation and gene expression of osteoblasts in boron-containing bioglasses associated with dexamethasone deliver from mesoporous bioactive glass scaffolds // *Biomaterials*. 2011. Vol. 32, N 29. P. 7068–7078.
23. Yang N., Sun H. Biocoordination chemistry of bismuth: Recent advances // *Coord. Chem. Rev.* 2007. Vol. 251. P. 2354–2366.
24. Yang Q., Chen S., Shi H., Xiao H., Ma Y. In vitro study of improved wound-healing effect of bioactive borate-based glass nano/micro-fibers // *Mater. Sci. Eng.: C*. 2015. Vol. 55. P. 105–117.

П.Я. БАКЛАНОВ, В.В. ЕРМОШИН, К.С. ГАНЗЕЙ

Основные этапы развития научных исследований в Тихоокеанском институте географии ДВО РАН

В октябре 1971 г. был создан Тихоокеанский институт географии (ТИГ) в системе Дальневосточного научного центра АН СССР. В 2021 г. институту исполнилось 50 лет. Директором-организатором ТИГа стал крупный ученый член-корреспондент АН СССР А.П. Капица. В статье дается характеристика пяти 10-летних этапов развития института. За это время в ТИГе выполнялись разнообразные географические исследования – от проблем регионального географического прогноза до изучения структуры и динамики разноранговых геосистем с учетом естественных и антропогенных факторов, территориальных структур хозяйства и расселения населения. Разрабатывались методы стационарных исследований, геоинформационных технологий, моделирования геосистем и их компонентов. Стержневым направлением комплексных географических исследований стало изучение регионального природопользования, в том числе трансграничного и прибрежно-морского. В статье приводится характеристика этапов развития ТИГа, а также основных фундаментальных и прикладных направлений исследований, результатов, публикаций.

Ключевые слова: Тихоокеанский институт географии, этапы развития, географический прогноз, Дальневосточный регион, геосистема, природопользование, территориальные структуры, геоинформационные системы.

The main stages in the development of the scientific research at the Pacific Geographical Institute, FEB RAS.
P.Ya. BAKLANOV, V.V. ERMOSHIN, K.S. GANZEI (Pacific Geographical Institute, FEB RAS, Vladivostok).

The Pacific Geographical Institute (PGI) was established as a unit of the Far Eastern Scientific Center of the USSR Academy of Sciences in October 1971. In October 2021, the Institute celebrates the 50th anniversary. A.P. Kapitsa – a prominent scientist, corresponding member of the USSR Academy of Sciences, was its first director. The article describes the five 10-year stages of the Institute's development. During this time, the PGI carried out a variety of geographical studies, from the problems of regional geographical forecast to the study of the structure and dynamics of geosystems of various ranks, taking into account natural and anthropogenic factors, territorial structures of the economy and population settlement. The methods of stationary research, geoinformation applications, modeling of geosystems and their components were developing. The study of regional natural resources management, including transboundary and coastal-marine ones, has become a pivotal direction of the complex geographical research. The article characterizes the stages in the PGI's development, as well as its main fundamental and applied areas of research, research results, and publications.

Key words: Pacific Geographical Institute, stages of development, geographical forecast, Far Eastern Region, geosystem, natural resources management, territorial structures, geographic information systems.

Введение

В 1970 г. по решению Правительства СССР был создан Дальневосточный научный центр (ДВНЦ) АН СССР, председателем которого стал А.П. Капица, вскоре избранный членом-корреспондентом АН СССР. По инициативе А.П. Капицы в октябре

*БАКЛАНОВ Пётр Яковлевич – академик РАН, научный руководитель, ЕРМОШИН Виктор Васильевич – кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник, ГАНЗЕЙ Кирилл Сергеевич – кандидат географических наук, директор (Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Владивосток). *E-mail: pbaklanov@tigdvo.ru

1971 г. в составе ДВНЦ АН СССР во Владивостоке был организован Тихоокеанский институт географии (ТИГ). В качестве основного научного направления Института была определена разработка географического прогноза изменения окружающей среды Дальневосточного региона.

В конце 1960-х годов в СССР в качестве одного из основных направлений комплексных географических исследований стали выдвигать географический прогноз изменения окружающей среды. У истоков этого направления стояли крупные ученые-географы: академики И.П. Герасимов, В.Б. Сочава, К.К. Марков, профессора Ю.Г. Саушкин, Ю.Г. Симонов, Т.В. Звонкова, И.М. Маергойз, В.С. Преображенский, Д.Л. Арманд и др. Полностью поддерживал данное направление географических исследований и декан географического факультета МГУ, профессор, д.г.н. А.П. Капица, ставший директором-организатором ТИГа.

В теоретическую основу географического прогнозирования закладывались глубокие палеогеографические исследования, призванные выявить исторические тенденции и закономерности изменений климата, растительности, ландшафтов определенного крупного региона. Для оценки возможных наиболее вероятных изменений окружающей географической среды в прогнозном периоде было необходимо изучить современную структуру, функционирование и динамику природных и природно-технических систем, а также воздействия на них естественных и антропогенных факторов.

Этапы развития, основные направления исследований

Основу научного коллектива нового Института составили приглашенные А.П. Капицей из Москвы крупные ученые: академик К.К. Марков, д.г.н. Б.И. Втюрин, а также молодые, но уже известные ученые – Ю.Г. Пузаченко, получивший при защите кандидатской диссертации в МГУ сразу степень доктора географических наук и создавший лабораторию биогеографии, к.г.-м.н. Ю.П. Баденков, заложивший очень важное направление – геохимию ландшафтов, к.г.н. Г.В. Колонин, создавший лабораторию медицинской географии, к.г.н. Г.П. Скрыльник и к.г.н. Э.Г. Коломыц, прошедшие школу геосистемных исследований в Институте географии СО АН СССР. Были приглашены группа закончивших целевую аспирантуру МГУ экономикогеографов – П.Я. Бакланов, В.Н. Севастьянов, И.Р. Спектор, Ф.Ф. Тахтаманов; геохимик А.Н. Качур, выпускники МГУ В.А. Дергачев (геофак), Ю.А. Авдеев (экономический факультет) и др. Благодаря этому в ТИГе были заложены и начали успешно развиваться экономико-географические исследования, прежде всего изучение территориальных структур хозяйства разных уровней и типов, а также географические исследования демографических и миграционных процессов, региональных систем расселения населения.

Одновременно А.П. Капица очень дальновидно закладывал в институте важнейшее направление – разработку математического моделирования геосистем. Для организации таких исследований из Москвы были приглашены известные ученые, специалисты по математическому моделированию климата – В.Я. Сергин и С.Я. Сергин, а с ними – группа талантливых выпускников МИФИ (А.В. Вертель, Б.С. Струков и др.). Во Владивостоке к ним присоединились ряд выпускников Дальневосточного государственного университета, в том числе А.П. Орешко, В.М. Карпец, а также имеющий биологическое и математическое образование к.б.н. Б.И. Сёмкин. Таким образом, в начальный период становления в ТИГе были созданы лаборатории моделирования климата и геокибернетики.

Была выстроена достаточно строгая методологическая основа разработки географического прогноза: поставлены задачи ретроспективного палеогеографического анализа изменения природной среды в прошлом, задачи оценки современных тенденций, всесторонний учет антропогенных факторов, в том числе геохимических, и моделирование разноранговых геосистем и их компонентов. Были выбраны различные площадки для стационарных наблюдений, в том числе с незатронутыми человеком ландшафтами и антропогенные, нарушенные. Так, Ю.Г. Пузаченко со своими учениками оборудовал один

из склонов на Кавалеровском стационаре сетью автоматических движущихся датчиков, регулярно снимающих многие параметры функционирования разных звеньев ландшафта, что для своего времени было большим новшеством.

Одновременно к прогнозно-географическим исследованиям была привлечена Комплексная восточная экспедиция (КВЭ) географического факультета МГУ под руководством крупного географа проф. Ю.Г. Симонова. В работе этой экспедиции принимали участие многие известные ученые геофака МГУ, а также «целевые» (для ТИГа) аспиранты и студенты. Во многих районах работу вели совместно специалисты ТИГа и КВЭ, постоянно шло обсуждение задач и получаемых результатов. Итоги этой деятельности были опубликованы в первом сборнике научных работ ТИГа «Природа и человек» [29]. В последующем были написаны и опубликованы обобщающие научные монографии [30, 31].

Для крупномасштабных детальных исследований создали два стационара – в окрестностях пос. Хрустальный (Кавалеровский район Приморского края), в местах оловодобычи, и вблизи пос. Смычка около Рудной Пристани (Дальнегорский район). Ставились задачи экспериментального изучения структуры и изменений удаленных от моря биосистем и непосредственно прибрежных, в том числе в зоне смешения речных и морских вод. При этом оценивалось воздействие на ландшафты различных антропогенных факторов, в том числе оловодобычи и добычи свинцовых руд, их обогащения, техногенного загрязнения реки и др. На основе подобных работ впервые выявлены цепочки геохимических миграций и трансформации отдельных тяжелых металлов в различных звеньях экосистем: воздушная среда, части деревьев, сток, почвы, речные воды, снег и т.д. Эти уникальные исследования проводили выпускники МГУ, уже имеющие некоторый практический опыт, – к.г.н. (впоследствии д.г.н.) П.В. Елпатьевский и к.г.н. В.С. Аржанова [1, 18]. Вскоре к ним присоединились выпускники МГУ Р.В. Макаревич, а также целевой аспирант к.г.н. А.Н. Качур, впоследствии возглавивший лабораторию геохимии ландшафтов.

Важным событием в развитии географических исследований и становлении ТИГа стало V Научное совещание географов Сибири и Дальнего Востока, проведенное в октябре 1973 г. во Владивостоке на базе института. В нем приняло участие 280 человек из 29 городов страны, в том числе 3 академика (К.К. Марков, И.П. Герасимов, В.Б. Сочава), 2 члена-корреспондента (В.В. Воробьев, А.П. Капица), 26 докторов наук, 112 кандидатов наук. Главной темой конференции была разработка теории и методов комплексного географического прогноза. Заглавным был доклад А.П. Капицы и Ю.Г. Симонова «Основные проблемы регионального географического прогноза». Авторы отмечали, что в географическом прогнозировании выделяются две взаимосвязанные проблемы: как человек воздействует на компоненты природы и каким образом измененная человеком природа может влиять на человека и хозяйство в будущем. При этом необходимо решать фундаментальные задачи соотношения и соизмерения пространственно-временных природных и социально-экономических структур и явлений [21]. На пленарных и секционных заседаниях обсуждались различные аспекты географического прогноза – от определения самого понятия и объекта, элементов методологии и теории до конкретных методов и оценок, направлений возможного практического использования результатов. Участие в этом совещании, общение с самыми крупными учеными-географами страны стало для многих молодых сотрудников ТИГа весьма знаменательным событием.

В 1975–1976 гг. были организованы первые морские экспедиции по изучению островных экосистем в юго-западной и южной частях Тихого океана на научном судне ДВНЦ «Каллисто» (переоборудованном из шхуны). Первая экспедиция под руководством Ю.П. Баденкова и Ю.Г. Пузаченко исследовала экзотические острова Тонга, Таити, Фиджи, атолл Суворова и другие, был собран уникальный материал, издан сборник статей. Результаты работ этой экспедиции широко освещались в печати, несколько заметок были опубликованы в газете «Правда». В эти же годы по инициативе А.П. Капицы и К.К. Маркова начата подготовка шеститомной монографии «География мирового океана». Отдельные тома были посвящены физической и экономической географии мирового океана, а также каждому океану планеты [12, 13].

Следует подчеркнуть, что несмотря на огромную загруженность председатель ДВНЦ АН СССР А.П. Капица много внимания уделял ТИГУ, его становлению. Всегда старался сам проводить ученые советы, на многие из них приглашал крупных местных ученых, например, известного профессора А.И. Куренцова, д.г.н. И.Н. Гарцмана, д.г.н. А.В. Стоценко и др. Всех просил высказываться по существу и сам подводил итоги обсуждений, формулировал выводы и решения.

К сожалению, было много трудностей, в том числе с началом строительства нового корпуса ТИГа (в течение нескольких лет для института арендовали часть здания на ул. Уборевича, 17). Возникали сложности и с жильем для приглашенных сотрудников. Сначала квартиры выделяли только докторам и кандидатам наук, а для молодежи достаточно долго строили общежитие на ул. Кирова (до этого также арендовали часть типового общежития в районе бухты Тихая с комнатами на четверых и «удобствами» в конце коридора). Но со всем этим мирились, перевешивало большое желание заниматься наукой в уникальном регионе страны.

В середине 1970-х А.П. Капица заложил основы тесного сотрудничества с Дальневосточным государственным университетом. Им была создана кафедра геоморфологии с индивидуальной подготовкой молодых специалистов широкого географического профиля для ТИГа. В последующем такие связи укреплялись и развивались. Многие ведущие сотрудники ТИГа читали в ДВГУ лекции, руководили курсовыми и дипломными работами. Студенты проходили в институте практику, в том числе полевую на базе стационара «Смычка». Многие выпускники приходили работать в ТИГ и становились ведущими сотрудниками, кандидатами и докторами наук. К настоящему времени более 80 % сотрудников ТИГа – выпускники ДВГУ.

В 1977 г. у А.П. Капицы ухудшилось состояние здоровья, и по рекомендации врачей он был вынужден переехать в Москву. Вскоре из Владивостока уехал и его первый заместитель по научной работе – Б.И. Втюрин, надежный соратник и товарищ, знакомство с которым состоялось еще в Первой комплексной антарктической экспедиции 1955–1957 гг. Для ТИГа наступил нелегкий период. Исполняющим обязанности директора института был назначен приехавший из Магадана Ш.Ш. Гасанов – географ, хороший специалист по мерзлотоведению, но, как оказалось впоследствии, ученый широкого кругозора. Вскоре он защитил докторскую диссертацию, старался инициативно исполнять обязанности директора института, заслужил авторитет у коллектива. Но новый председатель ДВНЦ АН СССР, академик Н.А. Шило, неожиданно предложил ему написать заявление об освобождении от обязанностей руководителя Института по собственному желанию, что Ш.Ш. Гасанов и сделал. Будучи к тому времени заместителем директора института по научной работе, некоторое время обязанности врио директора исполнял к.г.н. П.Я. Бакланов. Стали появляться различные предложения о реорганизации ТИГа. Например, приглашенный в ДВНЦ из Калинин крупный математик, чл.-корр. АН СССР Е.В. Золотов, высоко оценивая комплексные географические исследования, предлагал преобразовать ТИГ в Институт системных исследований.

К счастью, ТИГ удалось отстоять, и вскоре директором был назначен известный ученый-геоморфолог д.г.-м.н. Г.И. Худяков, работавший до этого заведующим лабораторией в Дальневосточном геологическом институте (ДВГИ ДВНЦ АН СССР). Его поддерживал академик Н.А. Шило, хорошо принял Глеба Ивановича и коллектив ТИГа. Г.И. Худяков перешел в ТИГ вместе со всей своей высокопрофессиональной лабораторией геоморфологии, в которой работали уже сложившиеся ученые кандидаты наук А.М. Короткий, А.П. Кулаков, С.М. Тащи, Р.И. Никонова, Б.В. Ежов, а также молодые специалисты В.В. Ермошин, А.А. Ищенко, В.Б. Примак и др. На ее основе были созданы четыре лаборатории, в том числе дистанционного зондирования, экспериментальной, структурной и динамической геоморфологии. А.М. Короткий возглавил лабораторию палеогеографии, успешно работающую до сих пор.

С приездом из Москвы к.г.н. А.В. Кошкарева – профессионального картографа, окончившего целевую аспирантуру МГУ, была организована лаборатория картографии.

Без изменения в целом основной тематики работы ТИГа при Г.И. Худякове было усилено природоохранное и природопользовательское направления. После отъезда в Москву к.г.н. В.Г. Коноваленко, который в ТИГе курировал эти направления, была создана лаборатория редких и исчезающих видов животных (в основном это амурский тигр и дальневосточный леопард). Возглавил ее опытный полевик, уже имевший многолетний опыт изучения этих уникальных животных к.б.н. Д.Г. Пикунов, ставший впоследствии доктором наук, широко известным в мире специалистом по изучению амурского тигра и леопарда. Он очень многое сделал для их сохранения и восстановления численности ареалов [26].

Приглашенный из ДВГУ заведующий кафедрой физической географии д.г.-м.н. Будимир Владимирович Поярков возглавил организованную в Институте лабораторию рационального природопользования. «Правой рукой» у него стал В.П. Каракин – специалист с большим творческим потенциалом, тоже целевой аспирант МГУ, приехавший сначала в Благовещенск, а затем во Владивосток. Вскоре коллективом этой лаборатории с участием ряда сотрудников из других лабораторий была впервые разработана концепция Программы охраны природы и рационального природопользования для всего Дальнего Востока. Позже она была доработана до проекта Программы [11]. Много интересного вносил в эту тематику приглашенный в ТИГ кандидат психологических наук В.В. Милашевич.

Очень активно и продуктивно работал институтский философский методологический семинар под руководством П.Я. Бакланова и В.В. Милашевича.

В конце 1970-х институт активно включился в исследования географических проблем строительства и освоения зоны Байкало-Амурской железнодорожной магистрали. Была организована специальная экспедиция. Появились хозяйственные работы, в том числе с геологами.

Особо следует сказать о Северо-Восточной научной станции ТИГ, созданной в 1980-е годы в устье р. Колыма С.А. Зимовым. В результате круглогодичной работы небольшого коллектива (в основном это работающие до сих пор две семьи – Зимовых и Давыдовых) в суровых арктических условиях были получены уникальные материалы по структуре и функционированию арктических ландшафтов, по эмиссии из тундровых отложений парниковых газов, в том числе углерода и метана, разработаны модели трансформации арктических геосистем и др. Многие результаты были опубликованы в ведущих мировых научных журналах [20, 39, 40].

В середине 1980-х в ТИГ из Института биологии моря перешел известный ученый, д.г.-м.н. Б.В. Преображенский вместе со своей лабораторией – большей частью это были молодые ученые. В созданной на основе этой группы новой лаборатории морских ландшафтов были начаты интересные исследования по изучению структуры, типов и продуктивности подводных ландшафтов, их экспериментальному обследованию, картографированию и моделированию. В дальнейшем эти исследования вышли на изучение прибрежно-морского природопользования. Таким образом, благодаря Б.В. Преображенскому и его талантливым ученикам (И.С. Арзамасцев, В.В. Жариков и др.) в институте зародилось по существу новое направление: развитие ландшафтного (геосистемного) подхода к исследованию прибрежно-морского природопользования [27, 28].

В конце 1980-х в состав ТИГа был включен отдел природопользования в г. Анадырь под руководством известного ученого д.б.н. Н.К. Железнова. Коллективом отдела проводились многолетние исследования экологии редких животных Севера, а после перехода в ТИГ здесь начали изучать принципы северного природопользования. С участием ряда ученых из других лабораторий института этим отделом было подготовлено научное обоснование организации национального парка «Берингия», который и был создан; его директором-организатором стал Н.К. Железнов.

В это же время начал работу Камчатский филиал ТИГа, который в течение нескольких лет имел статус Камчатского института экологии и природопользования ДВНЦ, а затем из-за малочисленности научного состава вновь стал филиалом ТИГа. В основном там

велись гидробиологические и биогеографические исследования. Изучались отдельные виды крупных животных Камчатки, птиц, а также морских животных и растений, экологическое состояние некоторых бухт Камчатки. Проводились оценки природно-ресурсного потенциала морских акваторий Берингова моря. Серию интересных работ о природопользовании и в целом о проблемах развития Камчатки опубликовал длительное время руководивший филиалом известный камчатский ученый к.э.н. Р.С. Моисеев. После него в течение большого периода филиалом успешно руководил д.б.н. А.М. Токранов.

В 1991 г. Г.И. Худякову по личным обстоятельствам пришлось уехать из Владивостока в г. Саратов, на родину. Директором ТИГа уже по новым правилам был избран д.г.н. П.Я. Бакланов, который до этого решением вышестоящих органов был направлен в Хабаровск, где в 1987–1991 гг. возглавлял Институт экономических исследований ДВО АН СССР. В выборе кандидатуры директора института сказалось и то, что П.Я. Бакланов, обучаясь в МГУ, одновременно с отличием окончил географический (экономическая география) и экономический (политическая экономия, экономика промышленности) факультеты. Он проработал директором ТИГа до 2016 г. – более 25 лет, а с 2017 г. академик РАН П.Я. Бакланов – научный руководитель института.

На этом этапе в ТИГе появились такие важные, актуальные в мире направления, как проблемы устойчивого развития, динамики и устойчивости разноранговых геосистем, прогнозирование изменений в лесной растительности, которые методологически продолжили прогнозно-географическую тематику. В области социоэкономгеографических исследований началось изучение роли рыночных преобразований в трансформации территориальных структур хозяйства, миграционных процессов, а также усилившихся внешнеэкономических факторов. Начали исследовать геополитические факторы в развитии Дальневосточного региона, разрабатывать подходы к созданию первых вариантов региональных геоинформационных систем (А.В. Кошкарев, В.П. Каракин). Была создана уникальная компьютерная база лесных ресурсов для Приморского края (С.М. Краснопеев и др.).

После отъезда А.В. Кошкарева в Москву к.г.н. В.В. Ермошин, окончивший ЛГУ (кафедра картографии), на основе небольшой лаборатории картографии создал эффективно работающий Информационно-картографический центр. Начала развиваться компьютерная картография. Появились первые международные проекты. Например, очень интересным стал совместный российско-китайско-американский проект – разработка программы устойчивого землепользования в трансграничном российско-китайском бассейне р. Уссури. Состоялось много международных встреч, обсуждений, поездок, в том числе в Китай и США. В итоге была опубликована книга с картой на трех языках – русском, английском и китайском [32].

Был начат крупный международный проект по сохранению амурских тигров с участием американских и китайских специалистов. В ТИГе появилось первое компьютерное оборудование. Неоценимое содействие и помощь в освоении компьютерных технологий в институте сыграл один из ветеранов ТИГа, профессионал высочайшего уровня Александр Власов.

Первые международные проекты послужили большим стимулом развития в ТИГе глубокого изучения трансграничных геосистем – целостных географических систем, пересекаемых государственной границей, возглавил которое талантливый ученый, д.г.н. С.С. Ганзей, выпускник ДВГУ, ученик А.П. Капицы. По этому направлению в те годы (конец 1990-х – начало 2000-х) успешно выполнен ряд международных российско-китайских проектов, написано несколько совместных статей и большая итоговая книга, изданная в КНР на китайском языке [38].

Очень интересным был большой японско-российско-китайский проект, в задачу которого входило изучение связи природопользования в трансграничном бассейне р. Амур с биопродуктивностью Охотского и Японского морей. Самое активное участие в этом проекте приняли С.С. Ганзей, В.В. Ермошин, П.Я. Бакланов, Н.В. Мишина, большой вклад внесли ученые Института водных и экологических проблем ДВО РАН из Хабаровска.

В результате специально организованных международных экспедиций, встреч, обсуждений в России, Японии и Китае издана совместная монография [34].

В то же время 1990-е и начало 2000-х годов были самыми сложными в развитии института. Начались реформы в науке, урезалось финансирование, сокращались штаты и т.д. Тем не менее, коллектив института сохранялся и продолжал успешно работать.

В 1993 г. в ТИГе был образован Диссертационный совет по присуждению сначала кандидатских, а с 1996 г. – и докторских ученых степеней. Многие годы он успешно работал.

В 1998 г. учеными ТИГа при участии ряда специалистов из ДВГУ и других организаций совместно с Центром геодезии и картографии разработан и издан комплексный Атлас Приморского края. Он был рекомендован всем школам края. Одновременно был написан учебник «География Приморского края» для старших школьников. В 2001 г. за весь комплект учебных пособий по географии Приморского края (атлас, учебник, серия специальных контурных карт, методические руководства) основному коллективу исполнителей, в том числе ученым ТИГа – П.Я. Бакланову, М.Т. Романову, А.Н. Качуру, была присуждена премия Правительства РФ в области образования.

Важным событием для ТИГа стало его 30-летие (2001 г.). Во Владивосток специально приехал А.П. Капица, и это придало празднику особую атмосферу. В институт приходило очень много известных людей, ведущих ученых институтов ДВО РАН, ДВГУ, других организаций. Все они выступали, вспоминали, высказывали свои впечатления. А.П. Капица и П.Я. Бакланов дали большое интервью на Приморском телевидении.

В 2002 г. П.Я. Бакланов принял участие во встрече небольшой группы ученых ДВО РАН с Президентом России В.В. Путиным, которая состоялась вблизи Владивостока. Президенту рассказали о том, чем занимается современная география, и в частности Тихоокеанский институт географии, о новом подходе к оценке природно-ресурсного потенциала территории и его динамики, а также подарили ему Атлас Приморского края, журнал «Зов тайги» и ряд книг, изданных в ТИГе. Президент предложил помощь в издании Атласа лесов Приморского края на основе ранее подготовленной компьютерной базы данных, которая ему была показана. Впоследствии такой Атлас был издан небольшим тиражом.

В 2005–2006 гг. финансирование РАН несколько увеличилось, но, тем не менее, на оборудование, на экспедиции и командировки средств было недостаточно. Выручали крупные хоздоговорные проекты – например, по эколого-географическому обоснованию строительства нефтепровода «Восточная Сибирь – Тихий океан» (руководители А.Н. Качур, Г.П. Скрыльник) и др. В эти же годы было подготовлено крупное картографическое издание – Атлас Курильских островов, который издан в Москве в 2009 г. Инициаторами были известный российский картограф д.г.н. А.А. Люты́й (ИГ РАН, Москва) и П.Я. Бакланов. На первом этапе подготовкой Атласа руководил А.А. Люты́й, сумевший привлечь к работе ученых и специалистов из многих научных центров Дальнего Востока и Москвы. Базовыми институтами были ИГ РАН и ТИГ ДВО РАН. Практически на всех картах отображались не только островные территории, но и обширные прилегающие морские и океанические акватории.

В 2005 г. в ТИГе была создана лаборатория гидрологии и климатологии. Возглавил ее молодой талантливый ученый к.г.н. Б.И. Гарцман, вскоре защитивший докторскую диссертацию. В лаборатории были развернуты важные исследования по моделированию речных систем, динамике стока и его связи с осадками.

Крупной работой, в которой приняли участие большая часть научных сотрудников института, стала подготовка и издание в 2007–2012 гг. трехтомной монографии «Геосистемы Дальнего Востока России на рубеже XX и XXI веков». В ней была дана содержательная характеристика природы, природных ресурсов и природопользования, а также населения и территориальных структур хозяйства региона [14–16].

С 2013 г. в Российской академии наук начались новые реформы. Все академические институты были переданы вновь образованному ведомству – Федеральному агентству научных организаций. Ввели новые формы планирования, оценок, отчетности, назначения

директоров и т.п. В течение 2–3 лет проводилась комплексная оценка эффективности институтов, в результате которой их разделили на три категории. И было очень приятно, что ТИГ отнесли к 1-й, высшей, категории эффективности, которая сохраняется за институтом и в настоящее время. С 2017 по 2019 г. директором ТИГа был к.г.н. В.В. Ермошин, который успешно справлялся со своими обязанностями, не допустив снижения активности в научных исследованиях.

Под специально выделенное финансирование в 2019 г. в институте была создана молодежная лаборатория по моделированию контактных геосистем. Возглавил ее молодой, но уже сложившийся ученый к.г.н. А.Н. Бугаец.

В 2019 г. директором института был избран молодой талантливый ученый, выпускник ДВГУ к.г.н. К.С. Ганзей, до этого работавший заведующим Информационно-картографическим центром и заместителем директора института по науке. Его научные интересы связаны с физической географией, комплексным изучением островных и прибрежных геосистем, прибрежно-морским природопользованием. В настоящее время он заканчивает работу над докторской диссертацией.

Основные этапы развития ТИГа отражены в таблице.

Основные этапы развития Тихоокеанского института географии ДВО РАН

Годы	Руководители института	Заместители директора, ученые секретари (уч.с.)	Основные приоритетные задачи	Численность сотрудников
1971–1980	А.П. Капица Ш.Ш. Гасанов Г.И. Худяков	Б.И. Вторин, В.Я. Сергин, П.Я. Бакланов; уч. с.: В.Ф. Толчеев, Е.В. Витко	Географический прогноз, изучение изменений геосистем, территориальных структур хозяйства и расселения, моделирование климата	Средняя численность 220 чел., из них: чл.-корр. – 1, д-р наук – 4, канд. наук – 27
1981–1990	Г.И. Худяков	П.Я. Бакланов, А.Н. Качур; уч. с.: С.П. Плетнев, Л.Б. Чернышева	Региональное природопользование, геоморфология, картографирование, изучение промышленных узлов, городского расселения	Средняя численность 314 чел., из них: чл.-корр. – 1, д-р наук – 4, канд. наук – 57
1991–2000	Г.И. Худяков П.Я. Бакланов	А.Н. Качур; уч. с.: С.С. Ганзей	Структура и функционирование разноранговых геосистем и их компонентов, региональное природопользование, рыночные трансформации территориальных структур хозяйства и расселения	Средняя численность 215 чел., из них: чл.-корр. – 1, д-р наук – 9, канд. наук – 48
2001–2010	П.Я. Бакланов	А.Н. Качур, С.С. Ганзей; уч. с.: А.А. Степанько	Динамика геосистем, устойчивое развитие региона, региональное природопользование, в т.ч. трансграничное	Средняя численность 193 чел., из них: акад. – 1, чл.-корр. – 1, д-р наук – 17, канд. наук – 44
2011–2020	П.Я. Бакланов В.В. Ермошин К.С. Ганзей	А.Н. Качур, В.В. Ермошин, К.С. Ганзей, В.В. Жариков; уч. с.: А.А. Степанько, М.С. Лящевская, И.М. Родникова	Прибрежно-морское природопользование, пространственное развитие, геоинформационные системы, моделирование геосистем	Средняя численность 180 чел., из них: акад. – 1, д-р наук – 14, канд. наук – 43

В институте сложились плодотворные творческие связи с коллегами ряда зарубежных стран, наиболее тесные – с учеными Китая и Вьетнама. Успешное сотрудничество осуществляется и с рядом научных центров Республики Корея, Японии, КНДР и США, некоторых других стран. Так, с учеными Вьетнама в 2016–2018 гг. был выполнен большой проект по изучению структурных особенностей и типов прибрежно-морского природопользования в южных районах российского Дальнего Востока и Вьетнама.

Заключение. Основные результаты исследований

За прошедшее 50-летие в Тихоокеанском институте географии выполнены большие, разнообразные географические и эколого-географические исследования, имеются значительные теоретические и прикладные результаты. Основные из них следующие.

Получены новые данные об эволюции палеоландшафтов, изменениях климата и растительности в плейстоцене–голоцене за период около 1,5–2 млн лет. Выполнены оценки смен типов растительности и их рубежей. Построены новые фрагменты стратиграфических шкал на отдельные периоды и районы. Впервые выявлены и обобщены проявления палеоцунами для отдельных районов Курил, Сахалина и Приморья (А.М. Короткий, Н.Г. Разжигаева, Л.А. Ганзей, Т.А. Гребенникова и др. [23, 33, 36]). Построены математические модели палеоклимата (В.Я. Сергин и др.), отдельные блоки региональной климатической модели (В.Я. Сергин, С.Я. Сергин, П.П. Орешко, А.В. Вертель, В.И. Чупрынин, С.М. Краснопеев и др.).

Достигнуты крупные результаты в установлении истории рельефа региона и его современного состояния. Успешно применялась и углублялась развиваемая чл.-корр. РАН Г.И. Худяковым концепция разнопорядковых кольцевых геоморфологических структур. На этой методологической основе с использованием космических снимков были построены оригинальные разномасштабные карты геоморфоструктур (А.П. Кулаков, В.В. Ежов, Р.И. Никонова, С.М. Тащи и др.) [24, 25, 35]. Разработаны подходы и методы оценки устойчивости различных форм рельефа, в том числе к антропогенным воздействиям (Г.П. Скрыльник, И.И. Крылов, В.Н. Невский).

Разработана оригинальная методика прогнозирования лесной растительности, в том числе при изменении отдельных факторов окружающей среды. Построены разномасштабные прогнозные карты лесной растительности для различных регионов (Ю.Г. Пузаченко, А.Н. Киселев, Б.С. Петропавловский) [14, 22]. Разработаны методы оценки, в том числе картографической, сукцессионных смен растительности, в том числе в техногенно нарушенных ландшафтах (С.В. Осипов, Е.В. Ивакина).

Составлена серия мелкомасштабных карт для бассейна Амура, в том числе карты растительного покрова, почв, использования земель (В.В. Ермошин, С.С. Ганзей, Н.В. Мишина) [19]. Разработаны количественные методы оценки мер сходства типов растительности в различных ландшафтах (Б.И. Сёмкин, Л.И. Варченко). На основе мониторинговых исследований получены уникальные данные о численности, структуре и динамике популяций ряда редких и исчезающих животных, прежде всего амурского тигра и дальневосточного леопарда (Д.Г. Пикунов, И.В. Середкин, В.В. Арамилев и др.), птиц (В.Н. Бочарников и др.). Получены оригинальные результаты по изучению феномена литофагии у некоторых видов животных (поедание цеолитов и других горных пород) (А.М. Паничев и др.).

Развита теория морских ландшафтов, разработана классификация подводных ландшафтов, методы картографирования и оценки их биопродуктивности и динамики (Б.В. Преображенский, В.В. Жариков, И.С. Арзамасцев и др.) [27]. Разрабатывается теория и методы изучения островных и прибрежных геосистем (К.С. Ганзей) [9]. Сформулированы основные подходы и принципы разработки региональных программ устойчивого природопользования (Б.В. Поярков, В.П. Каракин, П.Я. Бакланов и др.) [11, 15].

Впервые для дальневосточных условий разработаны теоретические подходы и методы оценок прибрежно-морского природопользования с учетом особенностей наземных и подводных ландшафтов. Прибрежно-морское природопользование рассматривается как трехзвенное структурное образование, состоящее из прибрежного наземного звена и прибрежного морского, связанных береговой геоструктурой (П.Я. Бакланов, В.В. Ермошин, К.С. Ганзей, В.В. Жариков) [2, 15, 28].

Получены новые данные о миграции и трансформации тяжелых металлов в различных звеньях геосистем, в том числе в морских экосистемах (П.В. Елпатьевский, В.С. Аржанова, А.Н. Качур, В.М. Шулькин, Н.К. Христофорова, Е.Н. Чернова и др.) [1, 14, 18, 37]. На основе многолетних стационарных исследований получены уникальные данные о структуре и динамике арктических геосистем, эмиссии из них парниковых газов, в том числе углерода и метана (С.А. Зимов, С.В. Давыдов и др.) [39, 40].

Подготовлена и издана серия монографий и атлас, обобщившие огромный разнообразный материал по воздействию, с одной стороны, человека на природу, с другой – природы, в том числе катастрофических процессов, на человека (С.М. Говорушко) [17]. Разработаны варианты моделей разнопорядковых речных систем, формирования речного стока, пространственных взаимосвязей стока с осадками (Б.И. Гарцман, В.В. Шамова, А.Н. Бугаец и др.).

Разработаны теория, методы выделения и анализа разноранговых пространственных систем производства, территориальных структур хозяйства и территориальных социально-экономических систем со структурами разных порядков. В связи с этим отдельное поселение (с наземным и морским окружением) выдвинуто в качестве целостного объекта географических исследований с последующими оценками приоритетных направлений его развития (П.Я. Бакланов) [3, 5, 6, 16].

Разработан новый подход к оценке природно-ресурсного потенциала территории и его динамики. В основе данного подхода лежит представление о существовании пространственных природно-ресурсных систем, в которых отдельные ресурсосодержащие компоненты взаимосвязаны. В итоге динамика природно-ресурсного потенциала в такой системе определяется уравнением из трех слагаемых, а именно: величина непосредственного использования, объем добычи определенных природных ресурсов, их изменения за счет техногенных нарушений и загрязнений, а также за счет внутренней связности природных ресурсов. Выделены пространственные структуры природопользования в виде используемого ресурсосодержащего компонента и добывающего предприятия (установки), в том числе основные и сопутствующие звенья природопользования. Предложены балансовые подходы к их оценке (П.Я. Бакланов) [3, 4, 6, 15]. Проведены оценки, в том числе картографические, взаимодополняемости природно-ресурсного потенциала двух соседних территорий и более (Г.Г. Ткаченко) [15].

Для Дальневосточного региона с учетом особенностей его географического положения выделены контактные структуры и функции для приморских и приграничных районов. Выделены территориальные и акваториальные структурные звенья природопользования и хозяйствования, формирующиеся в приморских районах. Выделена и оценена роль географических и геополитических факторов регионального развития (геополитическое положение, трансграничность и др.) (П.Я. Бакланов) [4, 7, 8, 16].

Разработаны новые подходы к экономическому районированию и развитию слабоосвоенных регионов (М.Т. Романов), к изучению территориально-производственного комплексобразования и развития разноранговых территориально-промышленных систем (А.В. Мошков) [16].

Выделены различные типы трансграничных геосистем, их основные свойства и тенденции динамики (С.С. Ганзей) [10].

Проведены разноуровневые оценки демографических и миграционных процессов в регионе, выявлены региональные особенности формирования и развития отдельных систем расселения населения (Ю.А. Авдеев, З.И. Сидоркина, В.Л. Ушакова, Т.А. Соболева

и др.) [16]. Получены уникальные данные по пространственной структуре клещевого энцефалита и ряду других природных очаговых инфекций; выполнены обобщающие оценки состояния здоровья различных групп населения в ряде районов Дальнего Востока (Г.В. Колонин, Н.С. Мотовкина, А.В. Косолапов, Е.И. Болотин, С.А. Лозовская и др.) [16].

Учеными института совместно со специалистами других научных центров и организаций составлены и изданы географические атласы Курильских островов, Приморского края (два издания), «Леса Приморского края», «Люби и знай свой край» и др. Подготовлено большое количество географических карт, некоторые были изданы – например, «Экономическая карта Приморского края» (совместно с ИЭИ ДВО РАН), «Карта Камчатки», «Рекреационные ресурсы Приморского края», «Ландшафты о. Русский» и др.

Коллективом института выполнено много важных прикладных работ. Основные из них: подготовлен ряд разделов для Экологической программы Приморского края; выполнены эколого-географические оценки трассы восточной части нефтепровода «Восточная Сибирь – Тихий океан» и морского нефтеперезгрузочного терминала, газопровода «Сахалин–Хабаровск–Владивосток». По этим трассам проводились экспедиционные обследования, составлены крупномасштабные оценочные карты, в том числе карты почв, растительности, экологического состояния и др. Проведены инженерно-экологические изыскания и эколого-географические оценки районов строительства Приморской АЭС, нефтехимического комплекса под г. Находка. Разработаны технико-экономические обоснования первых национальных парков в России, в том числе «Зов тигра», «Земля леопарда», «Берингия», «Бикин». С участием ученых БПИ ДВО РАН составлена уникальная компьютерная база данных «Лесные ресурсы Приморского края», позволяющая проводить расчеты лесопользования и лесовосстановления при различных вариантах выделения лесосек и рубок. Разработаны первые предложения по комплексному гражданскому освоению о-ва Русский.

Совместно со специалистами института «Приморгражданпроект» разработан План перспективного развития одной из первых в России территорий опережающего социально-экономического развития – Надеждинской.

Совместно с учеными других научных центров и специалистами ведомств разработаны первые Стратегии сохранения амурского тигра и дальневосточного леопарда в ареалах российского Дальнего Востока.

Подготовлены многочисленные предложения для Программы долгосрочного развития Дальневосточного региона, Приморского края, г. Владивосток и его агломерации, а также для программ развития ряда муниципальных образований Приморского края.

Свое 50-летие ТИГ встречает с большим научным потенциалом. Базирующиеся на методологической основе геосистемного подхода географические исследования должны выйти на качественно новый уровень: количественные оценки и моделирование структуры, функционирования и динамики разноранговых интегральных геосистем. Все это создаст надежную научную основу формирования устойчивого регионального природопользования и развития на различных пространственных уровнях.

При подготовке статьи использованы материалы, опубликованные в журнале «Тихоокеанская география». 2021. № 3.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аржанова В.С., Елпатьевский П.В. Геохимия ландшафтов и техногенез. М.: Наука, 1990. 194 с.
2. Бакланов П.Я., Ганзей К.С., Ермошин В.В. Береговые географические структуры в прибрежно-морском природопользовании // Докл. Академии наук. 2018. Т. 478, № 2. С. 229–231.
3. Бакланов П.Я. Пространственные системы производства (микроструктурные уровни анализа и управления). М.: Наука, 1986. 150 с.
4. Бакланов П.Я. Пространственные структуры природопользования в региональном развитии // География и природные ресурсы. 2019. № 1. С. 5–13.
5. Бакланов П.Я. Территориальные социально-экономические системы в региональном развитии // Изв. РАН. Серия геогр. 2017. № 4. С. 7–16.

6. Бакланов П.Я. Территориальные структуры хозяйства в региональном управлении. М.: Наука, 2007. 239 с.
7. Бакланов П.Я., Ганзей С.С. Трансграничные территории: проблемы устойчивого природопользования. Владивосток: Дальнаука, 2008. 216 с.
8. Бакланов П.Я., Романов М.Т. Экономико-географическое и геополитическое положение Тихоокеанской России. Владивосток: Дальнаука, 2009. 172 с.
9. Ганзей К.С. Ландшафты и физико-географическое районирование Курильских островов. Владивосток: Дальнаука, 2010. 215 с.
10. Ганзей С.С. Трансграничные геосистемы юга Дальнего Востока России и Северо-Востока КНР / отв. ред. П.Я. Бакланов. Владивосток: Дальнаука, 2004. 229 с.
11. Географические основы регионального природопользования. М.: Наука, 1987. 152 с.
12. География Мирового океана: в 6 т. Т. 1. Тихий океан / гл. ред. акад. К.К. Марков. Л.: Наука, 1981. 388 с.
13. География Мирового океана: в 6 т. Т. 6. Северный Ледовитый и Южный океаны / гл. ред. А.П. Капица. Л.: Наука, 1984. 590 с.
14. Геосистемы Дальнего Востока на рубеже XX–XXI веков: в 3 т. Т. 1. Природные геосистемы и их компоненты / отв. ред. С.С. Ганзей. Владивосток: Дальнаука, 2008. 428 с.
15. Геосистемы Дальнего Востока на рубеже XX–XXI веков: в 3 т. Т. 2. Природные ресурсы и региональное природопользование / отв. ред. П.Я. Бакланов, В.П. Каракин. Владивосток: Дальнаука, 2010. 560 с.
16. Геосистемы Дальнего Востока на рубеже XX–XXI веков: в 3 т. Т. 3. Территориальные социально-экономические структуры / отв. ред. П.Я. Бакланов, М.Т. Романов. Владивосток: Дальнаука, 2012. 364 с.
17. Говорушко С.М. Взаимодействие человека с окружающей средой. Влияние геологических, геоморфологических, метеорологических и гидрологических процессов на человеческую деятельность. М.: Академический проект, 2007. 660 с.
18. Елпатьевский П.В. Геохимия миграционных потоков в природных и природно-техногенных системах. М.: Наука, 1993. 253 с.
19. Ермошин В.В., Ганзей С.С., Мишина Н.В. Информационное обеспечение геоэкологических исследований в бассейне р. Амур // Вестн. ДВО РАН. 2010. № 1(149). С. 107–113.
20. Зимов С.А., Чупрынин В.И. Экосистемы: конкуренция, устойчивость, целенаправленное преобразование. М.: Наука, 1991. 159 с.
21. Капица А.П., Симонов Ю.Г. Основные проблемы регионального географического прогноза / Теория и методы прогноза изменений географической среды / отв. ред. В.Б. Сочава, А.П. Капица. Иркутск, 1973. 183 с. (Тез. V Совещ. географов Сибири и Дальнего Востока / АН СССР. Ин-т географии Сибири и Дальнего Востока СО АН СССР; Тихоокеан. ин-т географии ДВНЦ АН СССР; Бюро Сиб. и Дальневост. организаций Геогр. о-ва СССР; вып. 1).
22. Киселев А.Н. Прогнозное биогеографическое картографирование. М.: Наука, 1985. 104 с.
23. Короткий А.М. Палеогеографический анализ рельефа и осадков горных стран (на примере Дальнего Востока). М.: Наука, 1983. 245 с.
24. Короткий А.М., Худяков Г.И. Экзогенные геоморфологические системы морских побережий. М.: Наука, 1990. 215 с.
25. Кулаков А.П. Морфоструктуры Востока Азии. М.: Наука, 1986. 176 с.
26. Пикунов Д.Г., Серёдкин И.В., Солкин В.А. Амурский тигр (история изучения, динамики, ареала, численности, экология и стратегия охраны). Владивосток: Дальнаука, 2010. 104 с.
27. Преображенский Б.В., Жариков В.В., Дубейковский Л.В. Основы подводного ландшафтоведения (Управление морскими экосистемами) / отв. ред. А.Н. Киселев. Владивосток: Дальнаука, 2000. 351 с.
28. Прибрежно-морское природопользование: теория, индикаторы, региональные особенности / И.С. Арзасмасцев, П.Я. Бакланов, С.М. Говорушко и др. Владивосток: Дальнаука, 2010. 308 с.
29. Природа и человек: сб. статей / под общ. ред. А.П. Капицы; АН СССР. Дальневост. науч. центр. Тихоокеан. ин-т географии. Владивосток, 1973. 317 с.
30. Проблемы регионального географического прогноза: Состояние, теория, методы / Ю.Г. Симонов, Г.И. Барвинь, И.И. Горшкова [и др.]; отв. ред. А.П. Капица, Ю.Г. Симонов. М.: Наука, 1982. 264 с.
31. Прогнозно-географический анализ территории административного района / АН СССР, Дальневост. науч. центр, Тихоокеан. ин-т географии; отв. ред. А.П. Капица, Ю.Г. Симонов. М.: Наука, 1984. 255 с.
32. Программа устойчивого землепользования и рационального распределения земель в бассейне реки Усури и сопредельных территориях (Северо-Восточный Китай и российский Дальний Восток) / на англ., рус. и кит. яз. с картой. Вермонт, 1996. 97 с.
33. Разжигавва Н.Г., Ганзей Л.А. Обстановки осадконакопления островных территорий в плейстоцене-голоцене. Владивосток: Дальнаука, 2006. 365 с.
34. Environmental Change and the Social Response in the Amur River Basin / eds: Shigeko Haruyama, Takayuki Shiraiwa. Sapporo: Springer Japan, 2015. 262 p. DOI: 10.1007/978-4-431-55245-1.
35. Khudyakov G.I., Khudyakov A.P., Kulakov R.I., Nikonova B.V., Ezhov G.I. New views on morphostructure of marginal seas of Eastern Asia // Journ. of physics of the Earth (Japan). 1988. Vol. 36.P. 179–189.

36. Razzhigaeva N.G. The manifestations of the holocene little climatic optimum in the Southern Far East / N.G. Razzhigaeva, L.A. Ganzei, T.A. Grebennikova, N.I. Belyanina, L.M. Mokhova // *Geography and natural resources*. 2014. Vol. 35, N 2. P. 173–180.
37. Shulkin V.M. State of the Marine Environment in the NOWPAP Region. Vladivostok: Dalnauka, 2007. 83 p.
38. Sustainable development and cyclic economy informatization /eds Cui Wehong, P.Ya. Baklanov (in Chinese). Beijing: Science and technology of China Publishing House, 2009. 512 c. ISBN 978-7-5046-5467-0.
39. Zimov S.A., Davidov S.P., Zimova G.M., Davidova A.I., Chapin F.S., Chapin M.C., Reynolds J.F. Contribution of disturbance to increasing seasonal amplitude of atmospheric CO₂ // *Science*. 1999. Vol. 284. P. 1973–1976.
40. Zimov S.A., Voropaev Y.V., Semiletov I.P., Davidov S.P., Prosiannikov S.F., Chapin F.S., Chapin M.C., Trumbore S., Tyler S. North Siberian lakes: a methane source fueled by Pleistocene carbon // *Science*. 1997. Vol. 277. P. 800–802.

И.О. НЕРОВ, С.М. КРАСНОПЕЕВ, А.Н. БУГАЕЦ, В.В. БЕЛИКОВ,
А.В. ГЛОТКО, Н.М. БОРИСОВА, Е.С. ВАСИЛЬЕВА,
Ю.В. КРОЛЕВЕЦКАЯ

Опыт создания цифровой модели рельефа для гидродинамических расчетов в бассейне р. Амур

Катастрофические наводнения в 2013 и 2019 гг. на Амуре выявили необходимость поиска новых решений по предупреждению и минимизации негативных последствий при прохождении паводков. Рассматриваются вопросы построения цифровой модели рельефа (ЦМР) русел и пойм рек бассейна р. Амур. Описаны основные источники данных для построения ЦМР, процесс актуализации конфигурации русел с использованием материалов космической съемки отечественными космическими аппаратами «Ресурс-П» и «Канопус-В». Обоснованы актуальность и основные задачи оперативной корректировки ЦМР. Описан процесс подготовки данных и технология построения поверхности проектного уровня воды. Представлены результаты численных экспериментов по гидродинамическому моделированию участков р. Амур с помощью модели Stream 2D CUDA.

Ключевые слова: бассейн р. Амур, ЦМР, космические снимки, гидродинамическая модель.

Experience in digital terrain model generation for hydrodynamic modeling in the Amur River basin.
I.O. NEROV¹, S.M. KRASNOPEYEV², A.N. BUGAETS², V.V. BELIKOV³, A.V. GLOTKO³, N.M. BORISOVA³,
E.S. VASILEVA³, Yu.V. KROLEVETSKAYA¹ (¹Russian Research Institute for Integrated Water Management and Protection, Far Eastern Branch, Vladivostok; ²Pacific Geographical Institute, FEB RAS, Vladivostok; ³Water Problems Institute, RAS, Moscow).

Catastrophic floods of 2013 and 2019 in the Amur River basin raise the problem of creating new regional conceptions for mitigation of inundation consequences. This article outlines the items of construction of a digital elevation model (DEM) of the rivers bed and floodplain of the Amur River basin for hydrodynamic modelling. The main data sources DEM construction and the process of updating the channel configuration using space imagery materials by the domestic spacecrafts "Resurs-P" and "Canopus-V" are described. The design of water level constructing technique and basic principles of the DEM operational correction are described. The results of numerical experiments on hydrodynamic modeling of the Amur River stretches using Stream 2D CUDA model are presented.

Key words: Amur River basin, DEM, space imagery, hydrodynamic model.

Амур – одна из крупнейших рек мира, имеет десятый по размеру речной бассейн площадью 1,85 млн км², длина Амура от слияния рек Шилка и Аргунь составляет 2,8 тыс. км. Традиционно Амур разделяют на три основных участка: верхний – от слияния Шилки и Аргуни до устья р. Зея (выше Благовещенска), средний – от устья р. Зея до

*НЕРОВ Игорь Олегович – заведующий отделом моделирования гидрологических процессов, КРОЛЕВЕЦКАЯ Юлия Викторовна – заведующая сектором (Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов, Дальневосточный филиал, Владивосток); КРАСНОПЕЕВ Сергей Михайлович – кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник, БУГАЕЦ Андрей Николаевич – кандидат технических наук, руководитель лаборатории (Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Владивосток); БЕЛИКОВ Виталий Васильевич – доктор технических наук, заведующий лабораторией, ГЛОТКО Анна Владимировна – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, БОРИСОВА Наталья Михайловна – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, ВАСИЛЬЕВА Екатерина Сергеевна – кандидат географических наук (Институт водных проблем РАН, Москва). *E-mail: inerov@bk.ru

Хабаровска, нижний – от Хабаровска до впадения реки в Охотское море. Гидрологический режим Амура характеризуется неравномерным сезонным и многолетним стоком, что в первую очередь связано с муссонным типом климата. Основной фазой водного режима реки являются дождевые паводки [18]. На российской части бассейна сток р. Амур зарегулирован Зейским, Бурейским и Нижне-Бурейским водохранилищами с общим полезным объемом 42,817 км³.

Бассейн р. Амур является одним из самых паводкоопасных районов Российской Федерации. Влияние площади бассейна и разнообразие условий формирования стока на водосборе выражаются в существовании нескольких очагов формирования наводнений в среднем и нижнем течении Амура – Верхнеамурский, Зейско-Буреинский, Сунгарийский и Уссурийский. Их доли в стоке Амура крайне динамичны, при высокой степени синхронности развития и добегания паводочных волн, сформированных в разных областях водосбора Амура, являются причинами формирования катастрофических наводнений, возникающих в результате наложения паводковых волн [13, 18].

Одной из наиболее актуальных задач является оперативное информационно-аналитическое обеспечение деятельности по установлению оптимальных режимов пропуска паводков Бурейским, Нижне-Бурейским и Зейским водохранилищами с учетом гидрологического состояния участков нижних бьефов и требований по минимизации затопления объектов и территорий [13]. После катастрофического паводка 2013 г. создана значительная информационная и научно-методическая база для решения практических задач в области управления использованием и охраной водных ресурсов бассейна р. Амур [2, 3, 5, 10, 12, 14–16]. Разработаны автоматизированные системы мониторинга [4, 9, 17, 19–22] и технологии их интеграции с различными моделирующими системами [6–8]. Развитие данного направления связано с созданием и внедрением в практику деятельности Межведомственной рабочей группы по регулированию режимов работы Бурейского, Нижне-Бурейского и Зейского водохранилищ¹ новых методов по установлению оптимальных режимов пропуска паводков указанными водохранилищами с учетом гидрологического состояния участков нижних бьефов и требований по минимизации затопления объектов и территорий на основе гидродинамического моделирования.

Цифровая модель рельефа (ЦМР) русла и поймы является необходимой основой для создания 2D-3D гидродинамических моделей, и она должна характеризоваться высокой детальностью [25]. Это особенно актуально на пологих участках поймы с небольшими перепадами высот [23, 24]. Основным источником батиметрической информации для построения ЦМР крупных рек обычно являются данные лоций. Одной из трудоемких задач является приведение глубин и отметок, указанных на лоциях относительно так называемого проектного уровня воды, к действующей государственной системе высот, являющейся рабочей для гидродинамической модели. Вопрос этот крайне важен, поскольку оценка результатов моделирования уровня воды в створах гидрологических постов прямо зависит от точности (вертикальной ошибки) построения ЦМР.

При использовании гидродинамических моделей в оперативной практике одной из задач является учет влияния на гидрологический режим рек изменений геометрии русел и пойм на расчетных участках. Такие изменения могут быть вызваны вертикальными и горизонтальными деформациями русел естественного и антропогенного происхождения, например мероприятиями по улучшению или поддержанию судоходных условий, возведению регулирующих и защитных гидротехнических сооружений и т.п. Также должно быть учтено появление новых данных в результате проведения водных изысканий (промер глубин, съемка урезом воды, надводная съемка русловых образований и т.д.), которые осуществляются русловыми изыскательскими партиями.

¹ Офф. сайт Амурского бассейнового водного управления Федерального агентства водных ресурсов. – <http://amurbvu.ru/642-mezhvedomstvennaya-rabochaya-gruppa-po-regulirovaniyu-rezhimov-raboty-bureyskogo-i-zeyskogo-vodohranilisch>.

В статье рассматриваются вопросы построения цифровой модели рельефа русла и поймы р. Амур, включая его судоходные притоки: р. Зея (от створа Зейской ГЭС до устья), р. Бурей (от створа Нижне-Бурейской ГЭС до устья), р. Сунгари (от г. Цзямусы до устья), р. Усури (от с. Шереметьево до устья), р. Тунгуска (от с. Архангеловка до устья); технологии актуализации ЦМР для обеспечения гидродинамических моделей морфометрической информацией и ее использования для целей 2D гидродинамического моделирования.

Технология построения цифровой модели рельефа

Основными информационными компонентами для построения ЦМР русла-поймы являются:

- пространственная конфигурация русла реки;
- батиметрические характеристики водотока;
- рельеф поймы и прилегающих к ней участков суши.

В качестве основного источника информации о батиметрии русел рек использовали лоцманские карты. На участках, где с момента издания лоцманских карт произошли существенные изменения в конфигурации русла и отсутствуют современные данные гидрографической съемки (рис. 1), для формирования актуальной конфигурации русел были использованы материалы космической съемки отечественными космическими аппаратами «Ресурс-П»² и «Канопус-В»³.

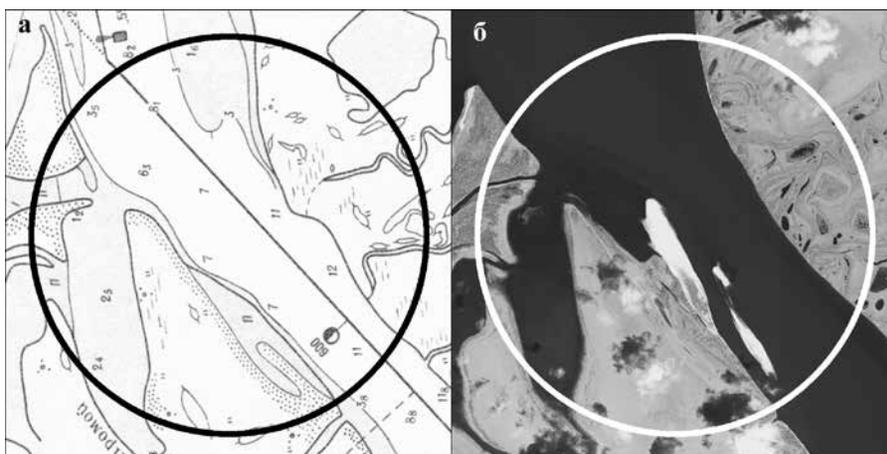


Рис. 1. Конфигурация на лоцманской карте (а) и актуальная конфигурация русла р. Амур (б) вблизи Комсомольска-на-Амуре

Для обеспечения гидрологической корректности ЦМР с помощью экстраполяции данных на основе морфометрического анализа, а также определения структуры поля скоростей потоков по спутниковым фотографиям (во время прохождения крупных паводков) генерировалась система структурных линий. В качестве основного источника информации о рельефе поймы и прилегающих к ней участков использована ЦМР WorldDEM™ (Airbus Defence and Space, Intelligence)⁴ с разрешением 24 м.

² Официальный сайт НЦ ОМЗ. Космические аппараты типа «Канопус-В». – http://www.ntsomz.ru/ks_dzz/satellites/kanopus_vulkan

³ Официальный сайт НЦ ОМЗ. Космические аппараты типа «Ресурс-П». – http://www.ntsomz.ru/ks_dzz/satellites/resurs_p

⁴ Официальный сайт компании Esri. World Imagery. Проект ArcGIS Online (США). – <https://www.arcgis.com/home/item.html?id=10df2279f9684e4a9f6a7f08febac2a9>; официальный сайт компании Airbus Defence and Space (Франция). WorldDEM™ – The New Standard of Global Elevation Models. Elevation Models. – <https://www.intelligence-airbusds.com/imagery/reference-layers/worlddem/worlddem-thematic-layers-and-derivatives/>

Работы по ЦМР включают следующие основные этапы:

1. Подготовка топографической основы территории для координатной привязки листов лоцманских карт и космических изображений;
2. Генерация ЦМР на основе данных Airbus WorldDEM4Ortho как для формирования модели рельефа поймы, так и для ортокоррекции космических изображений;
3. Сканирование и координатная привязка лоцманских карт;
4. Векторизация батиметрической информации с лоцманских карт;
5. Ортокоррекция космических изображений;
6. Векторизация контура береговой линии с космических изображений;
7. Формирование векторной модели русел рек;
8. Генерация поверхности проектного уровня в вертикальной системе координат БС77;
9. Трансформация 2D-объектов в 3D-объекты (вертикальная система координат БС77), уточнение Z-метрики фрагментов береговой линии с учетом уровня подъема воды на дату съемки конкретного участка русла;
10. Генерация ЦМР русла;
11. Объединение ЦМР русла и поймы.

Подготовка топоосновы включала координатную привязку растровых копий номенклатурных листов топографических карт открытого пользования масштабов 1 : 25 000, 1 : 50 000. На участках, для которых топографические карты отсутствовали, топографическая основа формировалась по высокодетальной ортофотомозаике «World Imagery» от ESRI [11]. Предоставленная компанией ESRI возможность доступа к набору данных Airbus WorldDEM4Ortho пользователям продуктов ESRI, находящихся на активной технической поддержке, позволила сгенерировать ЦМР повышенной (по сравнению с общедоступной SRTM30) детальности на поймы рек Зeya (включая устье р. Селемджа), Амур (с. Покровка – г. Комсомольск-на-Амуре), Усури (ниже г. Лесозаводск) (рис. 2).

Для целей последующей векторизации выполнена координатная привязка лоцманских карт р. Амур (от с. Покровка до г. Комсомольск-на-Амуре) и судоходных участков ее притоков. Высокодетальная съемка КА «Ресурс-П» была использована на участках Нижнего и фрагментарно Среднего Амура, на остальные участки русел была сформирована подборка снимков КА «Канопус-В» (пространственное разрешение 2,1 м). Это позволило актуализировать контур береговой линии.

Следующим шагом было формирование векторной модели русла. Под векторной моделью русла здесь понимается комплекс информации в векторном формате, позволяющей построить 3D-модель русла. Он включает: значения «проектных» уровней (нуль глубин) гидрологических постов; контуры береговой линии; даты съемки конкретного участка русла и информацию об уровне подъема воды на дату съемки конкретного участка русла; изобаты; отметки глубин и высоты осушки; банки; границы отмелей; структурные линии, формирующие линию нижнего уровня дна русла и морфоструктурные особенности русла, которые идентифицируются по отметкам глубин, а также вспомогательные метки, необходимые для генерации поверхности проектного уровня в зонах разрежения информации о батиметрии. Пример фрагмента векторной модели русла представлен на рис. 3.

Береговая линия, оцифрованная с каждого конкретного космического изображения, соответствует уровню воды на дату съемки. Поэтому Z-метрика (БС77) 3D-полилинии береговой линии была скорректирована с учетом информации о нуле ближайшего поста и разницы между текущим и проектным уровнями воды. 3D-полилинии изобат и дополнительных структурных линий были построены с учетом Z-метрики проектного уровня и информации о глубине. 3D-версия отметок глубин строилась аналогичным образом. ЦМР (матрица высот) была рассчитана на основе 3D векторной модели с пространственным разрешением 10 м с последующим комплексированием с ЦМР Airbus WorldDEM4Ortho (рис. 4).

Особого внимания заслуживает проблема построения поверхности проектного уровня воды (ППУВ). Проектный уровень воды (ПУВ) является основой для составления

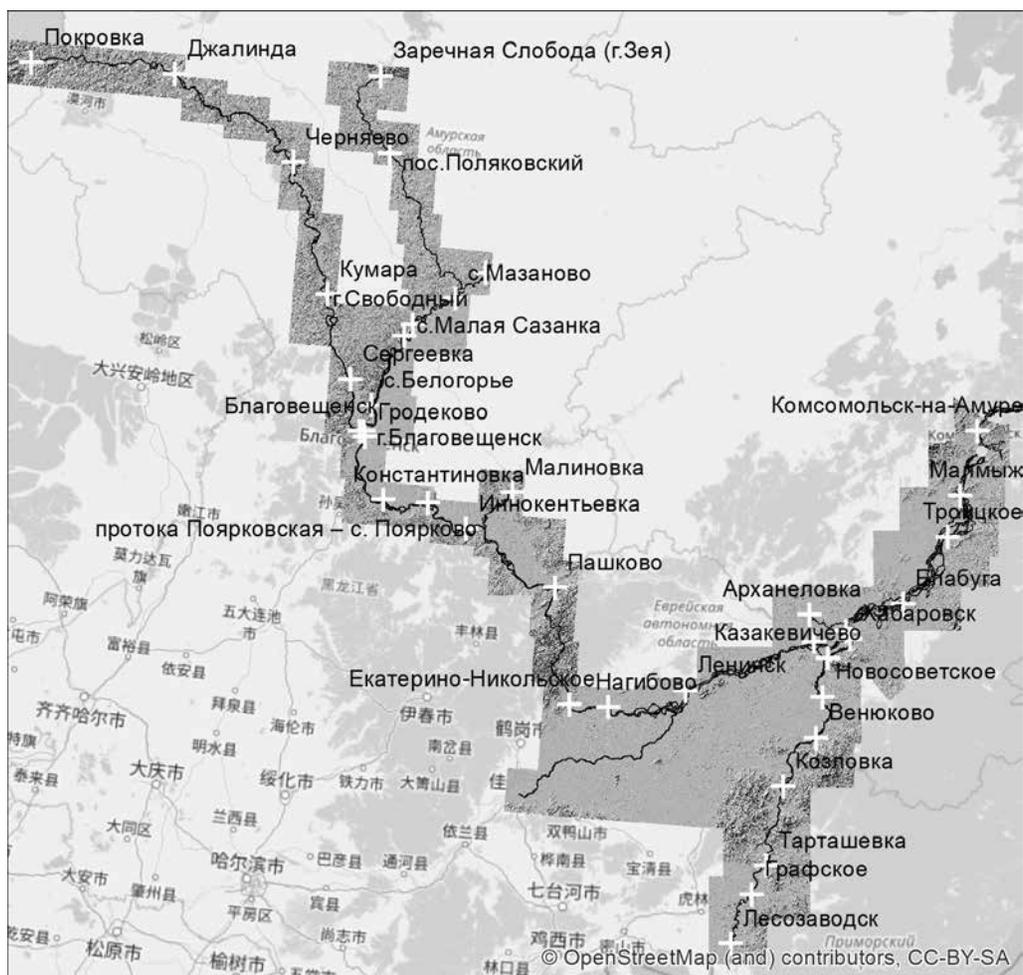


Рис. 2. ЦМР на основе продукта WorldDEM4Ortho поймы рек Зeya, Амур, Уссури

технической документации русловых съемок, гидрологических и русловых исследований. ПУВ устанавливаются для всех опорных гидрологических постов. К ПУВ привязываются планы русловых съемок и материалы, относящиеся к лоциям рек. Все измеренные глубины для планов отдельных участков и карт водных путей приводятся к проектному уровню. Значение ПУВ дается относительно нуля графика опорного водомерного поста. Проектное дно находится ниже проектного уровня на величину, равную заданной глубине. Наличие расчетной ППУВ существенно облегчает и ускоряет процесс оперативной корректировки ЦМР. Если ППУВ построен в абсолютных отметках системы координат гидродинамической модели, то для расчета абсолютных отметок проектного дна значения глубин (относительно ППУВ), полученные в результате корректировки лоций или гидрографических работ, могут быть рассчитаны путем их простого вычитания от ППУВ.

Для построения ППУВ были отработаны две технологические схемы, применяющиеся при достаточном и недостаточном количестве данных для построения 3D поверхности стандартными средствами ГИС. Общим для них являются два исходных постулата: 1) начальной информацией являются значения проектного уровня на гидрологических постах, 2) предполагается линейный характер изменения ПУВ на участке между соседними гидрологическими постами.

При достаточном для построения ППУВ количестве данных сначала создается иерархическая система осевых 3D-полилиний для основного русла, рукавов и проток. Затем

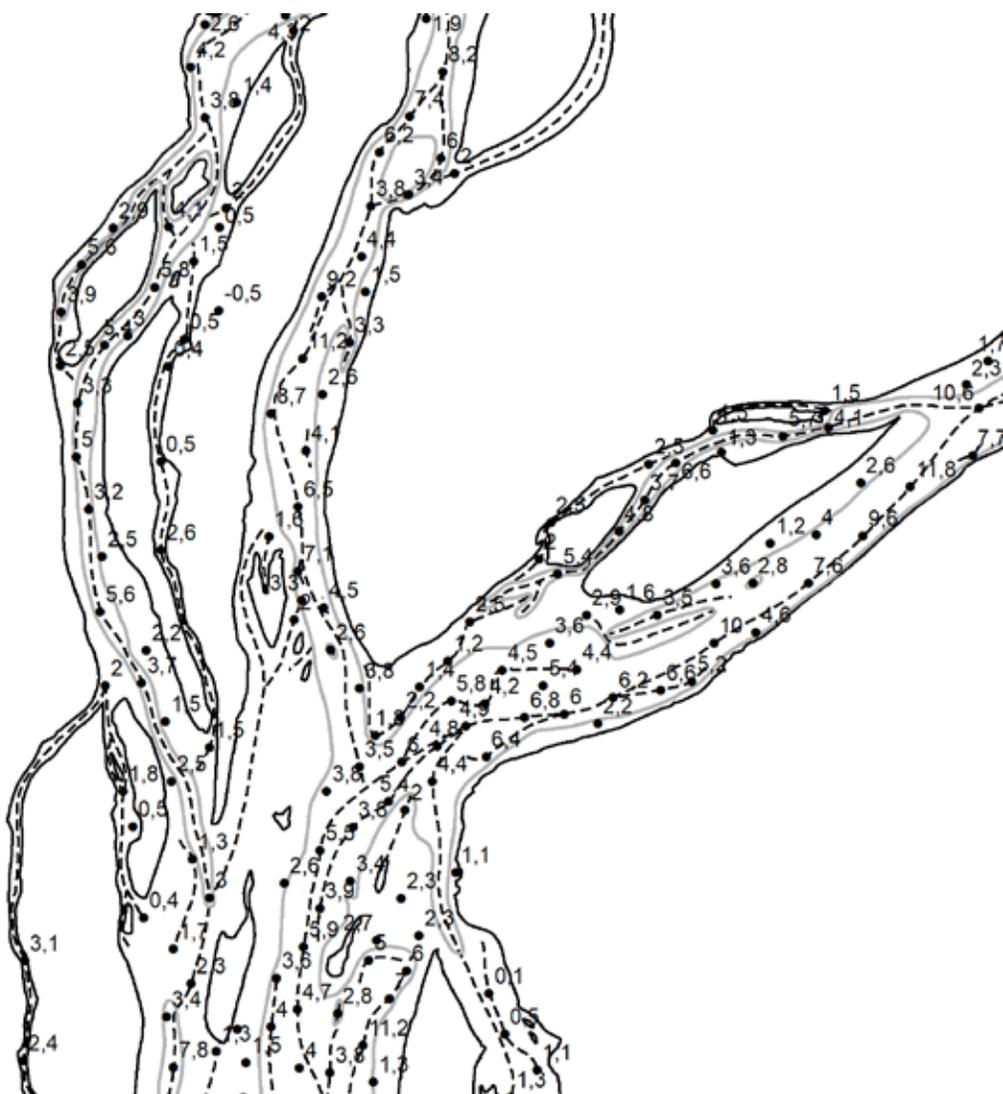


Рис. 3. Фрагмент векторной модели русла

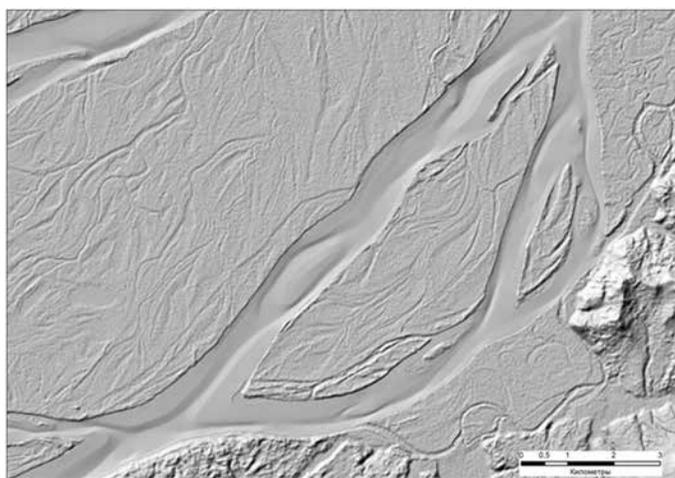


Рис. 4. Фрагмент растровой цифровой модели русла-поймы (в тенях)

осуществляется передача Z-метрики осевых линий по поперечным секущим русла на участки береговой линии. Полученные 3D-полилинии береговых и осевых линий используются в качестве основы для построения ППУВ методом естественной окрестности. Вторым вариантом построения ППУВ применялся при невозможности создать описанный выше набор пространственных данных (точек и линий), обеспечивающих корректное построение поверхности. В этом случае использовалось оригинальное программное приложение, реализующее «волновой» алгоритм построения ППУВ, входными данными для которого являются растры в формате ESRI ASCII, содержащие информацию о 2D-геометрии русла, линии направления основных потоков и абсолютных отметках вдоль линий главного русла.

Результаты гидродинамического моделирования

Численные эксперименты выполнены с помощью двумерной гидродинамической модели Stream 2D CUDA⁵ для рек Амур и Зея. Расчетная сетка (рис. 5) построена при помощи модифицированной версии программы «TRIANA» [1]. По руслу р. Амур и притокам строилась преимущественно четырехугольная криволинейная сетка, ячейки имеют вытянутую вдоль русла форму и максимально адаптированы по направлению течения, на геометрически сложных участках русла и поймы строилась треугольная сетка.

Количество ячеек поперек русла Амура варьировало от 5 до 16 с длинами сторон 50–190 м. На притоках количество ячеек поперек русла составило от 5 до 10 с длинами сторон 100–250 м. Протоки, имеющие ширину более 150 м, выделялись отдельными полигонами, сетка строилась преимущественно четырехугольная (1–2–3 ячейки поперек протоки с длиной ячейки 100–250 м), на некоторых протоках строилась треугольная сетка. Длина сторон ячеек вдоль основного русла, притоков и проток составляла от 100 до 650 м. Фрагмент расчетной сетки в районе Хабаровска представлен на рис. 6.

Дополнительно в модели были выделены автомобильные и некоторые железные дороги, идущие вдоль русла р. Амур, а также пересекающие его пойму. По дорогам строилась четырехугольная сетка в одну ячейку поперек с длиной стороны 100 м. Некоторые железные дороги, имеющие высокие отметки рельефа, предполагались непреливаемыми и не включались в расчетную сетку. Мосты через р. Амур и притоки выделялись отдельным полигоном с четырехугольной сеткой в одну ячейку шириной 100 м, размер ячеек вдоль моста соответствовал ячейкам русла. Острова, заросшие лесом, выделялись отдельными полигонами и покрывались треугольной сеткой, малые острова включались в русловые полигоны.

На пойме строилась треугольная сетка нерегулярной структуры. На территории РФ длина ячеек варьировала от 100 м (в местах примыкания дамб и автомобильных дорог) до 700 м (на удаленных от русел рек участках поймы), но в средней части пойм в основном длина стороны ячейки составила 500 м. На территории КНР вблизи русел, дамб и дорог длина ячейки была выдержана в пределах 500 м, на участках за дамбами строилась более грубая сетка с длинами сторон до 700–1000 м.

В модели для задания гидрографов (графиков изменения во времени расхода воды) определены входные границы по руслам р. Амур и его притоков (Зея, Буря, Сунгари, Уссури и Селемджа). Значения коэффициентов шероховатости на различных участках русла и поймы откалиброваны в результате вариантных расчетов из условия наилучшего совпадения с имеющимися натурными данными (измеренные глубины и скорости течения

⁵ Св-во о гос. регистрации программ для ЭВМ № 2017660266 от 20.09.2017. Программный комплекс STREAM 2D CUDA для расчета течений, деформаций дна и переноса загрязнений в открытых потоках с использованием технологий Compute Unified Device Architecture (на графических процессорах NVIDIA) / Алексюк А.И., Беликов В.В.

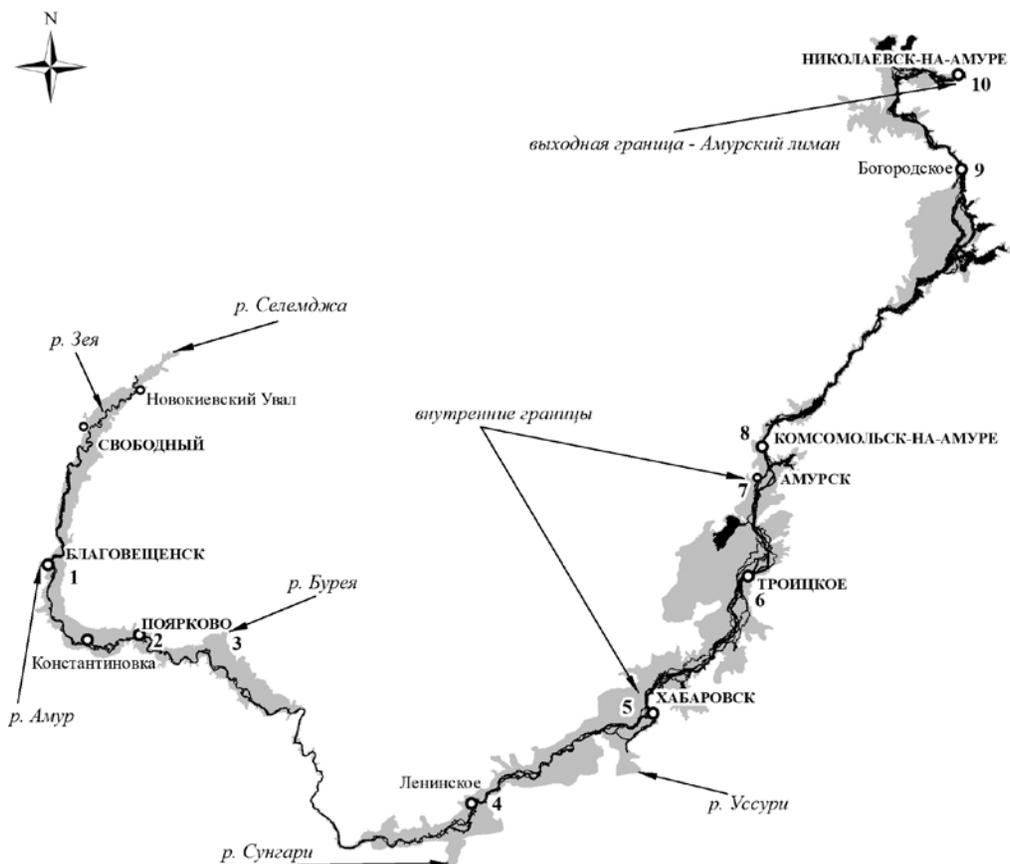


Рис. 5. Расчетная сетка для модели реки Амур: границы модели и контрольные точки

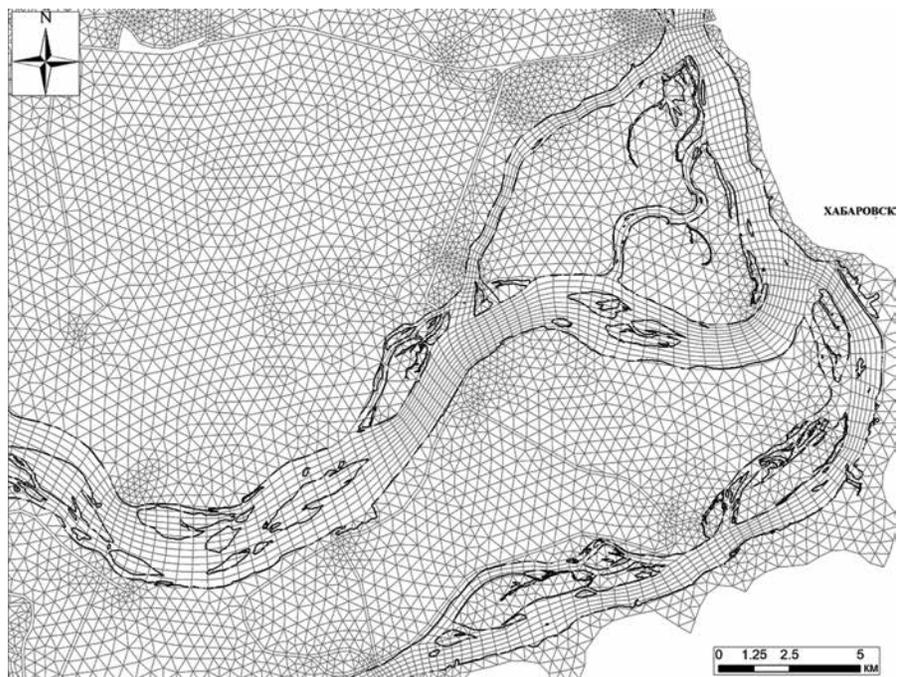


Рис. 6. Фрагмент расчетной гибридной сетки в районе Хабаровска

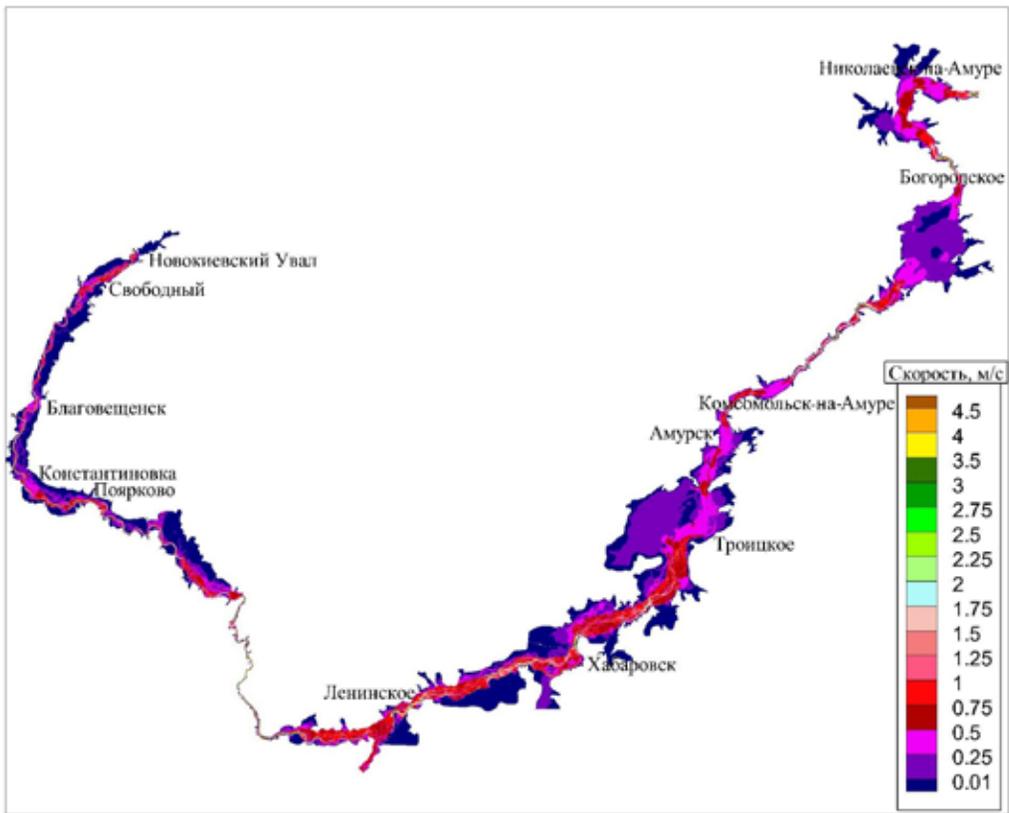


Рис. 7. Скорости течения воды при суммарном расходе воды 43 000 м³/с по руслу Амура у г. Хабаровск

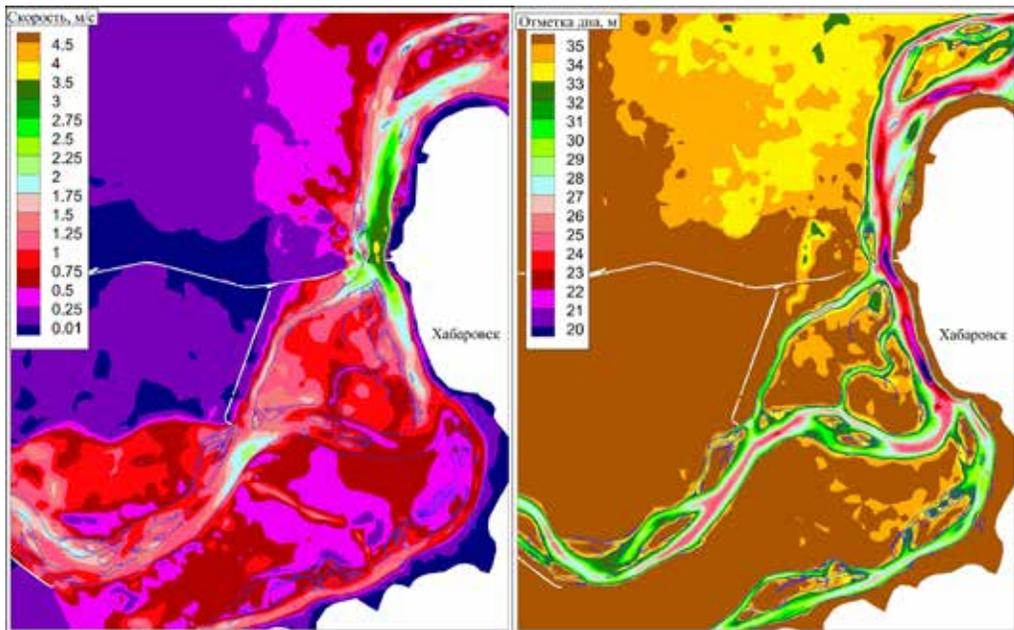


Рис. 8. Фрагмент поля скоростей течения и рельеф дна Амура в районе г. Хабаровск

в различных створах, уклоны водной поверхности на различных участках русла и поймы при разных расходах воды).

Для тестовых расчетов на входных границах задавался искусственный гидрограф, в котором расход в течение недели увеличивался до фиксированного максимального значения, а затем не изменялся. Максимальный суммарный расход воды в створе г. Хабаровск, приблизительно соответствующий наводнению 2013 г., составил 43 000 м³/с, а именно: по р. Амур у Благовещенска – 11 610 м³/с, по р. Зея – 12 900 м³/с, по р. Бурей – 2150 м³/с, по р. Сунгари – 12 900 м³/с, по р. Уссури – 3440 м³/с. На рис. 7 и 8 приведены поля скоростей течения.

Заключение

Таким образом, на текущий момент построена ЦМР с разрешением 10 м русла-поймы р. Амур от с. Покровка до г. Комсомольск-на-Амуре, включая судоходные притоки: р. Зея (от с. Мазаново до устья), р. Уссури (от г. Лесозаводск до устья). В ближайшее время планируется включить участки р. Бурей (от створа Нижне-Бурейской ГЭС до устья), р. Сунгари (от г. Цязмусы до устья), р. Тунгуска (от с. Архангеловка до устья).

Отметим, что полученный опыт построения ЦМР русла подтвердил не только целесообразность привлечения для этих целей материалов космической съемки, но и необходимость использования именно мультитременных серий космических изображений. Такие мультитременные серии служат источником достаточно детальной информации о рельефе «переходной/трансграничной» зоны русло-пойма (осушаемый участок русла – затапливаемый участок прирусловой поймы). Для решения проблемы актуализации ЦМР разработаны новые подходы и программное обеспечение построения поверхности проектного уровня воды. Созданная ЦМР и технология ее построения особенно актуальны для больших трансграничных рек, таких как Амур. В перспективе они обеспечат основу для международного развития систем моделирования и прогнозирования гидрологического режима и экологического состояния водных объектов, различного рода сценарных расчетов и создания систем поддержки принятия решений и управления водными ресурсами, планирования развития территории на основе бассейнового принципа.

Создана двумерная гидродинамическая модель на основе STREAM-2D (р. Зея от створа Зейской ГЭС до устья, р. Амур от Благовещенска до Комсомольска-на-Амуре). Предполагается ее расширение на всю область, для которой построена актуализированная ЦМР. Результаты численных экспериментов показали, что модель пригодна для проведения систематических расчетов прохождения паводочной волны и перспективна для включения в систему управления водными ресурсами в бассейне Амура.

ЛИТЕРАТУРА

1. Беликов В.В. Вычислительный комплекс «TRIANA» – генератор сеток треугольных конечных элементов в произвольных плоских областях. М.: ГосФАП СССР, 1984. П007705.
2. Болгов М.В., Алексеевский Н.И., Гарцман Б.И., Георгиевский В.Ю., Дугина И.О., Ким В.И., Махинов А.Н., Шальгин А.Л. Экстремальное наводнение в бассейне Амура в 2013 году: анализ формирования, оценки и рекомендации // География и природ. ресурсы. 2015. № 3. С. 17–26.
3. Борщ С.В., Бураков Д.А., Симонов Ю.А. Методика оперативного расчета и прогноза суточного притока воды в водохранилище Зейской ГЭС // Тр. ГУ ГМЦ РФ. 2016. Вып. 359. С. 106–127.
4. Бугаец А.Н., Гончуков Л.В., Соколов О.В., Гарцман Б.И., Краснопеев С.М. Автоматизированная информационная система гидрологического мониторинга и управления данными // Метеорол. и гидрология. 2017. № 3. С. 103–113.
5. Бугаец А.Н., Гончуков Л.В., Неров И.О., Соколов О.В., Мотовилов Ю.Г., Калугин А.С. Гидрологическая модель как web-сервисное приложение: опыт реализации на примере модели ECOMAG // 4-е Виноградские чтения. Гидрология от познания к мировоззрению. С.-Пб.: С.-Пб. гос. ун-т, 2020. С. 48–53.

6. Бугаец А.Н., Мотовилов Ю.Г., Беликов В.В. и др. Построение интегрированной системы гидрологического моделирования с применением стандарта OpenMI для задач управления риском наводнений (на примере Среднего Амура) // Научное обеспечение реализации «Водной стратегии Российской Федерации на период до 2020 года» / ФГБУН Ин-т вод. проблем РАН. 2015. С. 12–20.
7. Бугаец А.Н., Гончуков Л.В. Практические примеры использования стандарта OpenMI для создания интегрированных систем гидрологического моделирования // 2-е Виноградские чтения. Искусство гидрологии. С.-Пб.: С.-Пб. гос. ун-т, 2015. С. 271–276.
8. Бугаец А.Н. Применение стандарта OpenMI для создания интегрированных систем гидрологического моделирования // Метеорол. и гидрология. 2014. № 7. С. 93–105.
9. Бугаец А.Н., Мотовилов Ю.Г., Гончуков Л.В., Соколов О.В., Гарцман Б.И., Калугин А.С., Морейдо В.М., Фингерт Е.А., Сучилина З.А. Разработка интегрированной системы гидрологического мониторинга на базе модели ECOMAG для бассейна р. Уссури // Водные ресурсы: новые вызовы и пути решения / Ин-т вод. проблем РАН; Рос. информ.-аналит. и науч.-исслед. водохозяйств. центр. Новочеркасск: Лик, 2017. С. 495–500.
10. Данилов-Данильян В.И., Гельфан А.Н., Мотовилов Ю.Г., Калугин А.С. Катастрофическое наводнение 2013 года в бассейне реки Амур: условия формирования, оценка повторяемости, результаты моделирования // Вод. ресурсы. 2014. Т. 41, № 2. С. 111–122.
11. Загрузка и использование цифровой модели рельефа Airbus WorldDEM4Ortho. – https://blogs.esri-cis.ru/2018/05/30/worlddem_for_ortho_airbus_for_esri_using/.
12. Калугин А.С., Мотовилов Ю.Г. Модель формирования стока для бассейна реки Амур // Вод. ресурсы. 2018. Т. 45, № 2. С. 121–132.
13. Макаров А.В., Неров И.О. К вопросу об информационно-аналитическом сопровождении деятельности межведомственной рабочей группы по регулированию режимов работы Бурейского, Нижне-Бурейского и Зейского водохранилищ при прохождении паводков в бассейне реки Амур // XIV Междунар. науч.-практ. симпози. и выставка «Чистая вода России»: сб. материалов. Екатеринбург, 2017. С. 68–72. – <https://wrm.ru/files/chvr2017.pdf>.
14. Мотовилов Ю.Г., Балыбердин В.В., Гарцман Б.И., Гельфан А.Н., Морейдо В.М., Соколов О.В. Краткосрочный прогноз притока воды в Бурейское водохранилище на основе модели ECOMAG с использованием метеорологических прогнозов // Вод. хоз-во России: проблемы, технологии, управление. 2017. № 1. С. 78–102.
15. Мотовилов Ю.Г., Данилов-Данильян В.И., Дод Е.В., Калугин А.С. Оценка противопаводкового эффекта действующих и планируемых водохранилищ в бассейне Среднего Амура на основе физико-математических гидрологических моделей // Вод. ресурсы. 2015. Т. 42, № 5. С. 476–491.
16. Неров И.О., Бугаец А.Н. Результаты и перспективы использования гидродинамической модели распространения паводочных волн в бассейне реки Амур // Вод. хоз-во России: проблемы, технологии, управление. 2017. № 6. С. 48–61.
17. Неров И.О., Бугаец А.Н., Краснопеев С.М., Мотовилов Ю.Г., Калугин А.С., Беликов В.В., Гончуков Л.В., Соколов О.В., Розанов В.В. Система информационного обеспечения гидрологического моделирования в бассейне реки Амур // Наука и инновационные технологии на службе водной безопасности: сб. науч. тр. / Сеть водохозяйственных организаций Восточной Европы, Кавказа, Центральной Азии. Ташкент, 2019. С. 230–237.
18. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 18. Дальний Восток. Вып. 1. Верхний и средний Амур (от истоков до с. Помпеевка). Л.: Гидрометеозидат, 1966. 782 с.
19. Borsch S., Khristoforov A., Krovotyntsev V., Leontieva E., Simonov Yu., Zatyagalova V. A basin approach to a hydrological service delivery system in the Amur River Basin // Geosciences. 2018. Vol. 8, iss. 3. 93.
20. Bugaets A.N., Gonchukov L.V., Sokolov O.V., Gartsman B.I., Krasnopeev S.M. Information system to support regional hydrological monitoring and forecasting // Water Resources. 2018. Vol. 45, suppl. iss. 1. P. 59–66.
21. Bugaets A., Gartsman B., Gelfan A., Motovilov Yu., Sokolov O., Gonchukov L., Kalugin A., Moreido V., Suchilina Z., Fingert E. The integrated system of hydrological forecasting in the Ussuri River Basin based on the ECOMAG model // Geosciences. 2018. Vol. 8, iss. 1. 5.
22. Krasnopeyev S.M., Shulkin E.V., Pashinskiy S.S. The system of spatial interpretation of hydrological information for automated information system of hydrological monitoring and data management of PRIMHYDROMET // 2018 3rd Russian-Pacific Conf. on Computer Technology and Applications (RPC), Vladivostok, Russia, 18–25 Aug. 2018. 5 p. DOI: 10.1109/RPC.2018.8482163.
23. Jarihani A.A., Callow J.N., McVicar T.R., Van Niel T.G., Larsen J.R. Satellite-derived Digital Elevation Model (DEM) selection, preparation and correction for hydrodynamic modelling in large, low-gradient and data-sparse catchments // J. Hydrol. 2015. Vol. 524. P. 489–506. DOI:10.1016/j.jhydrol.2015.02.049.
24. Jung H.C., Jasinski M.F. Sensitivity of a floodplain hydrodynamic model to satellite-based DEM scale and accuracy: Case study – the Atchafalaya Basin // Remote Sens. 2015. Vol. 7. P. 7938–7958. DOI: 10.3390/rs70607938.
25. Yamazaki D., Baugh C.A., Bates P.D., Kanae S., Alsdorf D.E., Oki T. Adjustment of a spaceborne DEM for use in floodplain hydrodynamic modeling // J. Hydrol. 2012. Vol. 436–437. P. 81–91. DOI:10.1016/j.jhydrol.2012.02.045.

Е.Г. ЕГИДАРЕВ, Л.В. ГОРБАТЕНКО, Д.Г. ТЮНЯТКИН

Оценка зоны затопления поймы реки Амур в 2013 г. на основе данных космического мониторинга

Пойменные территории, играющие значительную роль в хозяйственной деятельности человека, часто подвергаются затоплению во время наводнений, в том числе катастрофических. С использованием данных дистанционного зондирования Земли и с учетом сроков прохождения паводочной волны выделена максимальная зона затопления поймы р. Амур на российской части бассейна от Зейского водохранилища до устья во время наводнения 2013 г., рассчитана ее площадь. Расчет проведен по участкам бассейна, определенным для удобства отбора космических снимков с временной привязкой к датам максимальных уровней воды, измеренных в пунктах наблюдений сети Росгидромета. При проведении расчетов учитывался имеющийся охранный статус пойменных земель. Полученные данные показывают совокупное фактическое воздействие паводка 2013 г. на пойму р. Амур и ее экосистемы и могут быть использованы для оценки наиболее паводкоопасных участков, экологических угроз пойменным территориям с точки зрения рассредоточенного загрязнения вод, охраны пойменных экосистем.

Ключевые слова: зона затопления, наводнение, космический мониторинг, максимальные уровни воды, пойма.

Assessment of the flooded zone of the Amur River floodplain in 2013 based on space monitoring data. E.G. EGIDAREV^{1,2}, L.V. GORBATENKO¹, D.G. TYUNYATKIN¹ (¹Pacific Geographical Institute, FEB RAS, Vladivostok, ²World Wildlife Fund (WWF), Amur Branch, Vladivostok).

Playing an important role in human economic activities, floodplains are often impacted by floods, sometimes catastrophic ones. Using remote sensing data and considering the period of a flood wave passage, the maximum flooding zone of the Amur River floodplain in the Russian part of the basin was delineated from the Zeya water reservoir to the estuary during the flood in 2013, and its area was calculated. The calculation was carried out for the parts of the basin, determined for the convenience of selecting satellite images with a time reference to the dates of the maximum water levels measured at observation stations of the Russian meteorological service. During the calculations, the existing protection status of floodplain areas was taken into account. The obtained estimates show the cumulative actual impact of the 2013 flood on the Amur River floodplain and its ecosystems. These data can be used to assess the most flood-risk territories, to estimate environmental threats to floodplain sites in terms of distributed water pollution, as well as for protection of floodplain ecosystems.

Key words: flooded zone, floods, remote sensing data, maximum water levels, floodplain.

Введение

Пойменные земли бассейна р. Амур шириной до 25–30 км на отдельных участках долины, привлекательные для ведения хозяйственной деятельности и проживания населения, часто подвержены наводнениям. Так, в г. Хабаровск за период наблюдений длительностью более 120 лет наводнения различной интенсивности отмечались в 91 % лет,

*ЕГИДАРЕВ Евгений Геннадьевич – кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник (Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Владивосток, Всемирный фонд дикой природы (WWF-Россия), Амурский филиал, Владивосток), ГОРБАТЕНКО Лариса Вячеславовна – кандидат географических наук, научный сотрудник, ТЮНЯТКИН Дмитрий Геннадьевич – кандидат географических наук, научный сотрудник (Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Владивосток). *E-mail: egidarev@yandex.ru

из них выдающиеся и катастрофические – в 17 % лет (20 раз) [2]. К катастрофическим относится и наводнение 2013 г., ущерб от которого, составивший более 500 млрд руб., в целом по бассейну превысил годовой бюджет всех административных субъектов ДФО [2]. Причины и характеристики этого гидрологического события неоднократно анализировались [1, 5, 12,], его повторяемость у г. Хабаровск, где Росгидрометом зафиксирован расход воды в объеме 46 000 м³/с, оценивается в 0,4–0,5 % (1 раз в 200 лет) [10]. С целью управления рисками подобных чрезвычайных ситуаций природного характера и их последствиями после этого наводнения было принято Постановление Правительства РФ¹, согласно которому для населенных пунктов, подверженных затоплению, расчетным способом устанавливаются границы зон затопления паводком повторяемостью 1 раз в 100 лет с внесением их характерных координат в Единый государственный реестр недвижимости. Работа по установлению границ зон затопления, регламентированная этим Постановлением, является очень трудоемкой и в целом еще не завершена. Так, на территории ЕАО для 16 населенных пунктов в Ленинском, Октябрьском и Смидовичском районах, часть из которых находится в пойме главного русла р. Амур (села Амурзет, Благословенное, Доброе, Екатерино-Никольское, Нагибово, Пузино, Новое, Квашино, Ленинское, Кукелево, Дежнево, Нижнеленинское, поселки Николаевка, Приамурский), границы зон затопления согласованы с территориальным органом Росгидромета лишь в конце 2020 г.²

Даже после завершения этих работ характеристика возможного затопления земель всего бассейна во время паводков редкой повторяемости не будет общей и целостной, так как коснется только территорий, прилегающих к населенным пунктам. Между тем мелко-масштабная оценка затопления поймы р. Амур во время катастрофического наводнения 2013 г. могла бы проиллюстрировать возможности поймы относительно поглощения части паводочного стока и, следовательно, определенного снижения уровней воды ниже по течению рек бассейна; определить в дальнейшем с учетом глубин затопления наиболее паводкоопасные участки поймы; провести функциональное зонирование пойменных территорий для планирования освоения еще не используемых земель и проведения противопаводковых защитных мероприятий различного уровня; и др.

Ранее была выделена пойма р. Амур и проведено ее картографирование на наиболее подверженном крупным наводнениям участке от Зейской ГЭС на р. Зeya, притоке р. Амур, до его устья [6]. Цель настоящего исследования – определение зон затопления пойм р. Амур во время наводнения 2013 г. с использованием данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и учетом их имеющегося охранного статуса. Наводнение на р. Амур в 2013 г. считается одним из сильнейших за весь период наблюдений, в связи с этим выделение границ затопленных территорий для будущих прогнозов приобретает особо важное значение.

Материалы и методы

Картографирование поймы в крупном масштабе на основе геодезических работ и картографических материалов является трудоемким процессом, особенно для такого обширного объекта, как бассейн р. Амур, общая площадь которого составляет более 2 млн км² [4]. Существует альтернативный способ выделения пойм – с привлечением средств геоинформационных систем с одновременным использованием разновременных

¹ Постановление Правительства РФ от 18 апреля 2014 г. № 360 «О зонах затопления, подтопления» (в редакции от 07.09.2019 № 1171). – <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&nd=102349198> (дата обращения: 15.09.2021).

² Согласно Постановлению Правительства РФ № 360 перед обращением органов исполнительной власти в Федеральное агентство водных ресурсов для утверждения предложений и сведений о границах зон затопления они подлежат согласованию с территориальными органами Министерства РФ по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, Федеральной службой по надзору в сфере природопользования, Федеральной службой по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды.

космических снимков и топографических карт соответствующих масштабов, широко применяемый в географических исследованиях различных направлений [8, 11, 13], в том числе гидрологических [9, 14]. Данный метод картографирования был применен на исследуемом участке реки и показал себя эффективным, поскольку позволил избежать высокотратных полевых работ.

Для решения задач данного исследования были использованы материалы из открытых онлайн-ресурсов³, доступные разновременные космические снимки среднего разрешения (Modis, Landsat) на всю исследуемую территорию, создан растровый каталог, предоставляющий возможность быстрого поиска необходимых снимков для дальнейшей их обработки и дешифрирования.

Для идентификации зон затопления применен метод визуального дешифрирования, заключающийся в распознавании зрительных образов, формирующихся при наблюдении снимка, и определении их семантических характеристик [3]. Выделение территории, покрытой водой, проводилось с использованием прямых дешифровочных признаков (тон, цвет, форма контуров, текстура).

Нами проанализированы ежедневные данные по уровням воды в пунктах наблюдений на главном русле р. Амур и ниже Зейской ГЭС с целью выявления максимальных уровней на конкретную дату в 2013 г. (табл. 1).

Таблица 1

Характеристики уровней воды в пунктах наблюдений и зоны затопления на главном русле р. Амур во время наводнения 2013 г.

Пункт наблюдений	Отметка нуля поста, БС*	Расстояние от устья, км*	Максимальный наблюдаемый уровень воды, см*	Дата максимального уровня воды*	Превышение уровней воды отметки опасного явления (ОЯ), см	Ширина зоны затопления в створе пункта наблюдений, м
Г. Благовещенск	119,88	1941	821	16.08	21	8119
С. Константиновка	107,64	1831	924	18.08	174	1399
С. Иннокентьевка	87,52	1641	1081	20.08	151	530
С. Пашково	72,50	1533	1802	24.08	202	540
С. Екатерино-Никольское	56,62	1366	1132	24.08	132	80
С. Нагибово	50,88	1313	1202	24.08	102	168
С. Ленинское	42,94	1190	1044	29.08	194	2460
С. Нижнеспасское	34,11	1012	710	3.09	210	630
Г. Хабаровск	30,69	966	808	4.09	207	5080
С. Елабуга	25,49	875	756	5.09	206	1720
С. Троицкое	20,52	770	610	9.09	160	3830
С. Малмыж	16,89	707	792	12.09	232	4790
Г. Комсомольск-на-Амуре	12,93	614	911	12.09	261	650
С. Нижнетамбовское	8,18	514	1016	13.09	266	230
С. Циммермановка	5,11	407	821	15.09	71	4540
С. Богородское	1,36	238	648	18.09	148	2150
С. Тахта	2,10	123	629	24.09	79	12290
Г. Николаевск-на-Амуре	1,10	48	259	27.09	0	120

*Источник – Водный реестр РФ (<https://gmvo.skniivh.ru/>).

На основе сопоставления этих данных с состоянием метеоусловий были определены участки территории бассейна р. Амур для наилучшего отслеживания процесса затопления поймы по материалам ДЗЗ с временной привязкой (табл. 2), учитывающей значения максимального стока в пунктах наблюдений сети Росгидромета при прохождении паводочной волны от верхнего створа наблюдений к нижнему на каждом речном участке.

³ U.S. Geological Survey, 2021. – <https://earthexplorer.usgs.gov/> (дата обращения: 15.09.2021).

После этого произведена выборка космических снимков из всех доступных каталогов ДЗЗ.

Таблица 2

Результаты сопоставления пика паводка и наличия безоблачных снимков на рассматриваемых участках рек

Участок реки	Период максимального стока (максимальный расход воды), месяц. (день)	Безоблачные дни в период паводка, месяц (день)	Оптимальные даты космических снимков для наблюдения за паводком
Зейская ГЭС – г. Благовещенск	08.18–08.24 (14 300 м ³ /с 23.08 по ст. с. Белогорье)*	08 (14, 15, 19–21, 23–29)	08 (19–21, 23, 24), месяц (день)
Г. Благовещенск – граница ЕАО	08.16–08.24 (нет данных)	08 (14, 15, 20, 21, 24–25, 27–29)	08 (14, 15, 20, 21, 24–25, 27–28)
Устье р. Помпеевка – г. Хабаровск	08.24–09.03 (нет данных)	08 (14, 15, 16, 20, 21, 25–28) 09 (4–13, 15, 16, 18, 22, 24–30)	08 (21, 25–28) 09 (4–13)
Г. Хабаровск – г. Комсомольск-на-Амуре	09.04–09.12 (46 000 м ³ /с 03, 04.09 по ст. г. Хабаровск)	09 (2, 3, 6–10, 13, 15, 16, 18, 24–26, 28, 30)	09 (3, 6–10, 13, 15)
Г. Комсомольск-на-Амуре – Амурский лиман (устье)	09.12–09.27 (53 000 м ³ /с 18, 19.09 по ст. с. Богородское)	09 (1–3, 6–8, 10, 14, 16, 19, 22, 28, 30) 10 (1, 6, 10, 18–20)	09 (10, 14, 16, 19, 22, 28, 30)

* Ст. – станция наблюдений за стоком реки.

Результаты и их обсуждение

По результатам анализа отобранных данных ДЗЗ в масштабе 1 : 100 000 выделены территории максимального затопления поймы рек Зeya и Амур и рассчитана их общая площадь (27 554 км²). По каждому из выделенных участков проведена оценка степени затопления поймы (табл. 3). Масштабы затопления на р. Зeya и на главном русле р. Амур в средней части его бассейна до створа Тайпингоу были намного менее катастрофичны,

Таблица 3

Оценка площади затопления пойменных территорий во время наводнения на р. Амур в 2013 г.

Участок бассейна реки	Площадь поймы, км ²	Площадь максимального затопления, выделенная по космическим снимкам, км ²	Доля затопленной поймы, %	Общая средняя ширина зоны затопления*, м
Зейская ГЭС – устье р. Селемджа	1 071	515	48	1 519
Устье р. Селемджа – г. Благовещенск	2 857	1 777	62	9 125
Г. Благовещенск – устье р. Буряя	2 993	1 705	57	7 354
Устье р. Буряя – створ Тайпингоу (в районе китайского поселка Гучжань)	1 888	1 041	55	8 756
Створ Тайпингоу – устье р. Сунгари	2 000	1 329	66	5 642
Устье р. Сунгари – г. Хабаровск	3 849	3 759	98	13 784
Г. Хабаровск – г. Комсомольск-на-Амуре	5 947	9 205	155	26 832
Г. Комсомольск на Амуре – устье р. Амгунь	4 494	5 989	133	13 794
Устье р. Амгунь – Амурский лиман	1 606	2 237	139	15 216
Всего	26 705	27 554	103	11 335

*С учетом лево- и правосторонней (трансграничной) частей речной долины.

чем на участке от г. Хабаровск до устья реки, где затоплению подверглись надпойменные террасы. Хорошо просматривается «вклад» в наводнение р. Сунгари, ниже впадения которой практически вся пойма р. Амур была затоплена. В верхней и средней частях бассейна р. Амур и на р. Сунгари уровни и расходы воды не превышали как исторических максимумов, так и уровней и расходов предшествующего катастрофического наводнения (1984 г.) [2]. Следует отметить, что китайская р. Сунгари в силу значительной антропогенной преобразованности территории ее бассейна практически не имеет естественных пойменных территорий, а ее русло максимально укреплено дамбами различной протяженности.

Оценки степени затопления пойменных территорий во время наводнения 2013 г. показывают значимую роль поймы в аккумуляровании паводочных вод, которое в наибольшем объеме наблюдалось в нижней части бассейна р. Амур от г. Хабаровск до устья. Здесь же расположены обширные пойменные расширения, накапливающие огромную массу воды [7]. Общая ширина зоны затопления, включая трансграничную (китайскую) часть на протяжении главного русла, в зависимости от участка изменялась от 1,5 км в среднем течении р. Зея до 26,8 км на нижнем Амуре от г. Хабаровск до г. Комсомольск-на-Амуре. В створах наблюдений за стоком реки ширина ее разлива была меньшей (от 80–120 м до 12,3 км) из-за особенностей строения поймы в районе расположения гидрологических постов (станций), при этом на всех без исключения пунктах наблюдения за уровнями воды в той или иной степени была превышена отметка опасного явления (табл. 1), т.е. были затоплены или подтоплены отдельные жилые и хозяйственные строения, сельскохозяйственные угодья, дороги и др.

Пойма как важная часть речной системы играет большую роль в обмене водными массами и веществом между руслом и прилегающими территориями [18], поэтому ее затопление во время наводнений может через рассредоточенный смыв загрязняющих веществ приводить к ухудшению качества воды водотоков. Антропогенное воздействие на территории пойм частично регулируется водным законодательством в водоохраных зонах, в частности, согласно ст. 65 Водного кодекса РФ⁴ в их пределах запрещены сброс сточных вод и их использование; размещение кладбищ, скотомогильников, свалок, химических, токсичных, ядовитых и иных вредных веществ и их использование, а также другие виды деятельности, которые могут быть источниками загрязняющего воздействия на водные ресурсы.

Оценка ширины зон затопления поймы и прилегающих территорий р. Амур показывает, что она превышала установленную Водным кодексом РФ ширину водоохранной зоны для главного русла р. Амур в 500 м (табл. 1). Во время наводнения 2013 г. на протяжении значительной части главного русла р. Амур из-за разлива реки на отдельных участках на ширину до нескольких десятков километров водоохранная зона была полностью затоплена, в частности на территории ЕАО (рис. 1).

Поскольку за пределами водоохраных зон использование земель не регламентируется, факт их затопления представляет угрозу с точки зрения загрязнения реки, поэтому должны подлежать инвентаризации и ликвидации или переносу все возможные источники этого загрязнения в пределах фактических зон затопления, в частности сельскохозяйственные угодья, на которых применяются пестициды и ядохимикаты. Представляется возможным увеличение ширины водоохранной зоны для р. Амур на отдельных участках широкой поймы в целях минимизации возможного загрязнения вод.

Помимо водоохраных зон существуют другие способы ограничения хозяйственной деятельности на пойменных территориях, используемые для охраны пойменных экосистем, но положительным образом влияющие и на качество природных вод, формируемое во время паводков, – это создание особо охраняемых природных территорий (ООПТ) (рис. 2).

Доля ООПТ на территории поймы всей российской части бассейна р. Амур в настоящее время составляет немногим более 11 % от их общей площади, на трансграничных участках

⁴ Водный кодекс РФ. 2006. – <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&nd=102107048> (дата обращения: 20.09.2021).

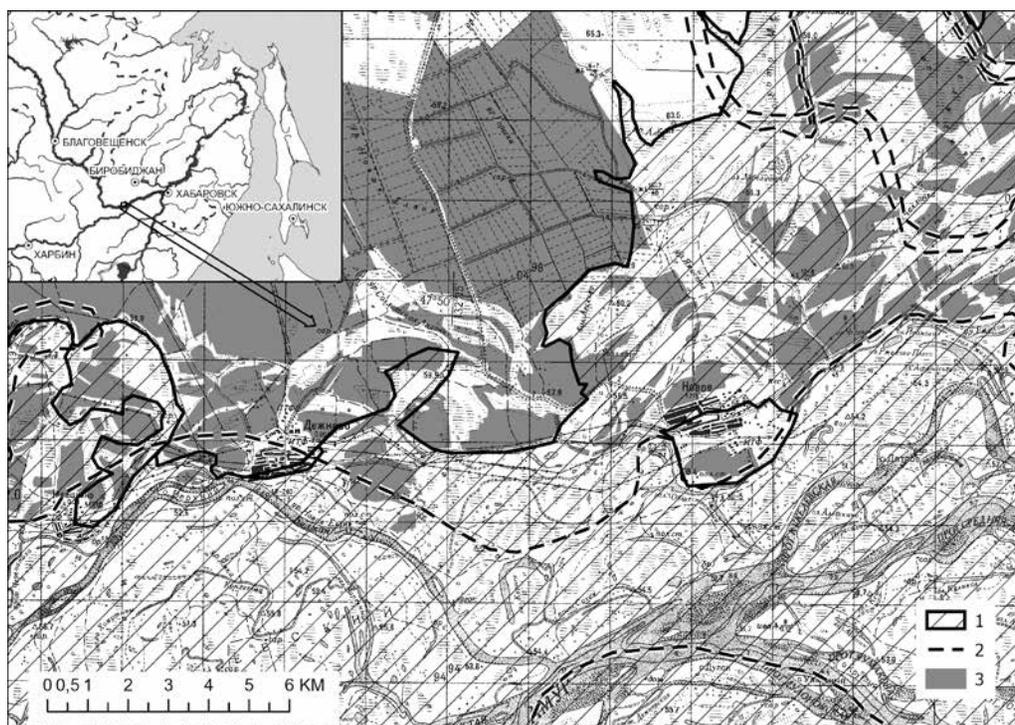


Рис. 1. Водоохранные зоны во время паводка на р. Амур в 2013 г. (фрагмент территории Еврейской автономной области): 1 – зона затопления поймы в 2013 г., 2 – водоохранная зона, 3 – сельскохозяйственные угодья

бассейна превышает 15 % (табл. 4). Несмотря на то что значительная часть поймы охраняемая и в водоохранных зонах вдоль речных водотоков действуют регулирующие режимы, катастрофические паводки продолжают негативно влиять на качество водной среды в амурском бассейне. В частности, у г. Хабаровск в р. Амур во время наводнений наблюдается повышенная минерализация воды [16, 17], причиной чего может быть как влияние крупных верхних притоков реки [15], так и смыв вещества с близлежащих территорий, в том числе поймы.

Вместе с тем влияние паводков на ООПТ может быть положительным, так как многие из них, расположенные на пойменных территориях, созданы для охраны водных и околоводных экосистем, в том числе водно-болотных угодий, для которых периодические наво-

Таблица 4

Охраняемые природные территории в пойме р. Амур

Субъект РФ	Площадь поймы, всего*, км ²	В том числе на трансграничных участках рек, км ²	Всего ООПТ на территории поймы, км ²	В том числе на трансграничных участках рек, км ²
Амурская область	12 489	4666	1811	1087
Хабаровский край	22 852	786	2608	17,5
Приморский край	2451	372	230	214
Еврейская АО	3647	3026	195	195
Забайкальский край	3682	886	172	10,5
Всего	45 121	9736	5016	1524

*Все пойменные территории крупных рек с водосбором более 10 000 км².

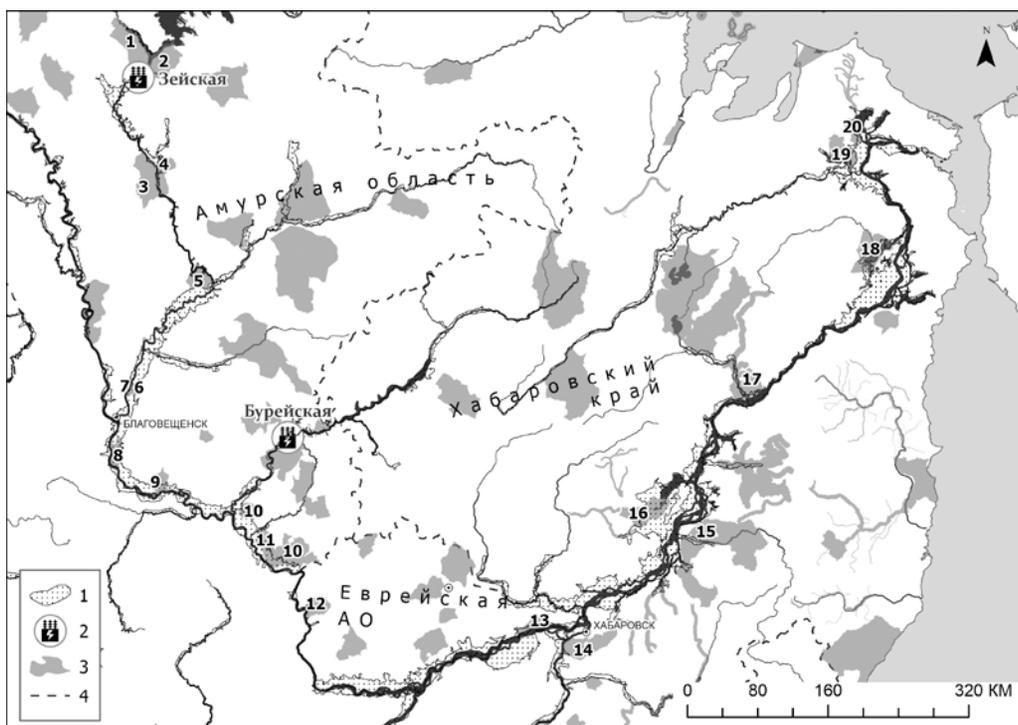


Рис. 2. Особо охраняемые природные территории в зоне затопления во время наводнения 2013 г.: 1 – зоны затопления во время наводнения в 2013 г.; 2 – гидроэлектростанции; 3 – особо охраняемые природные территории; 4 – границы субъектов РФ. Примечание. Цифрами на карте обозначены ООПТ на пойменных территориях вдоль рек Зей и Амур: 1 – Заповедник «Зейский»; 2 – заказник «Бекельдеуль»; 3 – охранный зона заказника «Усть-Тыгдинский»; 4 – заказник «Усть-Тыгдинский»; 5 – заказник «Иверский»; 6 – заказник «Березовский»; 7 – заказник «Благовещенский»; 8 – заказник «Муравьевский»; 9 – заказник «Амурский»; 10 – заповедник «Хинганский»; 11 – заказник «Ганукан»; 12 – заказник «Дичун»; 13 – заповедник «Бастак “Забеловский”»; 14 – заповедник «Большехехирский»; 15 – национальный парк «Аниойский»; 16 – заповедник «Болоньский»; 17 – заповедник «Комсомольский»; 18 – федеральный заказник «Удыль»; 19 – заказник «Дальжинский»; 20 – заказник «Приозерный»

днения на реках – фактор поддержания условий существования многих видов животных и растений.

Заклучение

На основе полученных из доступных источников данных ДЗЗ на территорию российской части бассейна р. Амур от Зейской ГЭС до устья реки с учетом открытого (безоблачного) неба проанализировано прохождение паводка в 2013 г. На основе ежедневных данных выполнена серия разновременных картосхем, отображающих пик наводнения, рассчитана площадь максимального затопления поймы и прилегающих к ней участков долины реки. Сопоставление границ ранее выделенной поймы и затопленных в 2013 г. территорий показывает, что во время катастрофического паводка на части бассейна, расположенной ниже г. Хабаровск по течению, была полностью затоплена не только вся пойма, но и часть прилегающих к ней надпойменных террас.

Ширина водоохранной зоны для р. Амур на отдельных участках широкой поймы в целях минимизации возможного загрязнения вод может быть законодательно увеличена. Выявление подобных участков требует отдельных исследований с определением тех из

них, на которых расположены опасные загрязняющие объекты. Целесообразность таких мер должна учитывать возможности ликвидации или переноса опасных объектов.

Создана ГИС, включающая большое количество спутниковых снимков, предоставляющих возможность отслеживания всех этапов наводнения 2013 г., а также топографических и тематических карт, которые могут быть использованы при моделировании и анализе различных природных явлений на территории бассейна р. Амур.

Полученные результаты могут быть использованы для проведения дальнейших оценок экологических угроз пойменным территориям р. Амур, в том числе с точки зрения рассредоточенного загрязнения вод. Они имеют большое значение для обеспечения безопасности освоения территории и прогнозирования вероятности и последствий чрезвычайных ситуаций природного происхождения. Актуальность подобных исследований подтвердилась в 2021 г., когда очередное наводнение в среднем течении рек Амур и Зея создало экологические и социальные проблемы при использовании пойменных территорий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Болгов М.В., Трубецкова М.Д., Филлипова И.А., Харламов М.А. Особенности выпадения экстремальных осадков в бассейне реки Амур летом 2013 г. // География и природ. ресурсы. 2017. № 2. С. 37–45.
2. Бортин Н.Н. Проблемы комплексного использования и управления водными ресурсами на территории Амурского бассейна // Вод. х-во России. 2017. № 6. С. 16–33.
3. Варфоломеев А.Ф., Воробьев А.В. Визуальное и автоматизированное дешифрирование снимков среднего и высокого пространственного разрешения // Картография и геодезия в современном мире: материалы Второй всерос. науч.-практ. конф., Саранск, 08 апреля 2014 г. Саранск: Нац. исслед. Мордовский гос. ун-т им. Н.П. Огарёва, 2014. С. 145–147.
4. Ганзей С.С., Ермошин В.В., Мишина Н.В., Шираива Т. Современное использование земель в бассейне Амура // География и природные ресурсы. 2007. № 2. С. 17–25.
5. Данилов-Данильян В.И., Гельфан А.Н., Мотовилов Ю.Г., Калугин А.С. Катастрофическое наводнение 2013 года в бассейне реки Амур: условия формирования, оценка повторяемости, результаты моделирования // Вод. ресурсы. 2014. Т. 41, № 2. С. 111–122.
6. Егидарев Е.Г. Картографирование и оценка пойменных комплексов в долине реки Амур // Вестн. ДВО РАН. 2012. № 2. С. 9–167.
7. Ким В.И., Махинов А.Н., Дугаева Я.Ю., Юнг К. Регулирующая роль поймы Амура в трансформации паводочной волны // Природные опасности, современные экологические риски и устойчивость экосистем: материалы Всерос. конф. Хабаровск: Омега-Пресс, 2018. С. 205–208.
8. Крутских Н.В., Кравченко И.Ю. Использование космоснимков Landsat для геоэкологического мониторинга урбанизированных территорий // Соврем. проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. Т. 15, № 2. С. 159–168.
9. Манилюк Т.А., Маслова А.В. Исследование водных поверхностей озер путем использования водных индексов по данным дистанционного зондирования // Вестн. Забайкальского гос. ун-та. 2017. Т. 23, № 3. С. 4–11.
10. Махинов А.Н., Ким В.И., Воронов Б.А. Наводнение в бассейне Амура 2013 года: причины и последствия // Вестн. ДВО РАН. 2014. № 2. С. 5–14.
11. Музыченко Т.К., Маслова М.Н. Трансграничный анализ структуры земель бассейна реки Раздольная // Тихоокеан. география. 2021. № 1. С. 70–77.
12. Семенов Е.К., Соколина Н.Н., Татаринич Е.В., Тудрий К.О. Синоптические условия формирования катастрофического наводнения на Амуре в 2013 г. // Метеорол. и гидрология. 2014. № 8. С. 25–34.
13. Сухинин А.И., Воробьева М.В., Охоткина Е.А. Космический мониторинг снегового покрова Сибири по данным радиометра MODIS // Вестн. Сибир. гос. аэрокосм. ун-та. 2011. № 4. С. 90–96.
14. Терехов А.Г., Пак И.Т., Долгих С.А. Данные LANDSAT 5,7,8 и ЦМР в задаче мониторинга гидрологического режима Капшагайского водохранилища на реке Текес (китайская часть бассейна реки Иле) // Соврем. проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015. Т. 12, № 6. С. 174–182.
15. Шестеркин В.П., Шестеркина Н.М. Влияние крупных наводнений в районе Хабаровска в 2018–2019 гг. на гидрохимическую структуру вод Амура // Метеорол. и гидрология. 2020. № 11. С. 92–99.
16. Шестеркин В.П., Шестеркина Н.М. Гидрохимия реки Амур в период прохождения очень сильных верхнеамурских наводнений // Водные ресурсы и водопользование: материалы III Всерос. с междунар. участием науч.-практ. конф. Чита: ЗабГУ, 2020. С. 40–45.
17. Шестеркин В.П., Шестеркина Н.М. Сезонное распределение ионного стока реки Амур у Хабаровска в многоводном 2013 году // Водные ресурсы и водопользование: материалы IV Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Чита: ЗабГУ, 2021. С. 22–27.
18. Kiedrzyń'ska E., Kiedrzyń'ski M., Zalewski M. Sustainable floodplain management for flood prevention and water quality improvement // Nat Hazard. 2015. Vol. 76. P. 955–977.

В.Н. НЕВСКИЙ

Заметки о некоторых физико-географических науках в культуре постмодерна, синтезе и парадигмах

Сформулированы варианты междисциплинарных проектов синтетического характера. Центральным звеном в их постановке и реализации должны стать физико-географические науки – климатология, геоморфология и, возможно, ландшафтоведение. Отмечены некоторые характерные особенности этих и смежных с ними наук, которые можно интерпретировать как ослабление теоретических составляющих и усиление технических и «технологических» аспектов. Возникновение междисциплинарных синтетических задач обусловлено существенной структурной перестройкой этих наук, источником которой являются факторы, сформированные новейшей культурно-исторической средой – постмодерном. (Здесь речь идет о таких физико-географических науках, как климатология, геоморфология, ландшафтоведение; упоминаются также геология и биология.) Первый такой синтетический проект призван связать ротационный режим Земли, тектонику, климат и материковые оледенения и должен осуществляться «под общим руководством» климатологии. Второй проект можно назвать современной версией географического детерминизма; он должен объединить усилия климатологии, геоморфологии, гуманитарной географии и биологии. Отмеченные науки пока еще способны сформулировать новые междисциплинарные парадигмы, которые повысят их теоретический статус.

Ключевые слова: география, климатология, геоморфология, ландшафтоведение, постмодерн, синтез, парадигма, номогенез.

Notes on some physical-geographic sciences in the postmodern culture, synthesis and paradigms.
V.N. NEVSKY (Pacific Geographical Institute, FEB RAS, Vladivostok).

Options for interdisciplinary projects of a synthetic nature are formulated in this article. Physical-geographical sciences (climatology, geomorphology, and, possibly, landscape science) must become the central links in the formulation and solution of these problems. Some characteristic features of these and related sciences are specified. These features indicate a certain weakening of theoretical components and an enhancement of technical and “technological” aspects of the disciplines. The emergence of these interdisciplinary synthetic problems is due to substantial restructuring of these sciences. The sources of the restructuring are factors formed by the newest cultural and historical environment - postmodernity. (Here we are talking about such physical-geographic sciences as climatology, geomorphology and landscape science; geology and biology are also mentioned.) The first such synthetic project has to link the rotational regime of the Earth, tectonics, climate and continental glaciations and should be carried out “under the general guidance” of climatology. The second project can be called the modern version of geographical determinism; it must combine the efforts of climatology, geomorphology, humanitarian geography and biology. The above sciences are still able to formulate new interdisciplinary paradigms that will enhance their theoretical status.

Key words: geography, climatology, geomorphology, landscape science, postmodernity, synthesis, paradigm, nomogenesis.

Введение

Географы, как и представители других наук, владеющие системным анализом, не могут не отметить ряд судьбоносных изменений в тематике и выводах научных исследований, которые в конце XX в. приобрели черты устойчивых тенденций [3, 5, 15, 16, 23, 26]. Наука, разумеется, никогда не стоит на месте, но смена тенденций – это признак фундаментальных перемен. Разные специалисты характеризовали их и как кризисные, и как застойные, и как революционные. Такие крайности в оценках были обусловлены многоплановостью и неоднозначностью их природы. Наиболее весомые современные достижения географических наук – это, скорее, совершенствования методологий. Кроме того, появились признаки отхода от доминирования аналитического начала в научных исследованиях и, в целом, от неопозитивизма, который до второй половины XX в. был фактически основополагающим мировоззренческим принципом науки. Характер и масштабность выводов наводят на предположение о том, что наука продолжает углубляться в частности, но, тем не менее, пытается иногда выбраться из этого содержательного однообразия. Некоторые, даже вполне «успешные», дисциплины отказываются от прежних стратегических ориентиров и находят новые, которые в рамках традиционного научного мышления следует назвать скорее тактическими. В данном случае это упрек биологии (но не только ей). Как ни удивительно, в последнее время сопротивление неodarвинизму ослабевает, несмотря на то что он не может удовлетворительно объяснить ни одной фундаментальной проблемы прогрессивной эволюции. Немногочисленные современные оппоненты неodarвинизма (А. Лима-де-Фариа, Ю.В. Чайковский [21], В.И. Назаров [13] и др.) показали его несостоятельность, но острота их критики нивелируется вопросом «а что взамен?». Однако рано или поздно неodarвинизм будет заменен новой концепцией, которая включит его в свою конструкцию. Согласно Т. Куна [10], когда накапливается достаточно данных о значимых аномалиях, противоречащих текущей парадигме, то научная дисциплина переживает кризис. В течение этого кризиса испытываются новые идеи, которые были известны ранее, но не принимались во внимание. Затем формируется новая парадигма. В биологии такой сценарий пока еще реалистичен.

А в географии?

Характерные особенности некоторых физико-географических (и смежных с ними) наук в культуре постмодерна

Для ответа на поставленный выше вопрос необходимо учесть, что концепция Т. Куна появилась в 1962 г., т.е. она создавалась в традициях модерна. Но уже в том же и в следующих десятилетиях модерн стал сдавать свои позиции под натиском постмодерна. Модерн и постмодерн – этапы культурологической периодизации истории, характеризующиеся определенным набором признаков [22]. Более ранний модерн утверждал единственность истины, безграничные способности человечества, всевластие науки, т.е. исходил из отсутствия каких-либо препятствий на пути познания, совершенства человеческой природы, включая безграничный рост благосостояния. Идущий ему на смену постмодерн в качестве главных принципов признает отказ от идеи единства и утверждение идеи множественности (истина или недостижима, или многовариантна), утверждение эклектизма и плюрализма в научном мировоззрении, изменение общенаучной стратегии в пользу интерпретации, а не поиска закономерностей. Одной из фундаментальных первопричин постмодерна является осознание ограниченности ресурсов и, в широком смысле, многих перспектив человечества, которые в эпоху модерна казались бесконечными. Все конечно – и природные ресурсы, и человеческие способности, и сама жизнь, поскольку современное обыденное мышление уже неохотно принимает на веру постулируемое основными религиями бессмертия души.

Необходимо отметить ограниченную применимость представлений Т. Куна к ряду географических дисциплин. Кто рискнет заявить, что в климатологии, гидрологии, геоморфологии, почвоведении, ландшафтоведении накопился материал, грозящий сменой парадигмы? Никто. Однако количество высказываемых мнений о кризисах, нередко скромно называемых «проблемами развития», только растёт. Впрочем, в последние годы тема кризисов в науке стала немодной все по той же причине: культуре постмодерна она неинтересна.

Одна из главных особенностей современных физико-географических дисциплин – существенное ослабление их исторических аспектов. Бесконечность (пространственная и историческая) – важнейший атрибут модерна, поскольку его основополагающие принципы – «мир бесконечен» и «мир движется к совершенству, которому нет предела». Но в культуре постмодерна вместо пространственной и временной бесконечности предлагается нечто иное – бесконечность вариантов отражения реальности, в том числе географической. Бесконечность Вселенной прямо не оспаривается (хотя попытки есть), однако этот вопрос в силу принципиальной неразрешимости отодвинут в сторону. В числе первых на наступление новой эпохи прореагировала теоретическая физика. Одними из ранних знаков и, одновременно, причин постмодерна стали принцип дополнительности Н. Бора и принцип неопределенности В. Гейзенберга, которые как бы подтвердили объективную ограниченность процесса познания. Но оказалось, что эти принципы актуальны (т.е. весьма вероятны) и для некоторых других наук, связанных с временной или пространственной бесконечностью. Например, при прогнозировании землетрясений на Камчатке, Сахалине и в Алтае-Саянском регионе краткосрочный прогноз возможен, но при этом существенно возрастает ошибка положения эпицентра. И, наоборот, при удачном прогнозе положения эпицентра существенно возрастает ошибка по времени и магнитуде [19]. В рамках сложившихся научных традиций нам пока удастся удовлетворительное объяснение либо структурных аспектов объекта, либо временных (эволюционных). Эту интересную методологическую особенность географических дисциплин отметили еще в начале 1970-х годов А.Д. Арманд и В.О. Таргульян [1] на нескольких примерах (наиболее показательны примеры почвенных разрезов и социологического анкетирования). Если мы пытаемся моделировать сложный географический или геологический объект, то, во-первых, мы должны отдать явное предпочтение либо его структуре, либо его динамике, и, во-вторых, мы обнаруживаем, что точность информации приходит в противоречие с ее полнотой. Можно ли устранить этот «казус» совершенствованием методологий? Уменьшить противоречия – да, но устранить саму проблему пока, на современном этапе научного познания, нельзя [1]. Следующая в данном ряду – биология. Филогенетическая систематика, задуманная как «эволюционное древо», на деле отражает дивергентные структурные изменения, а не эволюцию [21]. Однако в условиях постмодерна вопросы такого рода теряют свою актуальность – они воспринимаются как «бессмысленные». Но так же бессмысленно и укорять постмодерн в создании этих и подобных казусов, которые, строго говоря, являются логическим финальным следствием неопозитивистского модерна и слабости его холистических начал. Постмодерн всего лишь пытается по-своему (в меру своих возможностей) их исправить или отодвинуть на задний план современной науки. И вполне вероятно, что эта неожиданно появившаяся и трудная для понимания особенность некоторых наук сдвигает научную мысль в преимущественно «структурное» русло.

Метеорологи и климатологи считают основной своей задачей в настоящее время создание надежной базы для моделирования атмосферных процессов. Они исходят из того, что основополагающие закономерности уже известны, остались уточнения. Но вот что важно отметить: во взаимодействии ротационного режима Земли, глобальной циркуляции атмосферы и глобальной геотектоники еще много непонятого. Однако количество статей на эту тему заметно поубавилось после 1990-х. И неудивительно, что климатология приближается к формулированию весьма оригинальной парадигмы. Инструментально подтверждено глобальное потепление климата. Большинство климатологов приняло этот

процесс как антропогенно обусловленный и, следовательно, безальтернативный. В то же время появились многочисленные оппоненты, убежденные в том, что скоро нас ждет похолодание (А.М. Городницкий, Х.И. Абдусаматов и многие другие). И у тех, и у других своя аргументация. Такая дихотомия вполне в духе модерна. Она разрешается традиционным способом – борьбой двух противоборствующих гипотез. Но постмодерн не любит дихотомий, поскольку не признает единственность истины. Вполне вероятно, что ни та, ни другая точка зрения в этом научном споре так и не победит вплоть до момента признания очевидности самого события. Однако выживание человечества – проблема слишком серьезная, и поэтому вопрос-дихотомия, как ни удивительно, начинает обретать силу новой парадигмы, причем не сугубо географической, а фундаментальной, общенаучной, на которой будут строиться экономика, социология, геополитика и т.д. Необходимы дополнительные исследования, ревизия палеогеографических данных, конкуренция гипотез – словом, как раз то, что можно назвать экстраполяцией модерна.

Дистанцирование от третьей компоненты формулы-триады В. Дэвиса [6] – «стадии» – существенно изменило и в определенной степени ослабило геоморфологию. Не потому ли среди геоморфологов нет единства в определении стратегии своей дисциплины? Прежняя парадигма В. Дэвиса («структура – процесс – стадия/время») способствовала накоплению богатого теоретического материала. Но она постепенно истощает свой ресурс. И этот процесс совпадает с закрытием последних «белых пятен» на поверхности Земли. Рельеф планеты изучен и нанесен на карты. Механизмы экзогенных геоморфологических процессов в целом поняты. Но одновременно геоморфология теряет теоретическую самостоятельность и превращается в технологическое дополнение геологии вопреки тому, что именно она пока еще обладает способностью к геолого-географическому синтезу [17, 20, 27]. Основные категории геоморфологии «форма рельефа» и «тип рельефа» могли бы стать не только структурными, но и эволюционными категориями в рамках большой синтетической задачи, однако заказа на такую историю пока нет.

Что касается ландшафтоведения, то исторический аспект в нем изначально не был достаточно развит. В современном ландшафтоведении преобладают «структурный» и «функциональный» аспекты, где глубокие исторические экскурсы отданы палеогеографии. Сама эта дисциплина создавалась как синтетическая, призванная повернуться лицом к холизму. Позже в русле синтетических дисциплин оформились также гуманитарная (общественная) география [4] и метагеография (в версии Д.Н. Замятина [7]), которые трудно назвать физико-географическими (опять же, с точки зрения модерна), но которые имеют непосредственную связь с географическими ландшафтами. Теоретическое ландшафтоведение сформулировало вполне конкретную парадигму, которую называют системной. В ней выделены четыре позиции, определяющие: а) положение элемента в системе (ландшафте), б) целостность системы, не сводимой к простой сумме составных элементов, в) позицию системы (ландшафта) в среде и ее связи со средой и, наконец, г) иерархическую структуру системы, которая, в свою очередь, является элементом системы более высокого ранга. Однако очевидно, что эта парадигма не самостоятельная, а привнесенная из общей теории систем. Кроме того, в ней нет историчности как таковой. Синтез вышел неполноценным. В последние годы ландшафтоведение чаще занимается комбинаторикой без формирования принципиально новых смыслов. Тезис этот, конечно, спорный; некоторые географы выражают несогласие с ним, но другие его принимают. Впрочем, картографический и статистический материал, который дает ландшафтоведение, будет востребован всегда. Востребованы будут и инженерно-геоморфологическое картографирование, и прогноз опасных экзогенных процессов. Востребованы будут «технологии».

Характерная черта трех отмеченных дисциплин – относительная смысловая стагнация на фоне развитых аналитических методологий. Основные закономерности будто бы познаны. Исследована вся поверхность Земли. Изучены ландшафтные компоненты и их взаимосвязи. Понятна физическая сущность атмосферных и геоморфологических процессов. Но что дальше?

Выводы и перспективы: глобальные «синтетические» проекты, которые могут осуществляться «под руководством» или при участии физико-географических наук

Сохранение теоретического статуса отмеченных выше и смежных с ними физико-географических дисциплин, по-видимому, уже не может быть связано с появлением парадигм аналитического характера. Уместно повторить, что одна из главных слабостей модерна – его недоверие к холизму. Целью синтеза может быть географический объект – знание его строения, функционирования, понимание его места в системе более высокого уровня. Это то, ради чего создавалось ландшафтоведение. И с синтезом такого рода в современной науке особых проблем нет, хотя это не совсем синтез, а, скорее, обычный системный подход. Однако географы неоднократно отмечали, что объект географического исследования не только и не столько «осязаемый» предмет, сколько система отношений [12]. Законы строятся на системе отношений. И вот в этой области проблемы осуществления синтеза и поиска контуров новых парадигм могут найти более интересные и многообещающие решения.

Климатология может стать «осевой» наукой в ряду, включающем также физику, геотектонику, океанологию, гляциологию, палеогеографию и космологию для постановки и решения важнейшей синтетической задачи, которая в наиболее сжатом виде формулируется так: динамическая система ротационного режима Земли, движения литосферных плит (с сопутствующим вулканизмом), глобальной циркуляции атмосферы, периодичности и масштабов глобальных климатических событий, материковых оледенений и геомагнитных событий. Все эти динамические взаимосвязанные компоненты обладают уникальной историчностью, обусловленной разными, но преимущественно внешними (космическими) факторами [14, 25]. Климатическая ритмика Земли, вероятнее всего, является иницирующим и организующим процессом. В частности, существенное уменьшение или, наоборот, разрастание материковых ледниковых покровов обуславливает направленные изменения в ротационном режиме Земли, те, в свою очередь, приводят к перераспределению моментов сил, действующих на литосферные плиты, что в дальнейшем запускает цепь различных событий во всех «сферах» Земли. В представленной динамической системе можно взять в качестве отправного любое звено. Эта конструкция удовлетворительно сосуществует с современными версиями мобилизма, основанными на так называемом пассивном спрединге.

Ландшафтоведение, в целом, определилось со своим будущим. Синтез на уровне системной парадигмы можно считать естественным ограничением для данной дисциплины. Ландшафтоведение изучает комплекс процессов пространственной самоорганизации геосистем. В этом отношении оно смыкается с гуманитарной (общественной) географией, которая провозглашает своей задачей изучение геопространственной самоорганизации общества [8], т.е. общества, «вписанного» в многоуровневую ландшафтную структуру, но сохраняющего известную самостоятельность от последней. Данная формулировка задачи вполне способна претендовать на статус «осовремененной» парадигмы. Другой аспект ландшафтоведения, связанный с первым, – это, конечно, поведение ландшафтов в условиях глобальных климатических изменений.

Геоморфология – наука, изначально склонная к синтетическим обобщениям в силу двойственной специфики предмета изучения (рельеф – продукт совместного действия эндогенных и экзогенных сил). И эта двойственность порождает много споров о форме и содержании в геоморфологии, о структурных единицах, классификациях и т.д. [17]. Геоморфологи, желающие сохранить свою науку, в последние десятилетия все активнее выходят «вовне», в смежные дисциплины, с целью поиска новых путей развития [15, 20, 23, 27]. Но существуют ли идеи синтетического характера, способные стать объединительными как для геоморфологии, так и для смежных с нею наук?

Один из интересных вариантов такой синтетической идеи на базе геоморфологии и ландшафтоведения – географический туризм [5, 24]. Естественно, в этом случае нам придется переосмыслить «идеологию» туризма. Учитывая реалии современности, это уже не воспринимается как утопия, и гуманитарная география готова к созданию такой идеологии. И все же утилитарный аспект, даже с перспективой теоретического наполнения, вряд ли сможет стать предтечей парадигмы.

В то же время мы можем отметить еще одну генеральную идею, известную с античных времен, которая способна стать платформой для синтеза. В начале XIX в. она получила существенное развитие, затем последовал спад, но, по большому счету, эта идея никогда не предавалась полному забвению. В последние годы интерес к ней возрождается благодаря, главным образом, некоторым геоморфологам и представителям гуманитарной географии [4, 7, 18]. Речь идет о географическом детерминизме – разумеется, не о буквальном возрождении взглядов Ш. Монтескье и Г. Бокля, формировавшихся «на пике» модерна и не принятого модерном. Наиболее глубоко эта идея была проработана Ф. Ратцелем и А.А. Крубером. Именно представления А.А. Крубера [9], дополненные последними научными достижениями, позволяют найти основу для географического синтеза. Современная версия географического детерминизма, или антропогеографии, может быть поставлена на принципиально иную идейную базу – номогенез (эволюцию на основе закономерностей). Обычно, и вполне обоснованно, мы связываем данную идею с именем выдающегося географа Л.С. Берга (одного из немногих, обладавших «чувством» синтеза и холизма) [2]. Реже вспоминаем биологов. Но ведь именно советский биолог С.В. Мейен обрисовал стройную систему поэтапного «развертывания» заложенных в природе способностей (потенций, задатков, программ), которые реализуются или по необходимости, или при определенных условиях [11]. С.В. Мейен не был в этом смысле одинок. Но, к сожалению, внятного механизма такого развертывания пока не предложено. Следует заметить, что номогенез не вступает в противоречие с неопозитивизмом. Он является скорее организующим принципом, позволяющим несколько иначе осмысливать материал, полученный традиционными способами. А постижение закона, который предопределяет эволюцию земной биосферы и ноосферы, – это, по всей видимости, слишком отдаленная перспектива, некая воображаемая конечная «точка» этапа познания мира сродни представлениям П. Тейяра де Шардена («точка Омега») и Г. Гегеля («Синтез»).

В наиболее общем виде обновленная синтетическая идея, использующая принцип географического детерминизма и базирующаяся прежде всего на достижениях исторической географии, геологии, геоморфологии и климатологии, имеет следующую формулировку: «Эволюционный метод; синергетический подход» [3]. Суть ее может быть отражена в виде двух тезисов [15]. Первый: если мы принимаем на вооружение идею номогенеза, то предполагаем существование какого-то «закона», согласно которому появление и эволюция органического мира, человека и человеческих сообществ «заложены» с той или иной степенью предопределенности в виде некоей метапрограммы. (Сразу следует сделать оговорку, что «метапрограмму» каждый вправе понимать по-своему; здесь мы говорим об основополагающем принципе номогенеза.) Второй тезис: коррелировав все исторически значимые геолого-геоморфологические события с климатическими, мы можем усложнять полученный каркас послойным наращиванием других компонент (растительность, животный мир, затем появление человека и т.д.). Таким способом мы попытаемся понять «механизм» формирования передовых биологических таксонов и, далее, самой цивилизации – появления человека, человеческого сознания, обществ, этносов и государств. Примерно в таком же аспекте представлял основную задачу географии А.А. Крубер.

Заключение

В завершение трудно удержаться от спорной, но интересной аналогии. Фактор ограниченности жизненного пространства, ресурсов и человеческих возможностей и

принцип объективной ограниченности процесса познания, привнесенные в нашу массовую культуру постмодерном (хотя истоки этого мировоззрения, конечно, следует отнести к модерну; достаточно вспомнить того же И. Канта), подводят нас к мысли о том, что все это напоминает мировосприятие человека, вступившего в пожилой возраст. Восстановление суверенитета обыденного мышления и изменение статуса истины указывают на определенную усталость от пресыщения научной информацией, которая все более теряет семантическую значимость. Иными словами, начинает проявляться еще одна знаковая черта постмодерна – равнодушное и даже пренебрежительное отношение к «избыточному» опыту («старости»), поскольку постмодерн пока не в состоянии его критически структурировать.

Возможно, «миссия» постмодерна состоит как раз в том, чтобы освободить человека от отягощающего его опыта и избытия информации? Биологам хорошо известно такое явление, как неотения – отсечение от онтогенеза его завершающей, зрелой стадии и сдвиг максимальной деятельной активности организма на более раннюю стадию. Неотения, как считают многие специалисты, является одним из способов осуществления эволюции. Не играет ли постмодерн роль этого интересного биологического явления – только не в природе, а в обществе? И тогда особенно понятна необходимость научного синтеза, поскольку он – единственный относительно «безболезненный» инструмент структурирования и ограничения избыточной информации и избыточного опыта. Пока еще есть надежда, что синтез станет действительно неизбежным и интересным для современной науки, хотя постмодерну пока более свойствен синкретизм.

Далеко не везде модерн достиг своего логического завершения. Это относится прежде всего к наукам, оперирующим временной или пространственной бесконечностью. У географических дисциплин сохраняется «задел» модерна, достаточный для формирования синтетических междисциплинарных парадигм и, соответственно, для своеобразного теоретического обновления. Будет обидно, если геоморфология окончательно превратится в технологический раздел геологии, а климатология откажется от своей синтетической задачи, в которую вовлечен десяток смежных дисциплин. Обидно будет и биологам, если они так и не вернуться к своей эволюционной парадигме на основе критического переосмысления неodarвинизма и принятия новых идей, в том числе со стороны физико-географических наук.

ЛИТЕРАТУРА

1. Арманд А.Д., Таргулян В.О. Некоторые принципиальные ограничения эксперимента и моделирования в географии // Изв. АН СССР. Серия геогр. 1974. № 4. С. 129–138.
2. Берг Л.С. Законы образования органических форм // Берг Л.С. Труды по теории эволюции. Л.: Наука, 1977. С. 312–338.
3. Борзенков В.Г. Философия науки. На пути к единству науки. М.: КДУ, 2008. 320 с.
4. Голубчиков Ю.Н. Основы гуманитарной географии: учеб. пособие. М.: Инфра-М, 2017. 364 с.
5. Голубчиков Ю.Н., Горбанев В.А. Современная география в преодолении междисциплинарных барьеров // Изв. РГО. 2016. Вып. 5. С. 80–89.
6. Дэвис В.М. Геоморфологические очерки. М.: Изд-во иностр. лит., 1962. 455 с.
7. Замятин Д.Н., Замятина Н.Ю. Гуманитарная география: предмет изучения и основные направления развития // Изв. РАН. Серия геогр. 2011. № 5. С. 97–108.
8. Каледин Н.В. Общественная география: от теоретико-методологического кризиса к новой научной парадигме // Вестн. СПбУ. Серия 7. Геология, география. 2014. Вып. 4. С. 159–166.
9. Крубер А.А. Общее землеведение. Ч. 3. Био- и антропогеография. М.: Госиздат, 1922. 404 с.
10. Кун Т. Структура научных революций. М.: АСТ, 2003. 605 с.
11. Мейен С.В. География макроэволюции у высших растений // Журн. общ. биологии. 1987. № 3. С. 291–310.
12. Мересте У.И., Ныммик С.Я. Современная география: вопросы теории. М.: Мысль, 1984. 296 с.
13. Назаров В.И. Эволюция не по Дарвину: Смена эволюционной модели. М.: ЛКИ, 2007. 520 с.
14. Назаров Г.Н. Оледенения и геологическое развитие Земли. М.: Недра, 1971. 152 с.
15. Невский В.Н. Геоморфология и Постмодерн // Науч. диалог. 2015. № 2. С. 6–20.

16. Николаенко Д.В. Философско-теоретические проблемы современной западной географии // Основные понятия, модели и методы общегеографических исследований. М.: ИГАН, 1984. С. 39–49.
17. Проблемы теоретической геоморфологии. М.: Наука, 1988. 256 с.
18. Рельеф и человек. М.: Науч. мир, 2007. 200 с.
19. Сибгатулин В.Г., Кабанов А.А., Нефедов Б.Н. Принцип неопределенности прогноза землетрясений // Геодинамические процессы и природные катастрофы: тез. докл. III Всерос. науч. конф. Южно-Сахалинск: Ин-т Морской геологии и геофизики ДВО РАН, 2019. С. 46.
20. Тимофеев Д.А., Борсук О.А., Уфимцев Г.Ф. Геоморфология вчера, сегодня, завтра // Геоморфология. 1999. № 4. С. 3–10.
21. Чайковский Ю.В. Активный связанный мир. Опыт теории эволюции жизни. М.: Т-во науч. изд. КМК, 2008. 726 с.
22. Bauman Z. Intimations of Postmodernity. L.: Routledge, 1992. 232 p.
23. Church M. The trajectory of geomorphology // Prog. Phys. Geogr. 2010. Vol. 34 (3). P. 265–286.
24. Massey D. Imagining the world // Geographical Worlds. Oxford: Oxford Univ. Press, 1995. P. 5–53.
25. Nevsky V.N. Let us try to turn geotectonics to the Sun // Proc. Int. Symp. on NCGT (New Concepts of Global Tectonics), La Junta, USA. La Junta: Otero Junior College, 2002. P. 309–318.
26. Sherman D.J. Fashion in geomorphology // The Scientific Nature of Geomorphology: Proc. 27th Binghamton Symp. in Geomorphology. John Wiley & Sons Ltd., 1996. P. 87–114. – <http://geoinfo.amu.edu.pl/WPK/natgeo/Chapt4.pdf> (дата обращения: 09.04.2021).
27. Slaymaker O. The future of geomorphology // Geogr. Compass. 2009. Vol. 3, iss. 1. P. 329–349.

В.А. НЕЧАЕВ, П.Г. ГОРОВОЙ

Миграции и особенности зимнего питания фазана (*Phasianus colchicus* L.) на юге Приморского края

Приводятся результаты наблюдений за миграциями фазанов в юго-западных районах Приморского края. Причины этого явления, которое в отдельные годы приобретает массовый характер из-за неблагоприятных погодных условий, прежде всего ранних и обильных снегопадов. Перемещения птиц обычно начинаются в конце октября – ноябре при высоте снега 10–15 см и продолжаются в декабре. Фазаны мигрируют в основном в юго-западном и западном направлениях стаями численностью от 10 до 30, реже до 100 особей и более. Рассматриваются особенности зимнего питания фазанов в различных местах обитания. В сельскохозяйственных районах основная пища птиц – семена культурных и, в меньшей степени, дикорастущих травянистых растений (бобовых, мятликовых, гречишных), плоды кустарников и деревьев. Там, где сельхозугодья занимают небольшие площади, птицы питаются главным образом плодами и семенами дикорастущих травянистых растений, а также сочными плодами древесных растений. Установлено, что фазаны в массовом количестве поедают семена сорняков, в том числе амброзии полыннолистной – карантинного растения, пыльца которого является причиной аллергических заболеваний (поллинозов). Основные распространители семян амброзии – домашние и дикие животные, к шерsti которых благодаря зубчикам семена прицепляются.

Ключевые слова: фазаны, миграции, особенности зимнего питания, Приморский край, Дальний Восток России.

Migrations and features of the winter food allowance of the pheasant (*Phasianus colchicus* L.) in the south of Primorsky Krai. V.A. NECHAEV¹, P.G. GOROVY² (Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity, FEB RAS, Vladivostok, ²G.B. Elyakov Pacific Institute of Bioorganic Chemistry, FEB RAS, Vladivostok).

Results of observations over migrations of pheasants in the southwest areas of Primorsky Krai are presented. The reasons for this phenomenon, which in separate years gets mass character because of adverse weather conditions, first of all, early and plentiful snowfalls. Bird movements usually begin in the end of October–November at snow height of 10–15 cm and proceed in December. Pheasants migrate, basically, in southwest and western directions flights number from 10 up to 30, less often up to 100 and more individuals. Features of a winter food allowance of pheasants in various habitats are considered. In agricultural areas the basic food of birds – seeds of cultural, and to a lesser degree, wild-growing grassy plants (legumes, Poaceae, Polygonaceae) and fruits of bushes and trees. There, where farmland borrow the small areas, birds eat, mainly, fruits and seeds of wild-growing grassy plants, as well as juicy fruits of wood plants. It is established, that pheasants in mass quantity eat seeds of weeds, including, ambrosia wormwood – a quarantine plant which pollen causes allergic diseases (pollenosis). The basic distributors of ambrosia seeds – house and wild animals to which wool, owing to cloves of seeds, the seeds are cling.

Key words: Pheasants, migrations, features of a winter food allowance, Primorsky Krai, Russian Far East.

НЕЧАЕВ Виталий Андреевич (1936–2018) – доктор биологических наук (Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН, Владивосток), *ГОРОВОЙ Пётр Григорьевич – академик РАН, доктор биологических наук, заведующий лабораторией (Тихоокеанский институт биоорганической химии им. Г.Б. Елякова ДВО РАН, Владивосток). *E-mail: petrgorovoy@gmail.com

Введение

В юго-западных районах Приморского края фазан обыкновенный (*Phasianus colchicus* L.) – в отдельные годы немногочисленный гнездящийся, частично оседлый, кочующий и мигрирующий вид. Характер пребывания, зимнее размещение и питание, сроки миграций и численность птиц находятся в прямой зависимости от погодных условий, прежде всего от состояния снежного покрова, определяющего доступность пищевых объектов для птиц.

Поздней осенью при отсутствии снега фазаны придерживаются своих постоянных мест обитания или в поисках пищи совершают местные кочевки и недалекие миграции. При выпадении снега высотой более 10 см и установлении снежного покрова, а затем и наста дальность перемещений большей части популяции птиц увеличивается, и кочевки переходят в миграции в малоснежные районы края и на соседние территории Китая.

Миграции фазанов известны давно. В середине XIX в. исследователь орнитофауны Уссурийского края Н.М. Пржевальский писал: «...с наступлением глубоких снегов фазаны улетают куда-то и уже не показываются до весны» (цит. по: [6]). О встречах мигрирующих птиц в несвойственных местах обитания сообщал орнитолог К.А. Воробьев, отмечавший, что осенью их можно встретить среди глухой тайги, на перевалах и даже на вершинах сопок в субальпийских ельниках [1]. До последнего времени миграции, поведение и особенности зимнего питания фазанов остаются недостаточно изученными. В связи с этим результаты наших исследований, проведенных в течение последних 50 лет в местах обитания фазанов в юго-западных районах Приморского края (Октябрьский, Пограничный, Ханкайский), представляют определенный научный интерес. Питание фазанов изучали путем анализа содержимого зобов и желудков птиц, добытых в осенне-зимний сезон. Плоды и семена определяли по эталонной коллекции семян растений, собранных на территории края (хранится в БПИ ДВО РАН).

Результаты и обсуждение

Известно, что на юге Приморского края кормовые кочевки и миграции фазанов регистрируются ежегодно, но массовый характер они приобретают в годы с ранними обильными снегопадами, когда основные объекты питания (плоды и семена растений) становятся для птиц малодоступными. Миграции птиц обычно начинаются в конце октября – ноябре и продолжаются в декабре. Так, по нашим наблюдениям, в долине среднего течения р. Комиссаровка, впадающей с запада в оз. Ханка, в 1971 г. миграции начались в начале ноября, после первого снегопада при высоте снежного покрова 10–15 см. Заметные перемещения птиц отмечались 12–13 ноября, более интенсивные – 16–19 ноября. Фазаны мигрировали в северо-восточном направлении из долины верхнего и среднего течений р. Комиссаровка в широкую долину ее нижнего течения и на сельскохозяйственные угодья Приханкайской равнины.

Местность, где проводились наблюдения, была открытой и далеко просматривалась; кустарниково-травянистые заросли и разнотравные луга, окруженные редколесьем из дуба и березы даурской, чередовались с участками убранных полей зерновых культур (овса, ячменя) и сои. Фазаны перемещались стаями, чаще всего из 10–30 особей; иногда птицы объединялись в более крупные скопления. Так, 16 ноября на окраине дубового леса наблюдали не менее 50 самцов и несколько самок, перебежавших поляну, а 19 ноября – группу из 72 самцов, которые совершенно открыто держались на галечниковой косе, протянувшейся вдоль берега реки. Фазаны двигались быстрыми шагами, иногда бежали, но всегда замедляли ходьбу перед выходом из зарослей. Наблюдались стаи, состоящие только из самцов, и смешанные группы, в которых преобладали самцы. В отличие от самок они были менее осторожными и нередко выходили из зарослей на открытые места. Между

птицами-«пешеходами» поддерживалась постоянная звуковая связь. Самцы издавали громкие хриплые крики, которые разносились на расстояние 50 м, самки передвигались в основном молча. По следам на снегу, птичьим голосам и фазанам, мелькавшим в зарослях и перелетавшим через реку, можно было лишь приблизительно дать оценку их численности. Так, утром 17 ноября в течение 2 ч мимо наблюдателя пробежало, вероятно, не менее 200 птиц, а за 2 дня было учтено около 1,5 тыс. особей.

Фазаны, зимующие в Приморье, держатся поодиночке или группами из 10–15 особей. Они встречаются на малоснежных или бесснежных участках полей, пастбищ, лугов и в кустарниково-травянистых зарослях, выходят на автомобильные дороги, посещают животноводческие фермы, огороды и сады на окраинах населенных пунктов. Птиц отмечали даже в парковой зоне городов Владивосток и Уссурийск. В дубовых лесах, разгребая снег, фазаны разыскивают желуди дуба (*Quercus mongolica*)¹, охотно поедают плоды древесных растений, сохраняющиеся зимой на ветвях. Так, срывая плоды боярышника перистонадрезного (*Crataegus pinnatifida*) и яблони маньчжурской (*Malus mandshurica*), птицы взлетают на нижние ветки и даже ходят по ним, удерживая равновесие с помощью слегка приподнятых крыльев и развернутого хвоста. На огородах поедают мелкий картофель и фасоль. При высоте снежного покрова более 20 см и во время сильных морозов фазаны нередко погибают от истощения и голода.

Фазаны относятся к плодояодно-семяноядным птицам. Зимой их пищевой рацион менее разнообразен, чем осенью; его состав зависит от мест обитания, состояния снежного покрова и степени урожайности плодов и семян. Основные объекты питания – плоды и семена культурных и дикорастущих травянистых растений, главным образом бобовых (*Fabaceae*), мятликовых (*Poaceae*) и гречиховых (*Polygonaceae*), а также сочные плоды деревьев, кустарников, лианы и травы [3].

Анализ содержимого 54 зобов фазанов, добытых в ноябре–декабре 1990-х – начале 2000-х годов в юго-западных сельскохозяйственных районах края, показал, что в питании птиц в количественном отношении доминировали семена культурных растений. Соя посевная (*Glycine max*) обнаружена в 12 зобах (22,2 % встреч от общего количества экземпляров), в одном зобу около 500 семян; овес (*Avena sativa*) – в 8 зобах (14,8 %), до 2 тыс. семян в зобу; ячмень (*Hordeum vulgare*) – в 8 зобах (14,8 %), до 1 тыс. семян в зобу; пшеница (*Tritium* sp.) и кукуруза (*Zea mays*) – в 5 зобах (9,2 %), до 500 семян в зобу; гречиха (*Fagopyrum esculentum*) – в 4 зобах (7,4 %), до 400 семян в зобу; рис (*Oryza sativa*) – в 1 зобу (1,8 %), до 100 семян в зобу. В 6 зобах были исключительно семена сои, в 5 – только овса, в 3 – ячменя и кукурузы.

Также были обнаружены семена дикорастущих растений, в частности бобовых: сои уссурийской (*Glycine soja*) – в 16 зобах (29,6 % встреч), от 100 до 3,5 тыс. экз., в 3 зобах исключительно семена сои; вики (*Vicia amurensis*) – в 4 зобах (7,4%), до 150 экз. в 1 зобу; фалькаты (*Amphicarpaea japonica* (Oliv.) B. Fedtsch. (= *Falcata japonica*)) – в 3 зобах (5,5 %), до 20 экз. в 1 зобу; леспедецы (*Lespedeza hedysaroides*), *Kummerowia striata* – в 3 зобах (5,5 %), до 50 экз. в 1 зобу; мятликовых: шерстяка (*Eriochloa villosa*) – в 10 зобах (18,5 %), около 200 экз. в 1 зобу; щетинника (*Setaria* sp.) – в 5 зобах (9,2 %), до 50 экз. в одном зобу; пегушьего проса (*Echinochloa crus-galli* (L.)) – в 2 зобах, до 100 экз. в 1 зобу; семян астровых (*Asteraceae*): амброзии полыннолистной (*Ambrosia artemisiifolia* L.) – в 15 зобах (25,5 % встреч), до 1 тыс. семян в 1 зобу, в 2 зобах исключительно семена этого растения (100 % встреч). 21 декабря 1990 г. обнаружены спелые плоды купены душистой (*Polygonatum odoratum*), 10 экз. в 1 зобу, также в декабре – семена, вероятно, серпухи (*Serratula mandshurica*), около 300 экз. в 1 зобу. Кроме того, в декабре встречены семена гумулопсиса лазящего (*Humulopsis scandens* (Lour.) Merr., *Humulus japonicus* (Siebold & Zucc.) – 25 экз. в 2 зобах, коммелины (*Commelina communis*) – около 50 экз. в 1 зобу,

¹ Названия растений приводятся по сводке: «Сосудистые растения советского Дальнего Востока». Л.: Наука, 1985–1996. Т. 1–4; СПб.: Наука. Т. 5–8.

кусочки зеленых листьев и корешков, гусеница чешуекрылого (*Lepidoptera*) и жулицица (*Pterostichus* sp.).

Там, где поля и пастбища занимают небольшие площади, основные места обитания фазанов – кустарниково-травянистые заросли, разнотравные луга и окраины редколесий. Видовой состав объектов питания более разнообразен, чем в сельхозугодьях; в зобах некоторых птиц были обнаружены семена 15–20 видов растений. Проанализировано содержимое 30 зобов фазанов, добытых в ноябре–январе в южных районах Приморского края. Основные пищевые объекты – плоды и семена дикорастущих травянистых и древесных растений; семена культурных растений были встречены только в 10 зобах. Обнаружены семена бобовых: вики, чины (*Lathyrus* sp.), сои уссурийской, фалькаты японской; мятликовых: шерстяка, щетинника, росички (*Digitaria* sp.), петушьего проса (*Echinochloa crus-galli* (L.) P. Beauv.); гречиховых (*Polygonum* sp., *Persicaria* sp.), а также семена гумулопсиса лазающего, лебеды (*Atriplex* sp.), череды (*Bidens* sp.), пикульника (*Galeopsis* sp.), репешка (*Agrimonia* sp.), гравилата (*Geum* sp.), коммелины и других травянистых растений.

Из плодов древесных растений в зимнем питании фазанов отмечались плоды яблони (*Malus mandshurica* (Maxim.) Kom.), *M. baccata* (L.) Borkh.), боярышника (*Crataegus pinnatifida*, *C. maximowicziana*), леспедецы двуцветной (*Lespedeza bicolor*), крушины даурской (*Rhamnus davurica*), бархата амурского (*Phellodendron amurense*), калины Саржента (*Viburnum sargentii*), лимонника китайского (*Schizandra chinensis*), ряда видов шиповника (*Rosa rugosa*, *R. acicularis*, *R. maximowicziana*, *R. davurica*), жимолости (*Lonicera maackii*, *L. chrysantha*), а также сочные плоды травянистых растений: смилаины (*Smilacina hirta*), майника (*Maianthemum* sp.), купены (*Polygonatum odoratum*), луносемянника даурского (*Menispermum davuricum*), марены сердцелистной (*Rubia cordifolia*). Кроме того, в содержимом зобов были найдены сережки ольхи (*Alnus* sp.), кусочки корешков и зеленых листьев звездчатки средней (*Stellaria media*), муравьи (*Formicidae*); жуки: навозник (*Aphodius* sp.), листоед (*Chrysomelidae*), жулицица (*Pterostichus* sp.), 28-точечная божья коровка (*Epilachna vigintioctomaculata*), куколка чешуекрылого, брюхоногие моллюски (*Gastropoda*), найденные в ноябре–декабре. В многоснежные зимы фазаны поедают плоды омелы окрашенной (*Viscum coloratum*) [4].

Анализ содержимого зобов показал, что фазаны – активные потребители семян сорных растений, в том числе амброзии полыннолистной – карантинного растения, пыльца которого является причиной аллергических заболеваний – поллинозов (осенней сеной лихорадки). В настоящее время в антропогенных ландшафтах Приморья амброзия – активно расселяющееся растение. Произрастает в сельскохозяйственных угодьях (на полях, пастбищах), пустырях, в населенных пунктах, в том числе в крупных городах. Плоды этого растения – семечки обратнойцевидной формы с острыми зубчиками на вершине. Семена созревают в сентябре–октябре, осыпаются осенью и зимой. Амброзия полыннолистная наносит серьезный ущерб сельскому хозяйству – засоряет посевы культурных растений, растет на лугах и пастбищах. Домашние животные не поедают ее, так как в листьях этого вида амброзии содержится до 0,15 % горького эфирного масла. В Приморском крае семена амброзии поедают фазаны [5], японские перепела (*Coturnix japonica*), полевые жаворонки (*Alauda arvensis*), сегоголовые овсянки (*Ocyris spodocephalus*). В Краснодарском крае зарегистрировано 8 видов птиц – потребителей семян, их часто поедают фазаны, перепела (*Coturnix coturnix*), скворцы (*Sturnus vulgaris*), хохлатые жаворонки (*Galerida cristata*), грачи (*Corvus frugilegus*), редко – коростели (*Crex crex*), горлицы (*Streptopelia turtur*), кряквы (*Anas platyrhynchos*) [2].

Как и кем распространяются семена амброзии? Возможно, птицами, в частности фазанами, которые часть семян в пищеварительном тракте не повреждают и не переваривают и в целом виде выбрасывают с экскрементами наружу. Семена распространяются водными потоками, ветром, автотранспортом. Однако наиболее вероятный путь их расселения – с помощью домашних (собаки, коровы, лошади, овцы) и диких (лисицы, енотовидные собаки) животных, к шерсти которых семена прицепляются с помощью зубчиков и так переносятся на большие расстояния.

Заключение

В результате многолетних исследований получена новая информация о поведении и численности фазанов в период осенне-зимних миграций в южных районах Приморского края. Приводится качественная и количественная характеристика зимнего питания птиц, в составе которого присутствовали семена культурных и дикорастущих растений.

Следует отметить, что фазаны представляют ценность не только как добыча во время спортивной охоты, но и как истребители семян сорных растений и насекомых-вредителей, таких как 28-точечная божья коровка (картофельная коровка) (*Epilachna vigintioctomaculata*) и колорадский жук (*Leptinotarsa decemlineata*).

ЛИТЕРАТУРА

1. Воробьев К.А. Птицы Уссурийского края. М.: Изд-во АН СССР, 1954. 360 с.
2. Звержановский М.И. Птицы уничтожают семена амброзии // Природа. 1972. № 8. С. 123.
3. Нечаев В.А., Николаев И.Г. Питание фазана (*Phasianus colchicus*) в Приморском крае // Экология и зоогеография некоторых наземных животных суши Дальнего Востока. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1978. С. 72–78.
4. Омелько М.А. Зимующие птицы Приморья // Охрана природы на Дальнем Востоке. Вып. 2. Владивосток, 1964. С. 131–136.
5. Фисенко П.В. Изучение фазана обыкновенного (*Phasianus colchicus* Linnaeus, 1758) на Дальнем Востоке // Вестн. ДВО РАН. 2010. № 4 (152). С. 143–158.
6. Шульпин Л.И. Промысловые охотничьи и хищные птицы Приморья. Владивосток: Изд-во ДВФ АН СССР, 1936. 436 с.

И.П. ЩЕГЛОВА, В.М. ВАН

Сосудистые растения заказника «Ольджиканский»

Приводятся сведения о 370 видах сосудистых растений, впервые выявленных на территории федерального заказника «Ольджиканский», из которых 3 вида включены в Красные книги Российской Федерации (РФ) и Хабаровского края.

Ключевые слова: сосудистые растения, флора, заказник «Ольджиканский», особо охраняемые природные территории, водно-болотные угодья.

“Oldzhikansky” sanctuary vascular plants. I.P. SHCHEGLOVA, V.M. VAN (Federal State-Funded Institution “Zapovednoe Priamurye”, Komsomolsk-on-Amur).

This article is about 370 species of vascular plants, which were first identified on the territory of “Oldzhikansky” federal sanctuary. Three species of them are included in the Red Data Books of the Russian Federation and Khabarovsk Territory.

Key words: vascular plants, flora, “Oldzhikansky” sanctuary, specially protected natural reservations, wetlands.

Введение

Заказник федерального значения «Ольджиканский» общей площадью 159 750 га входит в состав особо охраняемых природных территорий (ООПТ), охваченных Рамсарской конвенцией, направленной на сохранение водно-болотных угодий [1–3]. Заказник расположен в бассейне среднего течения р. Амгунь (левого притока р. Амур), в 160 км севернее г. Комсомольск-на-Амуре, на территории района имени Полины Осипенко (Хабаровский край). Частично занимает равнину вокруг Чукчагирского озера и Омельдинский хребет. Рассматриваемая территория по морфотекстуре относится к горам и равнинам мезозойского складчатого пояса [10].

В.М. Сапаев [12] включает Чукчагирскую низменность в Амуро-Сахалинскую страну Нижне-Амурской области. При этом большая часть территории заказника входит в район Эворон-Чукчагирской депрессии, подрайон Эворон-Чукчагирской равнины. Лишь самый край северо-восточного выступа (юго-западные отроги Омельдинского хребта) относится к Нижне-Амурской горной группе, подрайону поднятий по правобережью Амгуни [11].

Примерно 23 % площади заказника приходится на водную поверхность оз. Чукчагирское. На озере расположено несколько островов, наиболее крупные из них – Годбаньки, Джалу и Нантагкан. Рельеф территории преимущественно озерно-аллювиальный низменный, частично низкогорный. Низменная часть заказника покрыта верховыми болотами и осоково-вейниковыми лугами на торфяно-глеевых и аллювиальных почвах. Низкогорную часть территории занимают леса – лиственничные и елово-пихтовые, а также производные

*ЩЕГЛОВА Ирина Павловна – младший научный сотрудник, ВАН Владимир Михайлович – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник (ФГБУ «Заповедное Приамурье», филиал «Комсомольский», Комсомольск-на-Амуре). *E-mail: sh.mishka@mail.ru

от них березовые и осиновые [8]. В северо-восточной части встречаются дубово-осиновые леса, дубово-кедровостланиковые рощи.

Заказник расположен в пределах муссонной лесной климатической области, Амгунь-Нижнеамурской провинции, Амгунь-Горинского района. Он находится в одном из двух районов Хабаровского края, в которых нет устойчивой сезонной смены движения воздушных потоков (так называемые муссоноразделы) [7]. На территории заказника во все времена года преобладают ветры северного направления, и как следствие, здесь значительно более низкое количество осадков по сравнению с прилегающими территориями. Климат района заказника ультраконтинентальный, с теплым и относительно солнечным летом и очень холодной зимой. Осадки в году распределяются крайне неравномерно: в течение теплого периода (апрель–октябрь) их выпадает 80–90 % от годовой нормы [7].

Флора заказника «Ольджиканский» ранее не изучалась. Растительность окрестностей оз. Чукчагирское (до организации заказника) исследовали дальневосточные ботаники [6, 8, 9]. Изучение флоры территории заказника начато нами в 2011 г.

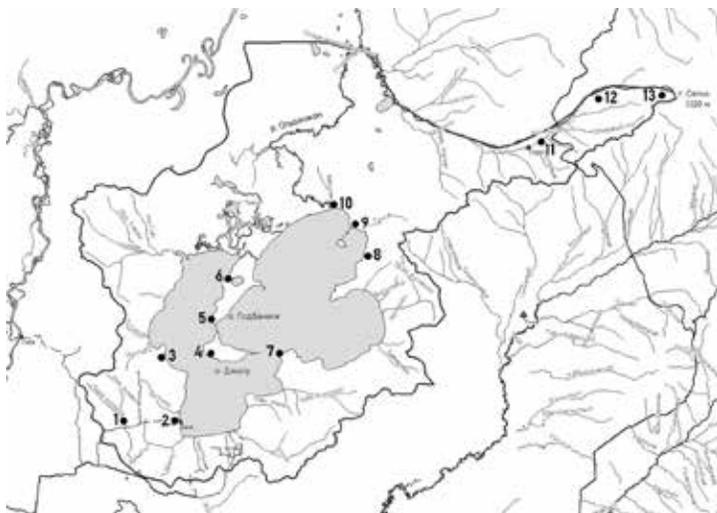
Одним из критериев конвенции при обосновании международных ООПТ является наличие на этих территориях «... растений, находящихся под угрозой исчезновения и (или) имеющих большое значение для поддержания биологического разнообразия региона» [2], что невозможно установить без соответствующей инвентаризации, которая до наших исследований не проводилась.

Цель исследования

Проведение первичной инвентаризации сосудистых растений заказника «Ольджиканский».

Материал и методика

Материал (более 1,5 тыс. гербарных листов) собран В.М. Ваном (2011 г.) и И.П. Щегловой (2014, 2015, 2017, 2020 гг.) маршрутным методом в сочетании с методом локальных флор в одной географической местности (Нижний Амур, район им. Полины Осипенко, заказник «Ольджиканский»), поэтому сведения о коллекторах и географической точке для каждого вида не приводятся. Пункты сбора материала (локальные флоры)



Пункты сбора материала в заказнике «Ольджиканский»: 1 – бассейн р. Армали; 2 – юго-западный берег оз. Чукчагирское; 3 – западный берег оз. Чукчагирское; 4 – о-в Джалу; 5 – южный мыс о-ва Годбаньки; 6 – западный берег о-ва Годбаньки; 7 – юго-восточный берег оз. Чукчагирское, мыс Брусничный; 8 – северо-восточный берег оз. Чукчагирское, база завода им. Гагарина; 9 – северный берег оз. Чукчагирское; 10 – исток р. Ольджикан; 11 – среднее течение р. Кокольні; 12 – юго-западная оконечность хр. Омельдинский, верховье р. Кокольні; 13 – юго-западная оконечность хр. Омельдинский, вершина и склоны горы Сетко

показаны на рисунке. Маршруты и пункты сбора материала (локальные флоры) выбирались с учетом охвата всего разнообразия ландшафтных условий заказника.

Результаты исследования

Ниже представлен список сосудистых растений, включающий 370 видов, выявленных в результате обработки собранного гербария, в том числе один вид, включенный в Красные книги Российской Федерации и Хабаровского края (калпосо луковичная), и два вида – в Красную книгу Хабаровского края (касатик гладкий, кубышка малая) [4, 5]. Номенклатура и объем таксонов даны по изданиям «Сосудистые растения советского Дальнего Востока» [13], «Флора российского Дальнего Востока» [14] с учетом сводки С.К. Черепанова [15] и интернет-издания The Plant List¹. Таксоны расположены в порядке латинского алфавита. Для видов приводятся их латинские и русские наименования, выписки из этикеток. Гербарные образцы хранятся в фондах Комсомольского заповедника.

В аннотированном списке флоры приняты следующие сокращения: Кокошники – Кок., Омельдинский – Ом., Чукчагирское – Чукч., западный – зап., северный – сев., северо-восточный – с-в, юго-восточный – ю-в, юго-западный – ю-з.; бассейн – басс., среднее течение – ср. течение, смешанный – см., пойменный – пойм., хвойно-широколиственный – хв.-широк., кустарниковое – куст., заболоченный – заболоч., окрестности – окр., рыболовецкий – рыб.

ACERACEAE – Кленовые. *Acer ukurunduense* Trautv. et C.A. Mey. – Клен желтый. Ю-з оконечность Ом. хр., склон г. Сетко, елово-пихтовый лес в долине ручья, 28.06.2020.

ALISMATACEAE – Частуховые. *Sagittaria natans* Pall. – Стрелолист плавающий. Зап. часть оз. Чукч., мелководный залив, 10.06.2011. *Alisma orientale* (Sam.) Juz. – Частуха восточная. Ю-з берег оз. Чукч., заболоч. ручей, 21.09.2014.

ALLIACEAE – Луковые. *Allium maackii* (Maxim.) Prokh. ex Kom. – Лук Маака. Оз. Чукч., о-в Джалу, береговые скалы, 16.06.2011; басс. р. Армали, возвышенность, хв.-широк. лес, 18.09.2014; с-в берег оз. Чукч., крутой травянистый склон, 26.06.2015. *A. ochotense* Prokh. – Л. охотский. Ю-з берег оз. Чукч., см. лес, 16.09.2014; верховье р. Кок., берег реки, 26.06.2020.

APIACEAE – Сельдереевые. *Angelica cincta* H. Boissieu – Дудник окаймленный. Ю-з оконечность Ом. хр., верховье р. Кок., берег реки, 28.06.2020. *A. saxatilis* Turcz. ex Ledeb. – Д. скальный. Ю-з оконечность Ом. хр., верховье р. Кок., берег реки, 28.06.2020. *Bupleurum longiradiatum* Turcz. – Володушка длинноручевая. Басс. р. Армали, см. лес, 15.09.2014; ср. течение р. Кок., см. лес, 02.07.2020. *Cicuta virosa* L. – Вех ядовитый. Ю-з берег оз. Чукч., канава возле дороги, 12.09.2014. *Kitagawia terebinthacea* (Fisch. ex Trevir.) Rimenov – Китагавия терпентиновая. Оз. Чукч., о-в Джалу, береговой обрыв, 16.06.2011; ю-з берег оз. Чукч., возвышенность, опушка см. леса, 12.09.2014; ю-в берег оз. Чукч., скальные выходы, 25.06.2015; ср. течение р. Кок., локальные россыпи камней в лиственнично-березовом лесу, 01.07.2020; ю-з оконечность Ом. хр., крутой склон сопки, дубово-кедровостланиковая роща, 02.07.2020. *Ostericum maximowiczii* (F. Schmidt) Benth. ex Maxim. – Маточник Максимовича. Басс. р. Армали, см. лес, 15.09.2014. *Sium suave* Walter – Поручейник привлекательный. Зап. часть озера Чукч., илистый берег, 16.06.2011.

ARACEAE – Ароидные. *Calla palustris* L. – Белокрыльник болотный. Зап. берег о-ва Годбаньки, заболоч. долина ручья, 11.09.2017; исток р. Ольджикан, прибрежное болото, 18.09.2017.

ASTERACEAE – Астровые. *Achillea millefolium* L. – Тысячелистник обыкновенный. Басс. р. Армали, обочина дороги, 15.09.2014. *Ajania pallasiana* (Fisch. ex Besser) Poljakov – Аяния Палласа. Оз. Чукч., о-в Джалу, береговой обрыв, 16.06.2011; ю-з по-

¹ The Plant List. – <http://www.theplantlist.org> (дата обращения: 25.04.2021).

бережье оз. Чукч., крутой склон в разреженном хв.-широк. лесу, 18.09.2014; ю-з оконечность Ом. хр., крутой склон, дубово-кедровостланиковая роща, 02.07.2020. *Antennaria dioica* (L.) Gaertn. – Кошачья лапка двудомная. Ю-з побережье оз. Чукч., хв.-широк. лес, 18.09.2014; ю-з оконечность Ом. хр., лиственничник, 02.07.2020. *Artemisia integrifolia* L. – Полынь цельнолистная. Басс. р. Армали, луг, 15.09.2014. *A. koidzumii* Nakai – П. Коидзуми. Басс. р. Армали, обочина дороги, 15.09.2014. Опр. В.Ю. Баркалов. *A. lagocephala* (Besser) DC. – П. заячьеголовая. Ю-з оконечность Ом. хр., склон г. Сетко, замшелая россыпь камней среди кустов кедрового стланика, 28.06.2020. *A. maximovicziana* Krasch. ex Poljakov – П. Максимовича. Ю-з побережье оз. Чукч., хв.-широк. лес, 18.09.2014; ср. течение р. Кок., см. лес, 02.07.2020. *A. medioxima* Krasch. ex Poljakov – П. промежуточная. Басс. р. Армали, редколесье, 14.09.2014; ю-з побережье оз. Чукч., возвышенность, хв.-широк. лес, 18.09.2014; верховье р. Кок., см. лес 02.07.2020. *A. mongolica* (Fisch. ex Besser) Nakai – П. монгольская. Басс. р. Армали, обочина дороги, 15.09.2014. Опр. В.Ю. Баркалов. *A. rubripes* Nakai – П. красночерешковая. Басс. р. Армали, обочина дороги, 15.09.2014. Опр. В.Ю. Баркалов. *A. scoparia* Waldst. et Kit. – П. веничная. Басс. р. Армали, обочина дороги, 15.09.2014. *A. stolonifera* (Maxim.) Kom. – П. побегоносная. Оз. Чукч., о-в Джалу, береговой обрыв, 16.06.2011; вост. побережье оз. Чукч., береговые скальные выходы, 25.06.2015. *Bidens frondosa* L. – Череда олиственная. Басс. р. Армали, обочина дороги, канава, 16.09.2014. *B. maximowicziana* Oett. – Ч. Максимовича. Зап. побережье оз. Чукч., отмель, 10.06.2011; басс. р. Армали, обочина дороги, канава, 13.09.2014. *Conyza canadensis* (L.) Cronquist – Мелколепестничек канадский. Басс. р. Армали, обочина дороги, 16.09.2014. *Crepis tectorum* L. – Скерда кровельная. Басс. р. Армали, обочина дороги, 15.09.2014. *Erigeron manshuricus* (Kom.) Worosch. – Мелколепестник маньчжурский. Ср. течение р. Кок., зарастающая дорога, 02.07.2020. Подтв. В.Ю. Баркалов. *Gnaphalium uliginosum* L. – Сушеница топяная. Басс. р. Армали, обочина дороги, канава, 13.09.2014; ю-з берег оз. Чукч., заболоч. ручей, 15.09.2014. Подтв. В.Ю. Баркалов. *Hieracium umbellatum* L.N – Ястребинка зонтичная. Басс. р. Армали, луг, 15.09.2014; ю-з берег оз. Чукч., обочина дороги, 20.09.2014. *Inula britannica* L. – Девясил британский. Басс. р. Армали, обочина дороги, 15.09.2014. Опр. В.Ю. Баркалов. *I. japonica* Thunb. – Д. японский. Басс. р. Армали, луг, 13.09.2014. *Lactuca sibirica* (L.) Benth. ex Maxim. – Латук сибирский. Зап. побережье оз. Чукч., обочина лесовозной дороги, 12.06.2011; басс. р. Армали, луг, 15.09.2014. *Leontodon autumnalis* L. – Кульбаба осенняя. Басс. р. Армали, обочина дороги, 14.09.2014. *Matricaria discoidea* DC. – Ромашка безъязычковая. Зап. часть оз. Чукч., о-в Джалу, у зимовья, 16.06.2011. *Parasenecio auriculatus* (DC.) J.R. Grant – Недоспелка ушастая. Ю-з берег оз. Чукч., см. лес, 15.09.2014; верховье р. Кок., пойм. лес, 30.06.2020. *P. hastatus* (L.) Н. Коуата – Недоспелка копьевидная. Зап. побережье оз. Чукч., см. лес, 14.06.2011; ю-з берег оз. Чукч., см. лес, 14.09.2014; верховье р. Кок., пойм. лес, 27.06.2020. *Petasites tatewakianus* Kitam. – Белокопытник Татеваки. Ю-з оконечность Ом. хр., берег ручья, 27.06.2020; ср. течение р. Кок., зарастающая дорога, 02.07.2020. *Ptarmica alpina* (L.) DC. – Чихотник альпийский. Басс. р. Армали, луг, 15.09.2014. *Saussurea dubia* Freyn – Соссюрея сомнительная. Зап. побережье оз. Чукч., см. лес, 14.06.2011; ю-з берег оз. Чукч., см. лес, 14.09.2014; верховье р. Кок., см. лес, 30.06.2020. *S. triangulata* Trautv. et S.A. Mey. – С. треугольная. Ю-з оконечность Ом. хр., елово-пихтовый лес, 28.06.2020; вершина г. Сетко, замшелая россыпь камней среди кустов кедрового стланика, 28.06.2020. *Scorzonera radiata* Fisch. ex Ledeb. – Козелец лучистый. Оз. Чукч., о. Джалу, береговой обрыв, 16.06.2011; ю-з побережье оз. Чукч., незалесенный склон, 18.09.2014; ю-з оконечность Ом. хр., крутой склон, дубово-кедровостланиковая роща, 30.06.2020. *Senecio cannabifolius* Less. – Крестовник коноплеволистный. Басс. р. Армали, пойм. луг с редкостойным березняком, 13.09.2014; ю-з берег оз. Чукч., см. лес, 16.09.2014; верховье р. Кок., см. лес, 30.06.2020. *Solidago dahurica* Kitag. – Золотарник даурский. Басс. р. Армали, редкий березняк, 15.09.2014, ю-з побережье оз. Чукч., возвышенность, хв.-широк. лес, 18.09.2014. *S. pacifica* Juz. – З. тихоокеанский. Вост. побережье оз. Чукч., см.

лес, 26.06.2015. Подтв. В.Ю. Баркалов. *Synurus deltoides* (Aiton) Nakai – Сростнохвостник дельтовидный. Ю-з берег оз. Чукч., см. лес, 14.09.2014; ю-з оконечность Ом. хр., пойм. лес, 27.06.2020; верховье р. Кок., см. лес, 30.06.2020. *Tanacetum boreale* Fisch. ex DC. – Пижма северная. Зап. побережье оз. Чукч., обочина лесовозной дороги, 12.06.2011; ср. течение р. Кок., зарастающая дорога, 02.07.2020. *Taraxacum sinicum* Kitag. – Одуванчик китайский. Ю-з берег оз. Чукч., окр. базы рыб. колхоза им. Постышева, 14.09.2014. Подтв. В.Ю. Баркалов. *T. ussuriense* Kom. – О. уссурийский. Верховье р. Кок., см. лес, 30.06.2020. Подтв. В.Ю. Баркалов.

ATHYRIACEAE – Кочедыжниковые. *Athyrium filix-femina* (L.) Roth – Кочедыжник женский. Ю-з побережье оз. Чукч., см. лес, 16.09.2014. *A. monomachii* (Kom.) Kom. – К. Мономаха. Зап. побережье оз. Чукч., см. лес, 12.06.2011; ю-з побережье оз. Чукч., см. лес, 14.09.2014; ю-з оконечность Ом. хр., сев. склон г. Сетко, елово-пихтовый лес с примесью березы шерстистой, 29.06.2020; верховье р. Кок., пойм. лес, 29.06.2020. *A. sinense* Rupr. – Кочедыжник китайский. Ю-з побережье оз. Чукч., см. лес, 14.09.2014; ср. течение р. Кок., см. лес, 02.07.2020. *Diplazium sibiricum* (Turcz. ex G. Kunze) Kurata – Орлячок сибирский. Ю-з оконечность Ом. хр., сев. склон г. Сетко, елово-пихтовый лес с примесью березы шерстистой, 29.06.2020. *Gymnocarpium dryopteris* (L.) Newman – Голокучник обыкновенный. Зап. побережье оз. Чукч., см. лес, 12.06.2011; ю-з побережье оз. Чукч., см. лес, 14.09.2014.

BETULACEAE – Березовые. *Alnus hirsuta* (Spach) Turcz. ex Rupr. – Ольха пушистая. Басс. р. Армали, пойм. лес, 20.09.2014; с-в берег оз. Чукч., пойм. лес, 24.06.2015; верховье р. Кок., пойм. лес, 29.06.2020. *Betula middendorffii* Trautv. et Mey. – Береза Миддендорфа. Зап. побережье оз. Чукч., куст. болото, 16.06.2011; басс. р. Армали, куст. болото, 15.09.2014; южная часть о-ва Годбаньки, куст. болото, 25.06.2015; ю-з оконечность Ом. хр., вершина и склоны г. Сетко, в сообществе с сосной стланиковой, 29.06.2020. *B. platyphylla* Sukaczew – Б. плосколистная. Зап. побережье оз. Чукч., см. лес, 12.06.2011; ю-з оконечность Ом. хр., см. лес, 08.02.2014; ю-з берег оз. Чукч., см. лес, 14.09.2014; ср. течение р. Кок., см. лес, 02.07.2020. *B. lanata* (Regel) V. N. Vassil. – Б. шерстистая. Ю-з оконечность Ом. хр., сев. склон г. Сетко, елово-пихтовый лес с примесью березы шерстистой, 29.06.2020. *Duschekia fruticosa* (Rupr.) Pouzar – Душекия кустарниковая. Зап. побережье оз. Чукч., см. лес, 12.06.2011; ю-з берег оз. Чукч., см. лес, 14.09.2014; с-в берег оз. Чукч., берег озера, 17.09.2017; ю-з оконечность Ом. хр., сев. склон г. Сетко, см. лес, 29.06.2020; верховье р. Кок., пойм. лес, 30.06.2020.

BORAGINACEAE – Бурачниковые. *Eritrichium incanum* A. DC. – Незабудочник седой. С-в берег оз. Чукч., возвышенность, крутой травянистый склон, 26.06.2015. *Trigonotis radicans* (A. DC.) Steven – Тригонотис укореняющийся. Ю-з оконечность Ом. хр., берег р. Кок., 30.06.2020.

BOTRYCHIACEAE – Гроздовниковые. *Botrychium multifidum* (S.G. Gmel.) Rupr. – Гроздовник многонадрезанный. Ю-з часть заказника, см. лес, 14.09.2014.

BRASSICACEAE – Капустовые. *Cardamine macrophylla* Willd. – Сердечник крупнолистный. Ю-з оконечность Ом. хр., верховье р. Кок., берег реки, 30.06.2020. *Rorippa barbareaifolia* (DC.) Kitag. – Жерушник сурепколистный. Зап. побережье оз. Чукч., берег ручья, 12.06.2011; ю-з берег оз. Чукч., обочина дороги, 11.09.2014; ю-з берег оз. Чукч., окр. базы рыб. колхоза им. Постышева, береговой обрыв, 16.09.2014.

CALLITRICHACEAE – Красовласковые. *Callitriche palustris* L. – Красовласка болотная. Басс. р. Армали, обочина дороги, канава, 15.09.2014; ю-з берег оз. Чукч., заболоч. ручей, 21.09.2014.

CAMPANULACEAE – Колокольчиковые. *Adenophora coronopifolia* Fisch. – Бубенчик коронопосолистный. Ср. течение р. Кок., зарастающая дорога, 02.07.2020. *A. curvidens* Nakai – Б. изгибающийся. Зап. побережье оз. Чукч., опушка листовничника, 15.06.2011; басс. р. Армали, возвышенность, см. лес, 15.09.2014; ср. течение р. Кок., см. лес, 02.07.2020. *Campanula punctata* Lam. – Колокольчик точечный. Зап. побережье оз. Чукч.,

опушка леса, 15.06.2011; басс. р. Армали, возвышенность, см. лес, 18.09.2014; ср. течение р. Кок., обочина дороги, 01.07.2020.

CAPRIFOLIACEAE – Жимолостевые. *Linnaea borealis* L. – Линнея северная. Ю-з берег оз. Чукч., елово-пихтовый лес, 16.09.2014; ю-з оконечность Ом. хр., склон г. Сетко, елово-пихтовый лес, 28.06.2020. *Lonicera edulis* Turcz. ex Freyn – Жимолость съедобная. Зап. побережье оз. Чукч., лиственничник, 15.06.2011; ю-з оконечность Ом. хр., верховье р. Кок., пойм. лес, 30.06.2020. *L. chrysantha* Turcz. ex Ledeb. – Ж. золотистая. Басс. р. Армали, см. лес, 14.09.2014. *L. maximowiczii* (Rupr.) Regel – Ж. Максимовича. Зап. побережье оз. Чукч., см. лес, 14.06.2011; басс. р. Армали, см. лес, 15.09.2014; ср. течение р. Кок., см. лес, 02.07.2020. *Weigela middendorffiana* (Carrière.) K. Koch – Вейгелла Миддендорфа. Ю-з оконечность Ом. хр., склон г. Сетко, 28.06.2020; верховье р. Кок., берег реки, 29.06.2020.

CARYOPHYLLACEAE – Гвоздиковые. *Dianthus versicolor* Fisch. ex Link – Гвоздика разноцветная. Оз. Чукч., о-в Джалу, галечник, 16.06.2011; с-в берег оз. Чукч., крутой незалесенный склон вершины, 27.06.2015; ю-з оконечность Ом. хр., крутой склон сопки, дубово-кедровостланиковая роща, 30.06.2020. *Fimbripetalum radians* (L.) Ikonn. – Бахромчатолепестник лучистый. Басс. р. Армали, пойм. луг с редким березняком, 15.09.2014; басс. р. Армали, обочина дороги, 20.09.2014. *Moehringia lateriflora* (L.) Fenzl – Мерингия бокоцветковая. Зап. побережье оз. Чукч., см. лес, 12.06.2011; басс. р. Армали, см. лес, 15.09.2014. *Psammophiliella muralis* L. – Песколюбочка настенная. Басс. р. Армали, обочина дороги, 20.09.2014. *Silene repens* Patr. – Смолевка ползучая. С-в берег оз. Чукч., крутой незалесенный склон вершины, 27.06.2015. *Spergularia rubra* (L.) J. Presl et C. Presl – Торичник красный. Басс. р. Армали, обочина дороги, 20.09.2014. *Stellaria bungeana* Fenzl – Звездчатка Бунге. Ю-з оконечность Ом. хр., см. лес, 29.06.2020; верховье р. Кок., пойм. лес, 30.06.2020.

CHENOPODIACEAE – Маревые. *Atriplex patens* (Litv.) Iljin – Лебеда поникающая. Ю-з берег оз. Чукч., окр. базы рыб. колхоза им. Постышева, пустырь, 16.09.2014. *Chenopodium strictum* Roth. – Марь торчащая. Басс. р. Армали, обочина дороги, 16.09.2014.

CONVALLARIACEAE – Ландышевые. *Clintonia udensis* Trautv. et C.A. Mey. – Клинтония удская. Ю-з берег оз. Чукч., старый ельник, 16.09.2014; ю-з оконечность Ом. хр., елово-пихтовый лес, 28.06.2020. *Convallaria keiskei* Miq. – Ландыш Кейске. Зап. побережье оз. Чукч., см. лес, 14.06.2011; ю-з берег оз. Чукч., см. лес, 14.09.2014; верховье р. Кок., см. лес, 30.06.2020. *Maianthemum bifolium* (L.) F.W. Schmidt – Майник двулистный. Зап. побережье оз. Чукчагирское, см. лес, 14.06.2011. *M. intermedium* Worosch. – М. средний. Басс. р. Армали, елово-пихтовый лес, 15.09.2014; ю-з оконечность Ом. хр., пойм. лес, 30.06.2020. *Smilacina davurica* Fisch. et C.A. Mey. – Смилацина даурская. Зап. побережье оз. Чукчагирское, см. лес, 14.06.2011; ю-з берег оз. Чукч., пойм. лес, 15.09.2014; верховье р. Кок., пойм. лес, 30.06.2020. *S. trifolia* (L.) Desf. – С. трехлистная. Зап. побережье оз. Чукч., кустарничково-сфагновое болото, берег ручья, 16.06.2011; ю-з берег оз. Чукч., сфагновое болото, 14.09.2014; басс. р. Армали, заболоч. долина ручья, 27.06.2015; ср. течение р. Кок., заболоч. ручей, 02.07.2020.

CORNACEAE – Кизилы. *Chamaepericlymenum canadense* (L.) Asch. et Graebn. – Дерен канадский. Ю-з берег оз. Чукч., елово-пихтовый лес, 16.09.2014; ю-з оконечность Ом. хр., склон г. Сетко, елово-пихтовый лес, 28.06.2020. *Swida alba* (L.) Oriz – Свидина белая. Устье р. Кок., берег реки, 13.09.2017; р. Ольджикан, ср. течение, берег реки, 14.09.2017.

CRASSULACEAE – Толстянковые. *Aizopsis aizoon* (L.) Grulich – Живучник живучий. Ю-з берег оз. Чукч., береговой обрыв, 16.09.2014. *A. middendorffiana* (Maxim.) Grulich – Ж. Миддендорфа. Оз. Чукч., о-в Джалу, береговой обрыв, 16.06.2011; ю-з берег оз. Чукч., возвышенность, опушка смешанного леса, 12.09.2014; ю-в берег оз. Чукч., скальные выходы, 25.06.2015; ср. течение р. Кок., локальные россыпи камней в лиственнично-березовом лесу, 01.07.2020; ю-з оконечность Ом. хр., крутой склон сопки, дубово-кедровостланиковая роща, 02.07.2020.

CUPRESSACEAE – Кипарисовые. *Juniperus davurica* Pall. – Можжевельник даурский. Басс. р. Армали, возвышенность, опушка, 18.09.2014. *J. sibirica* Burgsd. – М. сибирский. Зап. побережье оз. Чукч., лиственничник, 10.06.2011; ю-з берег оз. Чукч., возвышенность, хв.-широк. лес, 18.09.2014; ю-з оконечность Ом. хр., крутой склон сопки, дубово-кедровостланиковая роща, 02.07.2020.

CYPERACEAE – Сытневые. *Carex augustinowiczii* Meinsh. – Осока Августиновича. Ю-з оконечность Ом. хр., замшелые россыпи камней с пятнами кедрового стланика, 28.06.2020. *C. canescens* L. – О. сероватая. Верховье р. Кок., берег водоема, 30.06.2020. *C. campylorhina* V.I. Krecz. – О. кривоносовая. Ю-з оконечность Ом. хр., крутой склон с дубово-кедровостланиковой рощей, 30.06.2020; ср. течение р. Кок., см. лес, 02.07.2020. *C. cespitosa* L. – О. дернистая. Ю-в берег оз. Чукч., мыс Брусничный, заболоч. участок, 25.06.2015; верховье р. Кок., пойм. лес, 30.06.2020; ср. течение р. Кок., заболоч. ручей, 02.07.2020. *C. chordorrhiza* L.f. – О. плетевидная. Оз. Чукч., исток р. Ольджикан, плавни, 12.09.2017. *C. disperma* Dewey – О. двухсемянная. Оз. Чукч., южный мыс о-ва Годбаньки, см. лес, 25.06.2015. *C. falcata* Turcz. – О. серповидная. Ю-в берег оз. Чукч., м. Брусничный, см. лес, 25.06.2015; верховье р. Кок., пойм. лес, 29.06.2020; ср. течение р. Кок., см. лес, 02.07.2020. *C. foliabunda* A.E. Kozhev. – О. листообильная. Оз. Чукч., о-в Джалу, верхняя часть склона, среди кустарника, 16. 06.2011. *C. globularis* L. – О. круглая. Зап. побережье оз. Чукч., лиственничник, 15.06.2011; басс. р. Армали, травяное болото, 14.09.2014; ю-в берег оз. Чукч., м. Брусничный, заболоч. участок, 24.06.2015; ю-з оконечность Ом. хр., травяное болото, 01.07.2020. *C. iljinii* V.I. Krecz. – О. Ильина. Ю-з берег оз. Чукч., см. лес, 16.09.2014; 24.06.2015; ср. течение р. Кок., см. лес, 01.07.2020. *C. korkischkoae* A. E. Kozhev. – О. Коркишко. Ср. течение р. Кок., см. лес, 02.07.2020. *C. laevis* Nakai – О. гладчайшая. Ю-з берег оз. Чукч., обочина лесовозной дороги, 13.09.2014; ю-з берег оз. Чукч., окр. базы рыб. колхоза им. Постышева, обочина дороги, 16.09.2014; ю-в берег оз. Чукч., мыс Брусничный, см. лес, 25.06.2015. *C. lapponica* O. Lang – О. лапландская. Ю-з берег оз. Чукч., берег водоема, 27.06.2015. *C. loliacea* L. – О. плевельная. Оз. Чукч., южный мыс о-ва Годбаньки, кустарниково-травяное болото, 25.06.2015; ср. течение р. Кок., см. лес, 02.07.2020. *C. longirostrata* C. A. Mey. – О. длинноклювая. Левый борт долины р. Армали, лиственнично-березовый лес, 17.09.2014; ю-з оконечность Ом. хр., крутой склон с дубово-кедровостланиковой рощей, 30.06.2020. *C. macroura* Meinsh. – О. большехвостая. Ю-з оконечность Ом. хр., травяное болото, 30.06.2020; ср. течение р. Кок., берег водоема, 01.07.2020. *C. media* R. Вг. – О. средняя. Ср. течение р. Кок., см. лес, 02.07.2020. *C. meyeriana* Kunth – О. Мейера. Басс. р. Армали, кустарниково-сфагновое болото, 16.09.2014. *C. microtricha* Franch. – О. мелковолосистая. Оз. Чукч., о-в Джалу, береговые скалы, 16. 06.2011. *C. middendorffii* F. Schmidt – О. Миддендорфа. Зап. побережье оз. Чукч., кустарниково-сфагновое болото, 16.06.2011. *C. minuta* Franch. – О. малая. Болота, зап. побережье оз. Чукч., сырой луг, 16.06.2011; оз. Чукч., южный мыс о-ва Годбаньки, см. лес, 25.06.2015. *C. mollissima* Christ – О. мягчайшая. Верховье р. Кок., берег водоема, 30.06.2020. *C. leporina* L. – О. заячья. Басс. р. Армали, обочина дороги, канава, 16.09.2014; ср. течение р. Кок., зарастающая дорога, 01.07.2020. *C. pallida* C.A. Mey. – О. бледная. Зап. побережье оз. Чукч., лиственничник, 15.06.2011; верховье р. Кок., пойм. лес, 29.06.2020; ср. течение р. Кок., см. лес, 02.07.2020. *C. pediformis* C.A. Mey. – О. стоповидная. Ю-з оконечность Ом. хр., крутой склон с дубово-кедровостланиковой рощей, 30.06.2020. *C. pseudosabynensis* (T.V. Egorova) A.E. Kozhev. – О. ложношабинская. Ю-з оконечность Ом. хр., крутой склон с дубово-кедровостланиковой рощей, 30.06.2020. *C. reventa* V. Krecz. – О. возвратившаяся. Зап. побережье оз. Чукч., лиственничник, на опушке, 15.06.2011; верховье р. Кок., см. лес, 30.06.2020. *C. rhynchophysa* C.A. Mey. – О. вздутоносая. Ю-з берег оз. Чукч., заболоч. ручей, 14.09.2014; ср. течение р. Кок., берег водоема, 02.07.2020. *C. rigidoides* (Gorodkov) V.I. Krecz. – О. ложножесткая. Ю-з отрог Омельдинского хр., верховье р. Кок., на россыпи камней вдоль ручья, 28.06.2020. *C. schmidtii* Meinsh. – О. Шмидта. Басс. р. Армали, кустарниково-сфагновое

болото, 14.09.2014; басс. р. Армали, травяное болото, 26.06.2015; ю-з берег оз. Чукч., берег водоема, 27.06.2015; верховье р. Кок., берег реки, 30.06.2020. *C. sordida* Neurck et Müll. Arg. – О. грязная. Ю-з берег оз. Чукч., берег водоема, 16.09.2014; верховье р. Кок., берег водоема, 30.06.2020. *C. vanheurckii* Müll. Arg. – О. Ван-Хьюрка. Зап. побережье оз. Чукч., лиственничник, 15.06.2011; ю-з берег оз. Чукч., елово-лиственничный лес, 14.09.2014; ю-з берег оз. Чукч., заболоч. ручей, 28.06.2015; верховье р. Кок., заболоч. ручей, 30.06.2020; ср. течение р. Кок., см. лес, 02.07.2020. *C. xyphium* Kom. – О. мечевидная. Ю-з оконечность Ом. хр., склон г. Сетко. елово-пихтовый лес, 28.06.2020; верховье р. Кок., пойм. лес, 30.06.2020. *Cyperus orthostachyus* Franch. et Sav. – Сыть прямоколосая. Ю-з берег оз. Чукч., обочина зарастающей дороги, канава, 14.09.2014. *Eleocharis ovata* (Roth) Roem. et Schult. – Болотница яйцевидная. Басс. р. Армали, обочина дороги, мелкий водоем, 16.09.2014. *E. palustris* (L.) Roem. et Schult. – Б. болотная. Басс. р. Армали, обочина дороги, канава, 16.09.2014; ю-з берег оз. Чукч., заболоч. ручей, 19.09.2014. *E. ussuriensis* Zinserl. – Б. уссурийская. Ю-в берег оз. Чукч., м. Брусничный, заболоч. ручей, 26.06.2015; верховье р. Коколни, берег водоема, 29.06.2020. *E. yokoscensis* (Franch. et Sav.) – Tang et F. T. Wang – Б. йокосукская. Басс. р. Армали, дорога, канава, 13.09.2014; ю-з берег оз. Чукч., обочина зарастающей дороги, мелкий водоем, 14.09.2014. *Eriophorum brachyantherum* Trautv. et S.A. Mey. – Пушица короткопыльниковая. Ю-з часть Омельдинского хр., заболоч. ручей, 01.07.2020. *E. komarovii* V.N. Vassil. – П. Комарова. Ю-з берег оз. Чукч., заболоч. ручей, 27.06.2015; ю-з часть Омельдинского хр., верховое болото, 01.07.2020. *E. russeolum* Fr. – П. рыжеватая. Ю-з берег оз. Чукч., заболоч. ручей, 15.09.2014. *E. vaginatum* L. – П. влагалищная. Бассейн. р. Армали, куст. болото, 15.09.2014; ю-з берег оз. Чукч., заболоч. ручей, 27.06.2015; ю-з часть Омельдинского хр., верховое болото, 01.07.2020. *Schoenoplectus tabernaemontani* (C.C. Gmel.) Palla – Схеноплектус Табернемонтана. Ю-з побережье оз. Чукч., отмель, 16.09.2020; ю-з побережье оз. Чукч., зарастающая дорога, канава, 20.09.2020. *Scirpus radicans* Schkuhr – Камыш укореняющийся. Зап. побережье оз. Чукч., отмель, 10.06.2011; басс. р. Армали, обочина зарастающей дороги, мелкий водоем, 13.09.2014; ю-з побережье оз. Чукч., зарастающая дорога, канава, 20.09.2014.

DROSERACEAE – Росянковые. *Drosera rotundifolia* L. – Росянка круглолистная. Зап. побережье оз. Чукч., кустарничково-сфагновое болото, 16.06.2011.

DRYOPTERIDACEAE – Щитовниковые. *Dryopteris expansa* (C. Presl) Fraser-Jenk. et Jermy – Щитовник расширенный. Сев. склон г. Сетко, елово-пихтовый лес с примесью березы шерстистой, 29.06.2020. *D. crassirhizoma* Nakai – Щ. толстокорневищный. Ю-з оконечность Ом. хр., сев. склон г. Сетко, елово-пихтовый лес с примесью березы шерстистой, 29.06.2020. *D. sichotensis* Kom. – Щ. сихотинский. Ю-з оконечность Ом. хр., сев. склон г. Сетко, елово-пихтовый лес с примесью березы шерстистой, 29.06.2020. *Leptorumohra amurensis* (Christ) Tzvelev – Лепторумора амурская. Ю-з побережье оз. Чукч., см. лес, 14.09.2014; басс. р. Армали, елово-пихтовый лес, 25.06.2015.

EMPETRACEAE – Шикшиевые. *Empetrum stenopetalum* V.N. Vassil. – Шикша узколепестная. Ю-з оконечность Ом. хр., вершина г. Сетко, замшелая россыпь камней среди кустов кедрового стланика, 28.06.2020.

EQUISETACEAE – Хвощевые. *Equisetum arvense* L. – Хвощ полевой. Басс. р. Армали, пойм. лес, 20.09.2014; верховье р. Кок., пойм. лес, 29.06.2020. *E. fluviatile* L. – Х. речной. Ю-з побережье оз. Чукч., заболоч. ручей, 19.09.2014; верховье р. Кок., заболоч. ручей, 07.09.2020. *E. palustre* L. – Х. болотный. Ю-з побережье оз. Чукч., заболоч. ручей, 19.09.2014. *E. pratense* Ehrh. – Х. луговой. Ю-з побережье оз. Чукч., заболоч. ручей, 19.09.2014; верховье р. Кок., пойм. лес, 29.06.2020. *E. sylvaticum* L. – Х. лесной. Зап. побережье оз. Чукч., см. лес, 12.06.2011; верховье р. Кок., см. лес, 30.06.2020.

ERICACEAE – Вересковые. *Andromeda polifolia* L. – Подбел полиумолистный. Зап. побережье оз. Чукч., кустарничково-сфагновое болото, 16.06.2011; Басс. р. Армали, сфагновое болото, 18.09.2014. *Cassiope redowskii* (Cham. et Schldt.) G. Don – Кассиопея Редовского. Ю-з оконечность Ом. хр., вершина г. Сетко, замшелые россыпи камней,

29.06.2020. *Chamaedaphne calyculata* (L.) Moench – Болотный мирт чашечный. Зап. побережье оз. Чукч., кустарничково-сфагновое болото, 16.06.2011; басс. р. Армали, куст. болото, 15.09.2014. *Ledum hypoleucum* Kom. – Багульник подбел. Зап. побережье оз. Чукч., лиственничник, 14.06.2011; басс. р. Армали, куст. болото, 15.09.2014; ю-з оконечность Ом. хр., сев. склон г. Сетко, елово-пихтовый лес с примесью березы шерстистой, 29.06.2020. *L. palustre* L. – Б. болотный. Зап. побережье оз. Чукч., кустарничково-сфагновое болото, 16.06.2011; басс. р. Армали, куст. болото, 15.09.2014; ю-з оконечность Ом. хр., вершина г. Сетко, замшелая россыпь камней среди кустов кедрового стланика, 29.06.2020. *L. subulatum* (Nakai) A.P. Khokhr. et Mazurenko – Б. шиловидный. Басс. р. Армали, кустарничково-сфагновое болото, 18.09.2014. *Oxycoccus palustris* Pers. – Клюква болотная. Зап. побережье оз. Чукч., кустарничково-сфагновое болото, 16.06.2011. *O. microcarpus* Turcz. ex Rupr. – К. мелкоплодная. Басс. р. Армали, сфагновое болото, 18.09.2014. *Rhododendron dauricum* L. – Рододендрон даурский. Зап. побережье оз. Чукч., лиственничник, 15.06.2011; ю-з берег оз. Чукч. возвышенность, хв.-широк. лес 12.09.2014. *R. aureum* Georgi – Р. золотистый. Ю-з оконечность Ом. хр., вершина г. Сетко, замшелая россыпь камней среди кустов кедрового стланика, 29.06.2020. *Vaccinium uliginosum* L. – Вакциниум болотный, Голубика. Басс. р. Армали, куст. болото, 15.09.2014; ср. течение р. Кок., заболоч. долина ручья, 02.07.2020. *V. vitis-idaea* L. – Брусника обыкновенная. Зап. побережье оз. Чукч., см. лес, 12.06.2011 ю-з берег оз. Чукч., см. лес, 12.09.2014; ю-в берег оз. Чукч., м. Крутой, см. лес, 25.06.2015; ю-з оконечность Ом. хр., см. лес, 29.06.2020.

FABACEAE – Бобовые. *Hedysarum branthii* Trautv. et C.A. Mey. – Копеечник Бранта. Басс. р. Армали, возвышенность, крутой склон, 16.06.2014; с-в берег оз. Чукч., незалесенная возвышенность, 26.06.2015; ю-з оконечность Ом. хр., склон г. Сетко, 28.06.2020; ср. течение р. Кок., крутой склон сопки, дубово-кедровостланиковая роща, 02.07.2020. *Kummerowia striata* (Thunb.) Schindl. – Куммеровия полосатая. Ю-з побережье оз. Чукч., обочина дороги, 15.09.2014. *Lathyrus humilis* (Ser.) Spreng. – Чина низкая. Зап. побережье оз. Чукч., см. лес, 14.06.2011; басс. р. Армали, см. лес, 14.09.2014; ср. течение р. Кок., см. лес, 02.07.2020. *L. pilosus* Cham. – Ч. волосистая. Ю-з побережье оз. Чукч., обочина дороги, 13.09.2014; басс. р. Армали, пойм. луг, 14.09.2014; ср. течение р. Кок., см. лес, 02.07.2020. *Trifolium lupinaster* L. – Клевер люпиновидный. Ю-з побережье оз. Чукч., обочина дороги, 15.09.2014; ср. течение р. Кок., см. лес, опушка, 02.07.2020. *T. pratense* L. – К. луговой. Ю-з побережье оз. Чукч., обочина дороги, 15.09.2014; окр. базы рыб. колхоза им. Постышева, берег озера, 16.09.2014; ср. течение р. Кок., обочина дороги, 01.07.2020. *T. repens* L. – К. ползучий. Ю-з побережье оз. Чукч., обочина дороги, 15.09.2014; окр. базы рыб. колхоза им. Постышева, берег озера, 16.09.2014; верховье р. Кок., обочина дороги, 01.07.2020. *Vicia amoena* Fisch. – Вика приятная. Ю-з побережье оз. Чукч., см. лес, 15.09.2014; зап. берег оз. Чукч., м. Брусничный, см. лес, 25.06.2015; ср. течение р. Кок., см. лес, 01.07.2020; ю-з отрог Омельдинского хр., осыпной склон, 03.07.2020. *V. amurensis* Oett. – В. амурская. Басс. р. Армали, см. лес, 15.09.2014; ю-з берег оз. Чукч., возвышенность, хв.-широк. лес, 18.09.2014; ю-з оконечность Ом. хр., крутой склон сопки, дубово-кедровостланиковая роща, 01.07.2020; ср. течение р. Кок., см. лес, 02.07.2020. *V. cracca* L. – В. мышьяная. Басс. р. Армали, пойм. луг, 15.09.2014; ср. течение р. Кок., см. лес, 02.07.2020. *Vicia ramuliflora* (Maxim.) Ohwi – В. разветвленная. Верховье р. Кок., пойм. лес, 27.06.2020; ср. течение р. Кок., см. лес, 02.07.2020. *Vicia woroschilovii* N.S. Pavlova – Вика Ворошилова. Ср. течение р. Кок., см. лес, 01.07.2020.

FAGACEAE – Буковые. *Quercus mongolica* Fisch. ex Ledeb. – Дуб монгольский. Ю-з оконечность Ом. хр., верховье р. Кок., см. лес, 08.02.2014; ю-з берег оз. Чукч., возвышенность, хв.-широк. лес, 18.09.2014; ю-з оконечность Ом. хр., крутой склон сопки, дубово-кедровостланиковая роща, 02.07.2020.

FUMARIACEAE – Дымянковые. *Corydalis gigantea* Trautv. et C.A. Mey. – Хохлатка гигантская. Ю-з оконечность Ом. хр., верховья р. Кок., по берегам реки, 28.06.2020. *C. speciosa* Maxim. – Х. прекрасная. Ср. течение р. Кок., обочина дороги, 01.07.2020.

GENTIANACEAE – Горечавковые. *Gentiana triflora* Pall. – Горечавка трехцветковая. Верховье р. Кок., пойм. лес 30.06.2020. *Ophelia tetrapetala* (Pall.) Grossh. – Офелия четырехлепестная. Басс. р. Армали, обочина дороги, 11.09.2014.

GERANIACEAE – Гераниевые. *Geranium erianthum* DC. – Герань волосистоцветковая. Басс. р. Армали, обочина зарастающей дороги, 15.09.2014; ю-з берег оз. Чукч., см. лес, 16.09.2014; верховье р. Кок., пойм. лес, 30.06.2020. *G. orientale* (Maxim.) Freyn – Г. восточная. Оз. Чукч., о-в Джалу, береговой обрыв, 16.06.2011; басс. р. Армали, см. лес, 15.09.2014; ю-з берег оз. Чукч., см. лес, 24.06.2015; ср. течение р. Кок., см. лес, 02.07.2020. *G. sibiricum* L. – Г. сибирская. Ю-з берег оз. Чукч., окр. базы рыб. колхоза им. Постышева, 16.09.2014.

GROSSULARIACEAE – Крыжовниковые. *Ribes palczewskii* (Jancz.) Pojark. – Смородина Пальчевского. Басс. р. Армали, см. лес, 28.06.2015; ю-з оконечность Ом. хр., пойм. лес, 29.06.2020. *R. pauciflorum* Turcz. ex Pojark. – С. малоцветковая. Ю-з берег оз. Чукч., см. лес, 16.09.2014; басс. р. Армали, см. лес, 27.06.2015; ю-з берег оз. Чукч., пойм. лес, 28.06.2015; ю-з оконечность Ом. хр., пойм. лес, 29.06.2020; ср. течение р. Кок., см. лес, 02.07.2020. *R. triste* Pall. – С. печальная. Зап. побережье оз. Чукч., лиственничник, 15.06.2011; ю-з побережье оз. Чукч., см. лес, 16.09.2014; ю-з оконечность Ом. хр., еловопихтовый лес с примесью березы шерстистой, 29.06.2020; ср. течение р. Кок., см. лес, 02.07.2020.

HEMEROCALLIDACEAE – Красодневоцветные. *Hemerocallis middendorfi* Trautv. et S.A. Mey. – Красоднев Миддендорфа. Ю-з берег оз. Чукч., см. лес, 14.09.2014; верховье р. Кок., см. лес, 30.06.2020.

HIPPURIDACEAE – Хвостниковые. *Hippuris vulgaris* L. – Хвостник обыкновенный. Ю-з берег оз. Чукч., заболоч. ручей, 16.09.2014.

HYPERICACEAE – Зверобоевые. *Hypericum gebleri* Ledeb. – Зверобой Геблера. Зап. побережье оз. Чукч., среди кустарника, 12.06.2011; басс. р. Армали, пойм. луг с редким березняком, 15.09.2014; ю-з берег оз. Чукч., обочина дороги, 20.09.2014.

HYPOLEPIDACEAE – Гиполеписовые. *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn – Орляк обыкновенный. Зап. побережье оз. Чукч., березняк, 12.06.2011; верховье р. Коколья, см. лес, 01.07.2020.

IRIDACEAE – Касатиковые. *Iris laevigata* Fisch. et C. A. Mey. – Касатик гладкий. Зап. побережье оз. Чукч., кустарничково-сфагновое болото, 16.06.2011. *Iris setosa* Pall. ex Link – Касатик щетинистый. Зап. побережье оз. Чукч., сырой луг, 10.06.2011; басс. р. Армали, пойм. луг, 13.09.2014.

JUNCACEAE – Ситниковые. *Juncus brachyspathus* Maxim. – Ситник короткоприцветниковый. Зап. побережье оз. Чукч., илистая отмель, 10.06.2011. *J. papillosus* Franch. et Sav. – С. сосочковый. Басс. р. Армали, берег залива, 13.09.2014; ю-з берег оз. Чукч., обочина дороги, водоем, 14.09.2014. *J. tenuis* Willd. – С. тонкий. Ср. течение р. Кок., обочина зарастающей дороги, канава, 01.07.2020. *Luzula rufescens* Fisch. ex E. Mey. – Ожика красноватая. Зап. побережье оз. Чукч., лиственничник, 15.06.2011; верховье р. Кок., обочина зарастающей дороги, 30.06.2020; ср. течение р. Кок., см. лес, 01.07.2020. *L. pallescens* Sw. – О. бледноватая. Оз. Чукч., южный мыс о-ва Годбаньки, см. лес, 25.06.2015.

LAMIACEAE – Яснотковые. *Lamium album* L. – Яснотка белая. С-в берег оз. Чукч., окр. базы завода им. Гагарина, 26.06.2015. *Lycopus uniflorus* Michx. – Зюзник малоцветковый. Зап. побережье оз. Чукч., травяное болото, 13.06.2011; басс. р. Армали, обочина дороги, канава, 15.09.2014; ю-з берег оз. Чукч., заболоч. ручей, 21.09.2014. *Mentha dahurica* Benth. – Мята даурская. Зап. побережье оз. Чукч., сырой луг, 13.06.2011. *M. canadensis* L. – М. канадская. Басс. р. Армали, обочина дороги, канава, 15.09.2014; ю-з берег оз. Чукч., заболоч. ручей, 21.09.2014. *Stachys aspera* Michx. – Чистец шероховатый. Зап. побережье оз. Чукч., травяное болото, 13.06.2011.

LENTIBULARIACEAE – Пузырчатковые. *Utricularia macrorhiza* Le Conte – Пузырчатка крупнокорневая. Зап. часть оз. Чукч., на мелководье, 10.06.2011.

LILIACEAE – Лилейные. *Lilium pensylvanicum* Ker-Gawl. – Лилия пенсильванская. Ю-з берег оз. Чукч., см. лес, 14.09.2014; верховье р. Кок., см. лес, 30.06.2020.

LYCOPODIACEAE – Плауновые. *Diphasiastrum complanatum* (L.) Holub – Дифазиаструм уплощенный. Зап. побережье оз. Чукч., лиственничник, 15.06.2011; басс. р. Армали, молодой сосняк, 18.09.2014; ю-з оконечность Ом. хр., сев. склон г. Сетко, елово-пихтовый лес с примесью березы шерстистой, 29.06.2020. *Lycopodium annotinum* L. – Плаун годичный. Зап. побережье оз. Чукч., лиственничник, 15.06.2011; басс. р. Армали, елово-пихтовый лес на возвышенности, 18.09.2014. *L. clavatum* L. – П. булабовидный. Зап. побережье оз. Чукч., см. лес, 14.06.2011; басс. р. Армали, березо-лиственничный лес на месте старого горельника, 15.09.2014. *L. juniperoideum* Sw. – П. можжевельниковый. Зап. побережье оз. Чукч., лиственничник, 15.06.2011; басс. р. Армали, елово-пихтовый лес на возвышенности, 18.09.2014.

LYTHRACEAE – Дербенниковые. *Lythrum salicaria* L. – Дербенник иволистный. Ю-з побережье оз. Чукч., заболоч. участок дороги, 15.09.2014.

MELANTHIACEAE – Мелантиевые. *Acelidanthus anticloides* Trautv. et C.A. Mey. – Ацелидант антиклеинный. Ю-з оконечность Ом. хр., вершина г. Сетко, замшелая россыпь камней среди кустов кедрового стланика, 28.06.2020; склон г. Сетко, елово-пихтовый лес в долине ручья, 28.06.2020. *Veratrum dolichopetalum* O. Loes. – Чемерица длиннолепестная. Ю-з берег оз. Чукч., заболоч. ручей, 27.06.2015; ю-з оконечность Ом. хр., пойм. лес, 29.06.2020.

MENYANTHACEAE – Вахтовые. *Nymphoides peltata* (S.G. Gmel.) O. Kuntze – Болотноцветник щитолистный. Зап. часть оз. Чукч., на мелководье, 10.06.2011; ю-з часть оз. Чукч., на мелководье, 16.09.2014.

MYRICACEAE – Восковниковые. *Myrica tomentosa* (DC.) Asch. et Graebn. – Восковник пушистый. Ю-в граница заказника, край куст. болота, 17.09.2014.

NYMPHAEACEAE – Кувшинковые. *Nuphar pumila* (Timm) DC. – Кубышка малая. Зап. часть оз. Чукч., мелководье, 10.06.2011. *Nymphaea tetragona* Georgi – Кувшинка четырехугольная. Зап. часть оз. Чукч., мелководье, 11.06.2011.

ONAGRACEAE – Ослинниковые. *Chamaenerion angustifolium* (L.) Holub – Иванчай узколистый. Зап. побережье оз. Чукч., обочина дороги, 10.06.2011; ю-з побережье оз. Чукч., старый горельник, 15.09.2014; ср. течение р. Кок., зарастающая дорога, 01.07.2020. *Epilobium fastigiato-ramosum* Nakai – Кипрей пучковато-ветвистый. Басс. р. Армали, обочина дороги, канава, 15.09.2014. *E. maximowiczii* Hausskn. – К. Максимовича. Басс. р. Армали, обочина дороги, 14.09.2014; ю-з побережье оз. Чукч., обочина дороги, 15.09.2014. *E. palustre* L. – К. болотный. Басс. р. Армали, обочина дороги, канава, 20.09.2014.

ONOCLEACEAE – Оноклеевые. *Matteuccia struthiopteris* (L.) Todaro – Страусник обыкновенный. Ю-з побережье оз. Чукч., см. лес, 16.09.2014.

ORCHIDACEAE – Орхидные. *Calypso bulbosa* (L.) Oakes – Калипсо луковичная. Ю-з оконечность Ом. хр., склон г. Сетко, елово-пихтовый лес, 28.06.2020.

PAPAVERACEAE – Маковые. *Chelidonium asiaticum* (H. Nara) Krachulk. – Чистотел азиатский. Ю-з берег оз. Чукч., окр. базы рыб. колхоза им. Постышева, пустырь, 14.09.2014.

PINACEAE – Сосновые. *Abies nephrolepis* (Trautv.) Maxim. – Пихта белокорая. Зап. побережье оз. Чукч., ельник, 10.06.2011; ю-з побережье оз. Чукч., см. лес, 14.09.2014; ю-з оконечность Ом. хр., сев. склон г. Сетко, елово-пихтовый лес с примесью березы шерстистой, 29.06.2020. *Larix gmelinii* (Rupr.) Kuzen. – Лиственница Гмелина. Зап. побережье оз. Чукч., лиственничник, 10.06.2011; ю-з побережье оз. Чукч., лиственнично-куст. болото, 14.09.2014; ю-з оконечность Ом. хр., сев. склон г. Сетко, елово-пихтовый лес с примесью березы шерстистой, 29.06.2020; ср. течение р. Кок., см. лес, 02.07.2020. *Picea ajanensis* (Lindl. et Gord.) Fisch. ex Carrière – Ель аянская. Зап. побережье оз. Чукч., ельник, 10.06.2011; ю-з побережье оз. Чукч., см. лес, 14.09.2014. *P. obovata* Ledeb. – Е. сибирская. Ср. течение р. Кок., см. лес 10.02.2014; ю-з оконечность Ом. хр., сев. склон г. Сетко,

елово-пихтовый лес с примесью березы шерстистой, 29.06.2020. *Pinus pumila* (Pall.) Regel – Сосна стланиковая. Зап. побережье оз. Чукч., болото, 16.06.2011; ю-з оконечность Ом. хр., вершина и склоны, группировки сосны стланиковой с березой Миддендорфа среди россыпи камней, 29.06.2020. *P. sylvestris* L. – С. обыкновенная. Басс. р. Армали, молодой сосняк, 18.09.2014; р. Ольджикан, релка Муравьиная, 13.09.2017; ср. течение р. Ольджикан, по берегам реки, 15.09.2017.

PLANTAGINACEAE – Подорожниковые. *Plantago asiatica* L – Подорожник азиатский. Оз. Чукч., о-в Джалу, у зимовья, 16.06.2011. *P. depressa* Willd. – П. приземистый. Басс. р. Армали, обочина дороги, 13.09.2014. *P. major* L. – П. большой. Оз. Чукч., о-в Джалу, у зимовья, 16.06.2011; басс. р. Армали, обочина дороги, 15.09.2014.

POACEAE – Мятликовые. *Agrostis diluta* Kurczenko – Полевица бледная. Зап. побережье оз. Чукч., обочина дороги, 12.06.2011; ю-з берег оз. Чукч., обочина дороги, 24.06.2015; ср. течение р. Кок., см. лес, 01.07.2020. *A. scabra* Willd. – П. шероховатая. Басс. р. Армали, обочина дороги, 14.09.2014; ю-з берег оз. Чукч., обочина зарастающей дороги, 19.09.2014; ю-з оконечность Ом. хр., зарастающая дорога, 01.07.2020. *A. gigantea* Roth – П. гигантская. Ю-з берег оз. Чукч., окр. рыболовецкой базы им. Потышева, пустырь, 24.06.2015. *Alopecurus aequalis* Sobol. – Лисохвост равный. Зап. побережье оз. Чукч., сырой луг, 10.06.2011; бассейн. р. Армали, дорога, лужа, 15.09.2014; верховье р. Кок., берег ручья, 01.07.2020. *A. longiaristatus* Maxim. – Л. длинноостый. Ю-з побережье оз. Чукч., зарастающая дорога, канава, 20.09.2014. *Beckmannia syzigachne* (Steud.) Fern. – Бекманния восточная. Зап. побережье оз. Чукч., обочина лесовозной дороги, 12.06.2011; ю-з берег оз. Чукч., обочина дороги, канава, 20.09.2014. *Calamagrostis amurensis* Prob. – Вейник амурский. Зап. побережье оз. Чукч., см. лес, 12.06.2011. *C. barbata* V.N. Vassil. – В. бородатый. Зап. побережье оз. Чукч., лиственничник, 15.06.2011; ю-з берег оз. Чукч., пойменный луг, 27.06.2015; басс. р. Армали, луг с редким березняком, 28.06.2015; ср. течение р. Кок., см. лес, 01.07.2020. *C. langsdorffii* (Link) Trin. – В. Лангсдорфа. Зап. побережье оз. Чукч., сырой луг, 10.06.2011; басс. р. Армали, луг с редким березняком, 24.06.2015; ю-в берег оз. Чукч., м. Брусничный, см. лес, 25.06.2015; оз. Чукч., исток р. Ольджикан, плавни, 11.09.2017; ю-з отрог Омельдинского хр., см. лес, 01.07.2020. *C. monticola* Petrov et Kom. – В. низкогорный. Оз. Чукч., о-в Джалу, береговые скалы, 16. 06.2011; ю-з оконечность Ом. хр., крутой склон с дубово-кедровостланиковой рощей, 28.06.2020. *C. neglecta* (Ehrh.) G. Gaertn., В. Mey. et Scherb. – В. незамечаемый. Зап. побережье оз. Чукч., сырой луг, 10.06.2011; верховье р. Кок., берег реки, 29.06.2020. *Digitaria ischaemum* (Schreb.) H.L. Muhl. – Росичка обыкновенная. Басс. р. Армали, обочина дороги, 17.09.2014. *Echinochloa crus-galli* (L) P. Beauv. – Ежовник обыкновенный. Басс. р. Армали, дорога, лужа. 13.09.2014; ю-з берег оз. Чукч., обочина дороги, канава, 20.09.2014. *Elymus sibiricus* L. – Пырейник сибирский. Ю-з берег оз. Чукч., обочина дороги, 14.09.2014. *Festuca jacutica* Drob. – Овсяница якутская. Ср. течение р. Кок., см. лес 01.07.2020. *F. pratensis* Huds. – О. луговая. Зап. побережье оз. Чукч., обочина лесовозной дороги, 12.06.2011. *Glyceria triflora* (Korsh.) Kom. – Манник трехцветковый. Ю-з берег оз. Чукч., берег водоема, 14.09.2014. *Hierochloë alpina* (Sw.) Roem. et Schult. – Зубровка альпийская. Ю-з отрог Омельдинского хр., вершина г. Сетко, замшелая россыпь камней среди кустов кедрового стланика. 28.06.2020. *Melica nutans* L. – Перловник поникающий. Оз. Чукч., южный мыс о-ва Годбаньки, см. лес, 25.06.2015. *Milium effusum* L. – Бор развесистый. Верховье р. Кок., пойм. лес, 29.06.2020. *Poa angustifolia* L. – Мятлик узколистный. Ю-з берег оз. Чукч., обочина зарастающей дороги, 26.06.2015. *P. nemoralis* L. – М. лесной. Верховье р. Кок., пойм. лес, 29.06.2020; верховье р. Кок., см. лес, 01.07.2020. *P. stepposa* (Kryl.) Roshev. – М. степной. Оз. Чукч., о-в Джалу, береговые скалы, 16.06.2011. *Puccinellia hauptiana* V.I. Krecz. – Бескильница Гаупта. Ю-з берег оз. Чукч., обочина зарастающей дороги, 14.09.2014. *Zizania latifolia* (Griseb.) Stapf – Цицания широколистная. Зап. часть оз. Чукч., на мелководье у берега, 10.06.2011; ю-з берег оз. Чукч., мелководье, 14.09.2014.

POLEMONIACEAE – Синюховые. *Polemonium schmidtii* Klok. – Синюха Шмидта. Ю-з берег оз. Чукч., окр. базы рыб. колхоза им. Постышева, 27.06.2015; ср. течение р. Кок., см. лес, 02.07.2020.

POLYGONACEAE – Гречиховые. *Persicaria foliosa* (H. Lindb.) Kitag. – Горец многолистный. Басс. р. Армали, берега реки, 16.09.2014; ю-з берег оз. Чукч., обочина дороги, канава, 11.09.2014. *P. hydropiper* (L.) Spach – Г. перечный. Ю-з берег оз. Чукч., край водоема, 18.09.2014. *P. lapathifolia* (L.) S.F. Gray – Г. развесистый. Зап. побережье оз. Чукч., илистый берег, 10.06.2011. *P. maculosa* S.F. Gray – Г. почечуйный. Ю-з берег оз. Чукч., окр. базы рыб. колхоза им. Постышева, береговой обрыв, 16.09.2014. *P. scabra* (Moench.) Mold. – Г. . Басс. р. Армали, пойм. луг с редким березняком, 15.09.2014. *Polygonum plebejum* R.Br. – Спорыш отмельный. Басс. р. Армали, обочина дороги, 14.09.2014. *Rumex maritimus* L. – Щавельник приморский. Ю-з берег оз. Чукч., обочина дороги, 11.09.2014. *R. longifolius* DC. – Щ. длиннолистный. Ю-з берег оз. Чукч., берег старицы, 11.09.2014. *Truellum sieboldii* (Meisn.) Soják – Колочестебельник Зибольда. Ю-з берег оз. Чукч., обочина дороги, канава, 11.09.2014.

POLYPODIACEAE – Многоножковые. *Polypodium sibiricum* Sipliv. – Многоножка сибирская. Зап. побережье оз. Чукч., ельник, на ветровале, 11.06.2011; ю-з оконечность Ом. хр., сев. склон г. Сетко, елово-пихтовый лес с примесью березы шерстистой, 29.06.2020.

POTAMOGETONACEAE – Рдестовые. *Potamogeton perfoliatus* L. – Рдест пронзеннолистный. Зап. часть оз. Чукч., мелководный залив, 10.06.2011. *P. gramineus* L. – Р. злаковый. Р. Ольджакан, залив, 17.09.2017. *P. natans* L. – Рдест плавающий. Зап. берег оз. Чукч., мелководье. 24.06.2015.

PRIMULACEAE – Первоцветовые. *Androsace septentrionalis* L. – Проломник нитевидный. Басс. р. Армали, обочина дороги, канава, 16.09.2014. *Naumburgia thyrsoiflora* (L.) Rchb. – Наумбургия кистецветковая. Зап. побережье оз. Чукч., сырой луг, 10.06.2011; ю-з берег оз. Чукч., берег водоема, 25.06.2015. *Trientalis europaea* L. – Седмичник европейский. Зап. побережье оз. Чукч., листовничник, 15.06.2011; ю-з берег оз. Чукч., см. лес, 18.09.2014; ю-з оконечность Ом. хр., верховье р. Кок., см. лес, 29.06.2020.

PYROLACEAE – Грушанковые. *Chimaphila umbellata* (L.) W.P.C. Barton – Зимолюбка зонтичная. Зап. побережье оз. Чукч., см. лес, 12.06.2011; ю-з берег оз. Чукч., см. лес, 18.09.2014; ю-з оконечность Ом. хр., склон г. Сетко, см. лес, 29.06.2020. *Orthilia secunda* (L.) House – Ортилия однобокая. Зап. побережье оз. Чукч., листовничник, 15.06.2011; ю-з берег оз. Чукч., возвышенность, молодой сосняк, 18.09.2014; ю-з оконечность Ом. хр., склон г. Сетко, см. лес, 29.06.2020. *Pyrola renifolia* Maxim. – Грушанка почколистная. Зап. побережье оз. Чукч., листовничник, 15.06.2011. *P. incarnata* Fisch. – Грушанка мясокрасная. Зап. побережье оз. Чукч., листовничник, 15.06.2011; ю-з берег оз. Чукч., см. лес, 18.09.2014; ю-з оконечность Ом. хр., склон г. Сетко, см. лес, 29.06.2020; ср. течение р. Кок., см. лес, 02.07.2020.

RANUNCULACEAE – Лютиковые. *Aconitum karafutense* Muiabe et Nakai – Борец карафутский. Ю-з оконечность Ом. хр., см. лес, 30.06.2020; ср. течение р. Кок., пойм. лес, 02.07.2020. *A. umbrosum* (Korsh.) Kom. – Б. тенелюбивый. Ю-з оконечность Ом. хр., верховье р. Кок., см. лес, 29.06.2020; верховье р. Кок., пойм. лес, 30.06.2020. *A. volubile* Pall. ex Koelle – Б. вьющийся. Басс. р. Армали, пойм. луг с редким березняком, 15.09.2014. *Actaea erythrocarpa* Fisch. – Воронец красноплодный. Зап. побережье оз. Чукч., см. лес, 12.06.2011; ю-з оконечность Ом. хр., верховье р. Кок., см. лес, 29.06.2020. *Anemone dichotoma* L. – Ветреница вильчатая. Басс. р. Армали, пойм. луг с редким березняком, 15.09.2014. *Aquilegia parviflora* Ledeb. – Водосбор мелкоцветковый. Зап. побережье оз. Чукч., сухой луг, 10.06.2011; ю-з берег оз. Чукч., возвышенность, см. лес, 25.09.2014; ср. течение р. Кок., см. лес, 02.07.2020. *Atragene ochotensis* Pall. – Княжик охотский. Зап. побережье оз. Чукч., см. лес, 12.06.2011; ю-з берег оз. Чукч., возвышенность, см. лес, 18.09.2014; ср. течение р. Кок., см. лес, 02.07.2020. *Caltha membranacea* (Turcz.) Schipcz. – Калужница перепончатая. Басс. р. Армали, заболоч. ручей, 15.09.2014;

ю-з оконечность Ом. хр., верховье р. Кок., по берегам реки, 29.06.2020. *C. palustris* L. – К. болотная. Басс. р. Армали, заболоч. ручей, 15.09.2014. *Cimicifuga simplex* (Wormsk. et DC.) Turcz. – Клопогон простой. Ю-з оконечность Ом. хр., верховье р. Кок., пойм. лес, 30.06.2020. *Clematis fusca* Turcz. – Ломонос бурый. Басс. р. Армали, пойм. лес, 20.09.2014; басс. р. Армали, луг, 28.09.2014; верховье р. Кок., пойм. лес, 27.06.2020. *Coptis trifolia* (L.) Salisb. – Коптис трехлистный. Зап. побережье оз. Чукч., ельник, 11.06.2011; ю-з берег оз. Чукч., темнохвойный лес, 18.09.2014. *Pulsatilla nuttalliana* (DC.) Spreng. – Прострел Наттала. Ю-з берег оз. Чукч., окр. базы рыб. колхоза им. Постышева, береговой обрыв, 16.09.2014; сев. берег оз. Чукч., вершина, крутой незалесенный склон, 27.06.2015. *Ranunculus gmelinii* DC. – Лютик Гмелина. Верховье р. Армали, залив, 11.09.2014; басс. р. Армали, заболоч. ручей, 13.09.2014. *R. chinensis* Bunge – Л. китайский. Басс. р. Армали, обочина дороги, канава, 15.09.2014. *Thacla natans* (Pall. ex Georgi) Deyl et Soják. – Такла плавающая. Зап. побережье оз. Чукч., старая гарь, обочина дороги, в кювете, 16.06.2011. *Thalictrum amurense* Maxim. – Василистник амурский. Басс. р. Армали, пойм. луг с редким березняком, 13.09.2014. *T. contortum* L. – В. скученный. Басс. р. Армали, пойм. лес, 15.09.2014; верховье р. Кок., пойм. лес, 30.06.2020. *T. sparsiflorum* Turcz. ex Fisch. et С.А. Меу. – В. редкоцветковый. Ю-з оконечность Ом. хр., верховье р. Кок., пойм. лес, 30.06.2020. *Trollius riederianus* Fisch. et С.А. Меу. – Купальница Ридера. Ю-з оконечность Ом. хр., верховье р. Кок., по берегам реки, 29.06.2020.

ROSACEAE – Розовые. *Aruncus dioicus* (Walter) Fernald – Волжанка двудомная. Басс. р. Армали, см. лес, 27.06.2015; ю-з берег оз. Чукч., пойм. лес, 28.06.2015; ю-з оконечность Ом. хр., верховье р. Кок., пойм. лес, 30.06.2020. *Crataegus dahurica* Koehne ex С.К. Schneid. – Боярышник даурский. Басс. р. Армали, см. лес, 14.09.2014. *Filipendula palmata* (Pall.) Maxim. – Лабазник дланевидный. Басс. р. Армали, см. лес, 15.09.2014; ю-з берег оз. Чукч., пойм. лес, 28.06.2015; ю-з оконечность Ом. хр., верховье р. Кок., пойм. лес, 30.06.2020. *Fragaria orientalis* Losinsk. – Земляника восточная. Ю-з берег оз. Чукч., окр. базы рыб. колхоза им. Постышева, берег озера, 16.09.2014. *Geum aleppicum* Jacq. – Гравилат алеппский. ю-з побережье оз. Чукч., обочина дороги, 15.09.2014. *Padus avium* Mill. – Черемуха обыкновенная. Ю-з берег оз. Чукч., пойм. лес, 28.06.2015; ю-з оконечность Ом. хр., верховье р. Кок., пойм. лес, 30.06.2020. *Potentilla fragarioides* L. – Лапчатка земляничная. Оз. Чукч., о-в Джалу, береговой обрыв, 16.06.2011; ю-з побережье оз. Чукч., обочина дороги, 15.09.2014; окр. базы рыб. колхоза им. Постышева, берег озера, 16.09.2014; ю-з оконечность Ом. хр., крутой склон сопки, дубово-кедровостланиковая роща, 02.07.2020. *P. norvegica* L. – Л. норвежская. Зап. побережье оз. Чукч., обочина дороги, 10.06.2011; ю-з побережье оз. Чукч., обочина дороги, 15.09.2014; окр. базы рыб. колхоза им. Постышева, берег озера, 16.09.2014; ср. течение р. Кок., обочина дороги, 01.07.2020. *P. supina* L. – Л. низкая. Ю-з побережье оз. Чукч., обочина дороги, 15.09.2014; ср. течение р. Кок., обочина дороги, 01.07.2020. *Rosa acicularis* Lindl. – Шиповник иглистый. Басс. р. Армали, см. лес, 14.09.2020; ср. течение р. Кок., см. лес, 01.07.2020. *R. amblyotis* С.А. Меу. – Ш. тупоушковый. Ю-з берег оз. Чукч., возвышенность, незалесенный склон, 28.06.2015. *R. davurica* Pall. – Ш. даурский. Оз. Чукч., о-в Джалу, береговой обрыв, 16.06.2011; басс. р. Армали, см. лес, 14.09.2020; верховье р. Кок., пойм. лес, 30.06.2020. *Rubus arcticus* L. – Рубус арктический; княженика. Зап. побережье оз. Чукч., см. лес, 14.06.2011; Ю-з берег оз. Чукч., окр. базы рыб. колхоза им. Постышева, пойм. лес, 16.09.2014; ср. течение р. Кок., см. лес, 02.07.2020. *R. chamaemorus* L. – Р. приземистый, морощка. Зап. побережье оз. Чукч., сфагновое болото, 16.06.2011; южный мыс о-ва Годбаньки, куст. болото, 24.06.2015. *R. humulifolius* С.А. Меу. – Р. хмелелистный. Ю-з оконечность Ом. хр., пойм. лес, 29.06.2020. *R. sachalinensis* H. Lévl. – Р. сахалинский. Зап. побережье оз. Чукч., обочина дороги, 10.06.2011. Ю-з берег оз. Чукч., окр. базы рыб. колхоза им. Постышева, 16.09.2014; ср. течение р. Кок., зарастающая дорога, 02.07.2020. *Sanguisorba officinalis* L. – Кровохлебка аптечная. Ср. течение р. Кок., зарастающая дорога, 02.07.2020. *S. parviflora* (Maxim.) Takeda – К. мелкоцветковая. Правобережье р. Армали,

пойм. луг, 16.09.2014. *Sorbaria sorbifolia* (L.) A. Br. – Рябинник рябинолистный. Зап. побережье оз. Чукч., обочина дороги, 10.06.2011; ю-з берег оз. Чукч., пойм. лес, 28.06.2015; ю-з оконечность Ом. хр., верховье р. Кок., пойм. лес, 30.06.2020. *S. grandiflora* (Sweet) Maxim. – Р. крупноцветковый. Ю-з оконечность Ом. хр., вершина г. Сетко, каменная осыпь с пятнами кедрового стланика, 29.06.2020. *Sorbus sibirica* Hedl. – Рябина сибирская. Зап. побережье оз. Чукч., лиственничник, 15.06.2011; басс. р. Армали, см. лес, 16.06.2014; верховье р. Кок., см. лес, 30.06.2020. *Spiraea betulifolia* Pall. – Таволга березолистная. Зап. побережье оз. Чукч., берег ручья, 15.06.2011; басс. р. Армали, см. лес, 16.06.2014; ю-в берег оз. Чукч., пойм. лес, 28.06.2015; ю-з оконечность Ом. хр., верховье р. Кок., см. лес, 30.06.2020. *S. humilis* Rojark. – Т. низкая. Зап. побережье оз. Чукч., лиственничник, 15.06.2011; басс. р. Армали, пойм. лес, 16.09.2014. *S. flexuosa* Fisch. ex Cambess. – Т. извилистая. Басс. р. Армали, возвышенность, см. лес, 16.06.2014; верховье р. Кок., см. лес, 30.06.2020. *S. media* F. Schmidt – Т. средняя. Оз. Чукч., о-в Джалу, береговой обрыв, 16.06.2011. Басс. р. Армали, возвышенность, см. лес, 16.06.2014; ср. течение р. Кок., см. лес, 02.07.2020. *S. salicifolia* L. – Т. иволлистная. Басс. р. Армали, пойм. лес, 16.09.2014; ю-з оконечность Ом. хр., верховье р. Кок., пойм. лес, 30.06.2020.

RUBIACEAE – Мареновые. *Galium boreale* L. – Подмаренник северный. Зап. берег оз. Чукч., см. лес, 14.06.2011; басс. р. Армали, см. лес, 15.09.2014; верховье р. Кок., пойм. лес, 30.06.2020; ср. течение р. Кок., см. лес, 02.07.2020. *G. davuricum* Turcz. ex Ledeb. – П. даурский. Зап. берег оз. Чукч., лиственничник, 14.06.2011; басс. р. Армали, см. лес, 15.09.2014; ср. течение р. Кок., см. лес, 02.07.2020. *G. physocarpum* Ledeb. – П. вздутоплодный. Оз. Чукч., южный мыс о-ва Годбаньки, см. лес, 25.06.2015; ср. течение р. Кок., см. лес, 02.07.2020. *G. ruthenicum* Willd. – П. русский. Оз. Чукч., о-в Джалу, береговой обрыв, 16.06.2011; ю-в берег оз. Чукч., береговые скалы, 25.06.2015. *G. trifidum* L. – П. трехнадрезанный. Зап. берег оз. Чукч., травяное болото, 13.06.2011; басс. р. Армали, зарастающая дорога, канава, 13.09.2014; ю-з берег оз. Чукч., заболоч. ручей, 21.09.2014. *Galium verum* L. – П. настоящий. Ю-з оконечность Ом. хр., крутой склон с дубово-кедровостланиковым лесом, 02.07.2020.

SALICACEAE – Ивовые. *Populus maximowiczii* A. Henry – Тополь Максимовича. Ю-з берег оз. Чукч., см. лес 12.09.2014. *P. tremula* L. – Т. дрожащий. Ю-з берег оз. Чукч., см. лес 12.09.2014; басс. р. Армали, пойм. лес, 25.06.2015; ю-з оконечность Ом. хр., склон г. Сетко, см. лес, 29.06.2020; ср. течение р. Кок., пойм. лес, 02.07.2020. *Salix abscondita* Laksch. – Ива скрытая. Ю-з граница заказника, старый карьер, 13.09.2014; ю-з оконечность Ом. хр., сев. склон г. Сетко, см. лес, 29.06.2020; ср. течение р. Кок., см. лес, 02.07.2020. *S. bebbiana* Sarg. – И. Бебба. Ю-з берег оз. Чукч., см. лес 12.09.2014; басс. р. Армали, пойм. лес, 28.06.2015. *S. brachypoda* (Trautv. et C.A. Mey.) Kom. – И. коротконожковая. Зап. побережье оз. Чукч., куст. болото, 16.06.2011; басс. р. Армали, куст. болото, 15.09.2014; басс. р. Армали, кустарничково-сфагновое болото, 23.06.2015; ср. течение р. Кок., заболоч. долина ручья, 02.07.2020. *S. caprea* L. – И. козья. Зап. побережье оз. Чукч., лиственничник, 14.06.2011. *S. gracilistyla* Miq. – И. тонкостолбиковая. Басс. р. Армали, молодой сосняк, 18.09.2014. *S. myrtilloides* L. – И. черничная. Басс. р. Армали, куст. болото, 15.09.2014; басс. р. Армали, кустарничково-сфагновое болото, 23.06.2015; ср. течение р. Кок., заболоч. долина ручья, 02.07.2020. *S. rorida* Laksch. – И. росистая. Басс. р. Армали, берег ручья, 12.09.2014; ср. течение р. Кок., берег реки, 02.07.2020. *S. schwerinii* E. Wolf – И. Шверина. Зап. побережье оз. Чукч., берег ручья, 16.06.2011; басс. р. Армали, пойм. лес, 15.09.2014; ср. течение р. Кок., берег реки, 02.07.2020. *S. taraiensis* Kimura – И. поронайская. Басс. р. Армали, пойм. лес, 12.09.2014; ю-з часть заказника, обочина дороги, 15.09.2014; ср. течение р. Кок., см. лес, 02.07.2020. *S. udensis* Trautv. et C.A. Mey. – И. удская. Басс. р. Армали, пойм. лес, 15.09.2014; басс. р. Армали, обочина дороги, 16.09.2014; ю-в берег оз. Чукч., мыс Брусничный, см. лес, 25.06.2015; ю-з оконечность Ом. хр., склон г. Сетко, см. лес, 29.06.2020; ср. течение р. Кок., см. лес, 02.07.2020. *Toisusu cordiphylla* (Trautv. et C.A. Mey) Kimura – Ложнотополь сердцелистный. Ю-з оконечность Ом. хр., верховье р. Кок., прирусловый лес, 29.06.2020.

SAMBUCACEAE – Бузиновые. *Sambucus sibirica* Nakai – Бузина сибирская. Басс. р. Армали, см. лес, 15.09.2014; ср. течение р. Кок., см. лес, 02.07.2020.

SANTALACEAE – Санталовые. *Thesium refractum* С.А. Мей. – Ленец преломленный. Ю-з берег оз. Чукч., возвышенность, хв.-широк. лес, 21.09.2014; ю-з берег оз. Чукч., крутой склон возвышенности, разреженный см. лес, 24.06.2015; с-в берег оз. Чукч., возвышенность, крутой травянистый склон, 26.06.2015; ю-з оконечность Ом. хр., крутой склон с дубово-кедровостланиковой рощей, 30.07.2020; ср. течение р. Кок., россыпи камней в лиственнично-березовом лесу, 01.07.2020.

SAXIFRAGACEAE – Камнеломковые. *Micranthes aestivalis* (Fisch. ex С.А. Мей.) Small – Камнеломка летняя. Ю-з оконечность Ом. хр., верховье р. Кок., берег реки, 30.06.2020. *Saxifraga bronchialis* L. – Камнеломка гребенчатореснитчатая. Оз. Чукч., о-в Джалу, береговой обрыв, 16.06.2011; ю-з оконечность Ом. хр., крутой склон сопки, дубово-кедровостланиковая роща, 28.06.2020. *Chrysosplenium sibiricum* (Ser. ex DC.) A.P. Khokhr. – Селезеночник сибирский. Ю-з оконечность Ом. хр., верховье р. Кок., берег реки, 30.06.2020.

SCHEUCHZERIAEAE – Шейхцериевые. *Scheuchzeria palustris* L. – Шейхцерия болотная. Зап. побережье оз. Чукч., кустарничково-сфагновое болото, 16.06.2011.

SCROPHULARIACEAE – Норичниковые. *Limosella aquatica* L. – Лужница водяная. Басс. р. Армали, обочина дороги, канава, 15.09.2014. *Linaria vulgaris* Mill. – Льянка обыкновенная. Басс. р. Армали, обочина дороги, 15.09.2014; ю-з берег оз. Чукч., заброшенный карьер, 16.09.2014. *Odontites vulgaris* Moench – Зубчатка обыкновенная. Басс. р. Армали, обочина дороги, 15.09.2014; ю-з берег оз. Чукч., заболоч. ручей, 21.09.2014. *Pedicularis labradorica* Wirsing – Мытник лабрадорский. Зап. побережье оз. Чукч., обочина лесной дороги, 13.06.2011; басс. р. Армали, возвышенность, см. лес, 18.09.2014; ю-з оконечность Ом. хр., вершина и склоны г. Сетка, 28.06.2020. *P. resupinata* L. – М. перевернутый. Басс. р. Армали, пойм. луг с редкостойным березняком, 13.09.2014; ср. течение р. Кок., см. лес, 02.07.2020.

SELAGINELLACEAE – Плаунковые. *Selaginella borealis* (Kaulf.) Rupr. – Плаунок северный. Оз. Чукч., о-в Джалу, береговые скалы, 16.06.2011. *S. rupestris* (L.) Spring – П. скальный. Оз. Чукч., о-в Джалу, береговые скалы, 16.06.2011.

SPARGANIACEAE – Ежеголовниковые. *Sparganium glomeratum* (Laest.) Neuman – Ежеголовник всплывающий. Ю-з берег оз. Чукч., заболоч. ручей, 24.09.2014. Опр. В.В. Якубов. *S. hyperboreum* Laest. – Е. северный. Ю-з берег оз. Чукч., заболоч. ручей, 14.09.2014.

THELYPTERIDACEAE – Телиптерисовые. *Phegopteris connectilis* (Michx.) Watt. – Буковник обыкновенный. Ю-з побережье оз. Чукч., см. лес, 14.09.2014; басс. р. Армали, елово-пихтовый лес, 25.06.2015.

TRAPACEAE – Рогульниковые. *Trapa maximowiczii* Korsh. – Рогульник Максимовича. Зап. часть оз. Чукч., на мелководье, 16.06.2011. *T. sibirica* Fler. – Водяной орех сибирский. Зап. часть оз. Чукч., на мелководье, 16.06.2011.

TRILLIACEAE – Триллиумовые. *Paris verticillata* Vieb. – Вороний глаз мутовчатый. Зап. побережье оз. Чукч., см. лес, 12.06.2011; верховье р. Кок., пойм. лес, 30.06.2020.

TYPHACEAE – Рогозовые. *Typha latifolia* L. – Рогоз широколистный. Ю-з берег оз. Чукч., берег водоема, 16.09.2014.

URTICACEAE – Крапивовые. *Urtica angustifolia* Fisch. ex Hornem. – Крапива узколистная. Басс. р. Армали, на пустыре возле моста, 13.09.2014; ю-з берег оз. Чукч., окр. базы рыб. колхоза им. Постышева, пустырь, 16.09.2014; оз. Чукч., южный мыс о-ва Годбаньки, пойм. лес, 25.06.2015.

VALERIANACEAE – Валериановые. *Valeriana alternifolia* Ledeb. – Валериана очереднолистная. Ср. течение р. Кок., зарастающая дорога, 02.07.2020. *V. amurensis* P.A. Smirn. ex Kom. – В. амурская. Ср. течение р. Кок., зарастающая дорога, сырой участок, 02.07.2020.

VIOLACEAE – Фиалковые. *Viola acuminata* Ledeb. – Фиалка приостренная. Верховье р. Кок., см. лес, 30.06.2020. *V. dactyloides* Schult. – Ф. пальчатая. Ю-з берег оз. Чукч., возвышенность, хв.-широк. лес, 18.09.2014. *V. epipsiloides* Á. Löve et D. Löve – Ф. сверхуголенькая. Зап. побережье оз. Чукч., берег ручья, 12.06.2011; басс. р. Армали, лиственнично-березовый лес, 13.09.2014; ю-з оконечность Ом. хр., верховье р. Кок., берег реки. 30.06.2020. *V. sachalinensis* Boissieu – Ф. сахалинская. Зап. побережье оз. Чукч., см. лес, 12.06.2011; ю-з граница заказника, старый карьер, 13.09.2014; ю-з оконечность Ом. хр., сев. склон г. Сетко, см. лес, 29.06.2020; ср. течение р. Кок., см. лес, 02.07.2020.

WOODSIACEAE – Вудсиевые. *Woodsia ilvensis* (L.) R. Br. – Вудсия северная. Оз. Чукч., о-в Джалу, береговые скалы, 16.06.2011; верховье р. Кок., скальные выходы на склоне, 30.06.2020.

Заключение

Таким образом, исследованиями ключевых пунктов территории заказника «Ольджиканский», проведенными в 2011–2020 гг., впервые выявлено для заказника 370 видов сосудистых растений, относящихся к 79 семействам и 208 родам. Авторы полагают, что дальнейшие исследования территории заказника позволят расширить и уточнить список.

Выражаем искреннюю признательность сотрудникам Федерального научного центра биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН В.Ю. Баркалову, В.В. Якубову, С.В. Прокопенко за консультацию и помощь в определении гербарного материала.

ЛИТЕРАТУРА

1. Андронов В.А., Гранкин Д.М., Иволгин А.Я. Особо охраняемые природные территории Хабаровского края / Департамент Росприроднадзора по Дальневосточному федеральному округу, Всемирный фонд дикой природы (WWF), Россия. Хабаровск, 2009. 89 с.
2. Водно-болотные угодья России. Т. 1. Водно-болотные угодья международного значения / под общ. ред. В.Г. Кривенко. М.: Wetlands International, 1998. 256 с.
3. Водно-болотные угодья России. Т. 5. Водно-болотные угодья юга Дальнего Востока России / под общ. ред. В.Н. Бочарникова. М.: Wetlands International, 2005. 220 с.
4. Красная книга Российской Федерации (растения и грибы) / гл. редкол.: Ю.П. Трутнев [и др.]; сост. Р.В. Камелин [и др.]. М: Т-во науч. изданий КМК, 2008. 855 с.
5. Красная книга Хабаровского края: Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды растений, грибов и животных: официальное издание / Министерство природных ресурсов Хабаровского края, Институт водных и экологических проблем ДВО РАН. Воронеж: МИР, 2019. 604 с.: ил.
6. Манько Ю.И., Розенберг В.А. Очерк растительности междуречья Амур–Амгунь: Растительность северных районов Дальнего Востока // Комаровские чтения. Вып. 14. Владивосток: Изд-во ДВНЦ АН СССР, 1967. С. 1–34.
7. Петров Е.С., Новороцкий П.В., Леншин В.Т. Климат Хабаровского края и Еврейской автономной области. Владивосток; Хабаровск: Дальнаука, 2000. 174 с.
8. Пехтерев А.К. Растительность Нимелен-Чукчагирской впадины // Вопросы географии Дальнего Востока. Сб. 10. Хабаровск: Дальневост. гос. изд-во, 1972. С.168–210.
9. Пехтерев А.К. Сплавины озера Чукчагирского // Вопросы географии Дальнего Востока. Сб. 7. Хабаровск: Дальневост. гос. изд-во, 1965. С. 151–160.
10. Реймерс Н.Ф., Штильмарк Ф.Р. Особо охраняемые природные территории. М.: Мысль, 1978. 295 с.
11. Ресурсы поверхностных вод СССР // Дальний Восток. Нижний Амур. Т. 18, вып. 2 / под ред. А.П. Муранова. Л.: Гидрометеорол. изд-во, 1970. 592 с.
12. Сапаев В.М. Озеро Чукчагирское // Водно-болотные угодья России. Т. 5. М.: Wetlands International Publicaton, 2005. С. 69–72.
13. Сосудистые растения советского Дальнего Востока: в 8 т. / отв. ред. С.С. Харкевич. Л.; СПб.: Наука, 1985–1996.
14. 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.
15. Черепанов С.К. Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР). СПб.: Мир и семья-95, 1995. 992 с.

В.К. ЛЕКСИН, В.А. РОМАНЮК

Исследование ледовой экзарации в прибрежной части шельфа Сахалина

Наличие ледяного покрова на шельфе Охотского моря способствует формированию опасных ледяных образований, что, в свою очередь, создает сложности при проектировании, строительстве и обслуживании морских нефтегазопромысловых сооружений. Изучение геологических опасностей в прибрежной части акватории северо-восточного шельфа о-ва Сахалин позволит минимизировать риски и разработать рекомендации по обеспечению безопасности при освоении нефтегазовых месторождений. В работе представлены результаты анализа данных экспедиционных исследований, выполненных в июле–сентябре 2019 г. с использованием метода эхолотирования на площадке северо-восточного шельфа о-ва Сахалин в районе газонефтяного месторождения Одопту-море. Полученные батиметрические данные позволили выявить неровности рельефа дна исследуемого участка, в том числе промоины в береговой зоне, образовавшиеся в результате размыва придонными течениями. Кроме того, выявлены зоны ледовой экзарации и определены максимальные глубины выпихивания стамухами морского дна.

Ключевые слова: батиметрическая съемка, геологические опасности, ледовая экзарация.

Study of ice gouging in the coastal part of the Sakhalin Island shelf. V.K. LEKSIN, V.A. ROMANYUK («RN-SakhalinNIPImorneft» Limited Liability Company, Yuzhno-Sakhalinsk).

The presence of ice cover on the shelf of the Sea of Okhotsk contributes to the formation of dangerous ice formations, which in turn creates difficulties in the design, construction and maintenance of the offshore oil and gas facilities. Study of geological hazards in the coastal area of the northeastern shelf of the Sakhalin Island will make it possible to minimize risks and develop recommendations for ensuring safety in the development of oil and gas fields. The paper presents the results of the analysis of data from expeditionary studies carried out in July–September 2019 using the echo sounding method on the site of the northeastern shelf of the Sakhalin Island in the vicinity of the Odoptu-Sea gas and oil field. The obtained bathymetric data made it possible to reveal irregularities in the bottom relief of the study area, including gullies in the coastal zone, formed as a result of erosion of the seabed surface by bottom currents. In addition, zones of ice gouging were identified and the maximum depths of gouging of the seabed by stamukhas were determined.

Key words: bathymetric survey, geological hazards, ice gouging.

Введение

В прибрежной части северо-восточного шельфа о-ва Сахалин ведется интенсивное освоение нефтегазовых месторождений. Транспортировка нефтяных углеводородов осуществляется при помощи системы подводных трубопроводов, а ледовые условия могут формировать здесь ледяные образования, которые негативно воздействуют на морское дно, поэтому проведение геодинамического мониторинга верхней части геологического разреза и исследования ледовых условий на акваториях имеют большую практическую ценность. Изучению ледовой экзарации на различных акваториях посвящены, например, работы [2, 4, 5, 7, 8, 10, 13–15]. Помимо распространения зон ледовой экзарации, на шельфе о-ва Сахалин присутствуют покмарки, палеоврезы и газовые аномалии [3, 6, 9].

*ЛЕКСИН Василий Константинович – руководитель группы морских изысканий, РОМАНЮК Валерий Анатольевич – кандидат географических наук, руководитель группы ледовых технологий (ООО «РН-СахалинНИПИморнефт»), Южно-Сахалинск. *E-mail: lex-vasya@mail.ru

Настоящая работа представляет результаты исследований ледовой экзарации по данным батиметрической съемки на площадке 1×14 км месторождения Одопту-море (рис. 1), выполненных в июле–сентябре 2019 г. Кроме того, проводилось измерение уровня моря гидрологическим комплексом, установленным на автономной буйковой станции, и отбирались пробы донных отложений для определения гранулометрического состава.



Условные обозначения:



Рис. 1. Обзорная карта-схема района исследований

Методика исследований

Батиметрическая съемка на площадке Одопту-море по изучению поверхности морского дна выполнялась методом эхолотирования по системе параллельных профилей, перпендикулярных берегу. Для обеспечения требуемой точности было проложено несколько контрольных профилей, расположенных перпендикулярно основным съемочным профилям.

Навигационно-геодезическая поддержка батиметрической съемки обеспечивалась с использованием системы позиционирования, сбора и распределения данных, построенной на базе спутникового навигационного комплекса, работающего в режиме Real Time Kinematic (RTK). Методика измерений заключалась в установке и запуске RTK станции на пункте с известными координатами, с которой в навигационную аппаратуру (подвижный приемник, установленный на борту мотолодки) одновременно с приемом спутникового сигнала поступали сигналы дифференциальных коррекций. В качестве ведомой точки на дисплей рулевого выводилась офсетная точка вибратора эхолота. На экране отражались как проектная сетка профилей, так и фактическое положение мотолодки с учетом офсетов

датчиков позиционирования и глубины. Такой подход позволяет рулевому с максимальной точностью проводить мотолодку по съёмочным профилям.

Основные ледовые фазы на акватории исследуемого участка определяли с использованием данных спутниковых микроволновых радиометров (Japan Meteorological Agency), архива ежедневных данных о площади льда мультиспектральной системы анализа спутниковых наблюдений MASIE (<http://nsidc.org/data/masie>), а также спутниковых (TERRA, AQUA, Suomi-NPP, Sentinel-2) снимков ледяного покрова в видимом диапазоне.

Результаты и обсуждение

В районе исследований зимой 2018/19 г. по характерному сочетанию ледовых условий на восточном Сахалине выделяются четыре фазы развития ледяного покрова:

фаза I – начало льдообразования от даты первого появления льда в прибрежной полосе до момента формирования полыньи (средние даты от 28 ноября до 30 декабря). Преобладающие формы – блинчатый лед толщиной 3–12 см;

фаза II – полынья, заполненная сплошными ниласовыми льдами толщиной 3–10 см (средние даты от 31 декабря до 4 марта);

фаза III – сплоченный и очень сплоченный однолетний лед (средние даты с 5 марта по 29 апреля). Преобладающие формы – большие поля, обломки, битые льды, толщина от 30 до 130 см;

фаза IV – разрушение ледяного покрова (средние даты с 30 апреля до 8 июня). Преобладающие формы – обломки ледяных полей, битые и тертые льды толщиной от 30 до 130 см.

На всех перечисленных фазах развития ледяного покрова возможно кратковременное (от десятков часов до нескольких суток) как полное очищение, так и полное закрытие исследуемой акватории.

Образование гряд торосов на восточном шельфе о-ва Сахалин происходит при сжатии ледяных полей однолетнего льда, дрейфующих из северо-западной части Охотского моря, между которыми находится молодой лед. В случае, когда пространство между ледяными полями заполнено молодыми льдами, создаются условия, при которых максимальная толщина ледяных образований может достигать 25–35 м [1, 11]. Во время прохождения циклонов под воздействием восточных ветров массив пояса тяжелого льда прижимает к берегу. При этом часть мощных ледяных образований садится на грунт, образуя стамухи, и при смене направления ветра не позволяет льду отойти от берега, выполняя роль опорных свай. Далее происходит смерзание массива, и он существует определенное время в виде припая, пока под воздействием нескольких одновременно действующих динамических факторов (как правило, сочетания сизигийных приливов, высоких скоростей вдольбереговых приливных течений, ветровых нагрузок и т.д.) не произойдет его разрушение [12].

Первое появление ледяного покрова на акватории исследуемого района было зафиксировано 2 декабря. Фаза начала льдообразования длилась около месяца – со 2 декабря по 1 января. Формирование прибрежной полыньи под воздействием устойчивых северо-западных ветров началось 2 января 2019 г. В результате движения через южную часть Охотского моря глубокого циклона полынья была частично закрыта с 16 по 22 января. На протяжении последующих 54 сут (с 22 января по 16 марта) имели место развитие полыньи и увеличение ее площади (рис. 2).



Рис. 2. Прибрежная полынья на северо-восточном шельфе о-ва Сахалин. Terra-MODIS, 11 марта 2019 г.

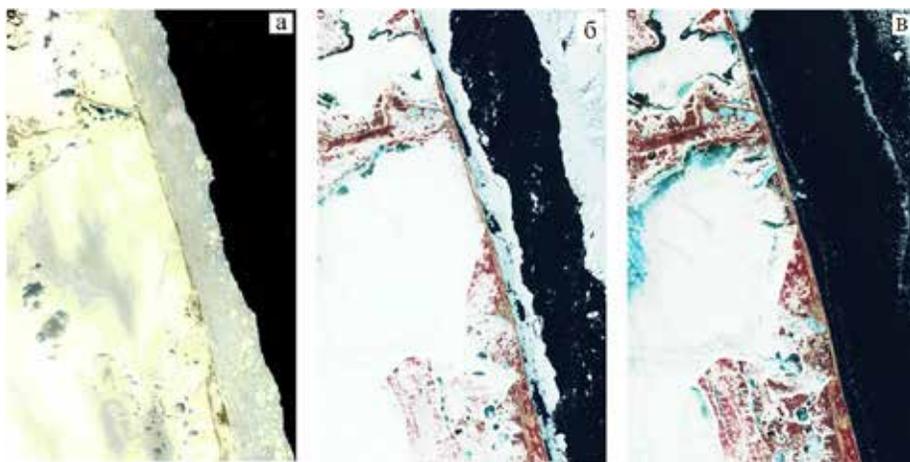


Рис. 3. Образование и разрушение припая на исследуемом участке: *а* – середина марта, *б* – 26 апреля, *в* – 29 апреля. Спутниковый снимок Sentinel-2

В середине марта, под воздействием ветров восточных румбов, пояс тяжелого льда был прижат к берегу, в результате чего образовалась полоса припая шириной до 2 км (рис. 3, *а*). Данные спутниковых наблюдений позволили определить, что разрушение припая началось 26 апреля (рис. 3, *б*), а к 29 апреля припай был полностью разрушен (рис. 3, *в*).

Анализ изображений со спутника Sentinel-2 (комбинация каналов 12-11-4, рис. 4) позволил идентифицировать на акватории исследуемого участка несколько ледяных образований, предположительно стамух. Размеры самого крупного из этих образований составляли $1,5 \times 1,1$ км, площадь $1,13$ км².

По результатам обработанных батиметрических данных с учетом приливно-отливных явлений установлено, что глубины площадки Одопту-море изменяются от нулевой отметки (береговая линия) до 9-метровой изобаты, углубляясь в сторону моря.

В мелководной прибрежной части площадки Одопту-море, до изобаты 7 м, наблюдается выпахивание морского дна стамухами на глубину до 4 м от его поверхности (рис. 5, 6).

Вдоль береговой линии на протяжении практически всего участка площадки простираются аккумулятивные валы и промоины, образующиеся в процессе намыва и размыва береговой зоны побережья (рис. 7, 8).

На основе анализа построенной батиметрической карты площадки Одопту-море выделены участки зон ледовой экзарации (рис. 9).

Приповерхностные донные отложения состоят главным образом из голоценовых песков с единичными включениями гравия, перекрывающих неогеновые отложения, представленные переслаивающимися слаболитифицированными грунтами (супесями и суглинками). Наибольшая мощность голоценовых отложений отмечается в местах развития песчаных валов и песчаных волн. На некоторых участках между песчаными валами

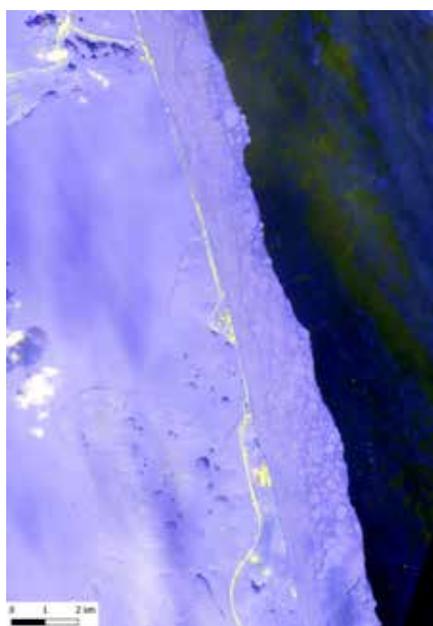


Рис. 4. Фрагмент изображения исследуемого участка со спутника Sentinel-2, 25 марта 2019 г.

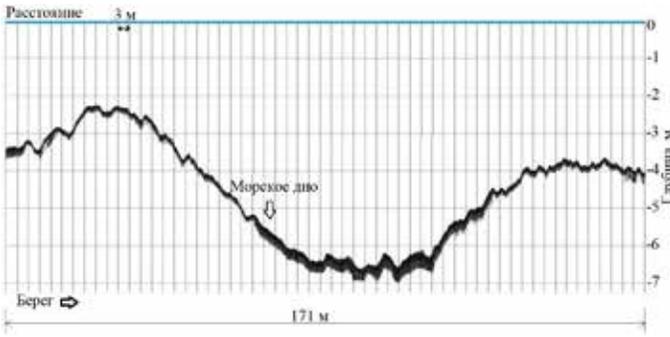


Рис. 5. Фрагмент записи батиметрической съемки в северной части площадки Одопту-море

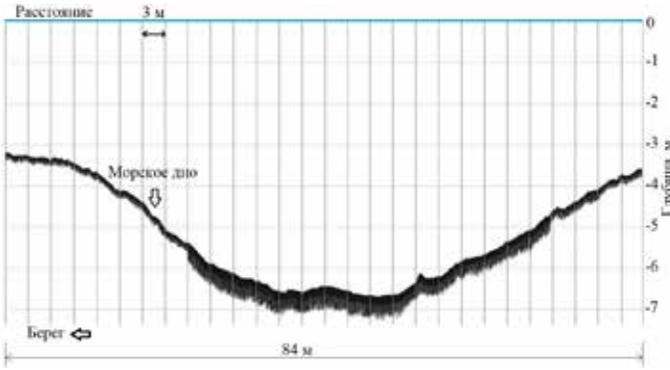


Рис. 6. Фрагмент записи батиметрической съемки в центральной части площадки Одопту-море

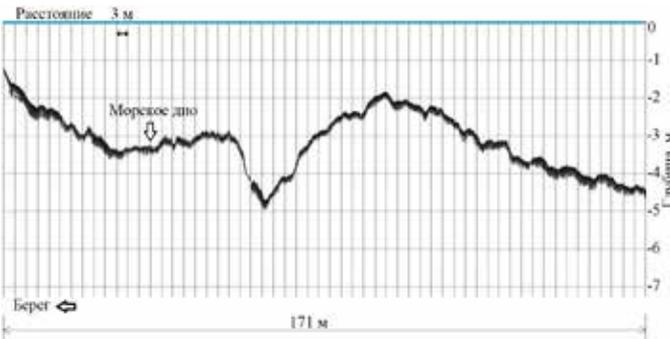


Рис. 7. Фрагмент записи батиметрической съемки, показывающий размыв в береговой зоне побережья

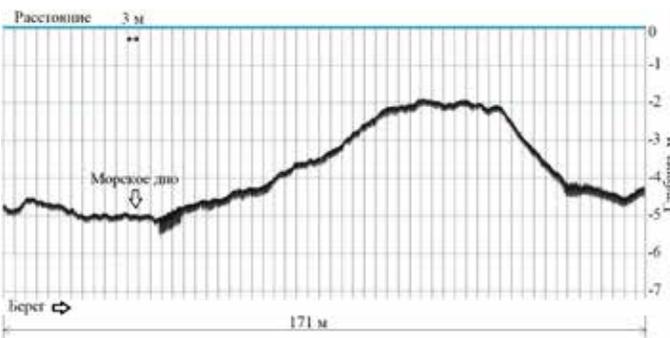


Рис. 8. Фрагмент записи батиметрической съемки, показывающий аккумулятивный вал в береговой зоне побережья



Рис. 9. Карта-схема зон ледовой экскарации площадки Одопту-море

голоценовые отложения представлены прерывающимися отложениями песка и остаточным гравийным материалом.

Заключение

Анализ батиметрических данных прибрежной площадки Одопту-море северо-восточного шельфа о-ва Сахалин позволил выявить зоны ледовой экскарации и определить максимальные глубины выпахивания стамухами морского дна. На основе батиметрических данных площадки Одопту-море были получены новые сведения о рельефе морского дна, выявлены зоны ледовой экскарации, определено, что глубина выпахивания стамухами достигает 4 м от поверхности морского дна.

Для изучения геологических опасностей и геодинамики верхней части геологического разреза на шельфе в местах расположения нефтепромысловых сооружений необходимо проводить ежегодные комплексные исследования, включающие в себя батиметрическую, гидролокационную и гидромагнитную съемки, непрерывное сейсмоакустическое профилирование и детальный анализ особенностей ледяного покрова на основе спутниковой съемки высокого разрешения, что и будет являться предметом наших дальнейших исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Астафьев В.Н., Сурков Г.А., Трусков П.А. Торосы и стамухи Охотского моря. СПб.: Прогресс-Погода, 1997. 197 с.
2. Вершинин С.А., Трусков П.А., Лиферов П.А. Воздействие ледовых образований на подводные объекты. М.: Рус. книга, 2007. 196 с.
3. Дзюбло А.Д., Воронова В.В., Перекрестов В.Е. Исследование приповерхностного газа шельфа о. Сахалин и минимизация рисков при строительстве морских скважин // Вестн. Ассоц. буровых подрядчиков. 2019. № 3. С. 20–25.

4. Либина Н.В., Никифоров С.Л. Экзарационные явления на восточном арктическом шельфе России // Вестн. МГТУ. 2018. Т. 21, № 1. С. 139–149.
5. Мазнев С.В., Огородов С.А. Воздействие ледяных образований на берега и дно мелководных морей и крупных озер умеренных и субарктических широт // Лед и снег. 2020. Т. 60, № 4. С. 578–591.
6. Миронюк С.Г. Геологические опасности осваиваемых месторождений восточного шельфа о. Сахалин: идентификация и принципы картографирования // Вести газовой науки. 2015. № 2 (22). С. 113–117.
7. Наумов М.А. Параметрический анализ воздействия ледовой экзарации на заглубленный трубопровод // Вести газовой науки. 2013. № 3 (14). С. 141–149.
8. Непоменко Л.Ф., Попова Н.В. Исследование экзарации морского дна торосистым льдом методами эхолотии и промеров со льда // Астрахан. вестн. экол. образования. 2018. № 4 (46). С. 35–49.
9. Новиков А.А. Специфика проведения комплексных морских инженерных изысканий и оценка опасностей геологических процессов под объекты подводного добычного комплекса шельфовых месторождений Кириинского блока о. Сахалин // Газовая пром-сть. 2018. № 9 (774). С. 42–48.
10. Огородов С.А., Носков А.И., Белова Н.Г., Кокин О.В., Марченко А.В. Воздействие морских льдов на берега, дно и инженерные сооружения в прибрежно-шельфовой зоне российской Арктики // Естеств. и техн. науки. 2010. № 5 (48). С. 344–348.
11. Поломошнов А.М., Якунин Л.П. Формирование стамух в условиях северного Сахалина // Тр. ДВНИГМИ. 1989. Вып. 39. С. 41–49.
12. Пищальник В.М., Покрашенко С.А., Леонов А.В., Гальцев А.А. Особенности развития ледяного покрова Охотского моря в 2001–2006 гг. // Экологические аспекты освоения нефтегазовых месторождений. Владивосток: Дальнаука, 2009. С. 185–197. (Сб. статей РЭА; № 1).
13. Gazis N., Kougioumtzoglou I.A., Patelli E. Ice gouge depth determination via an efficient stochastic dynamics technique // J. Offshore Mech. Arct. Eng. 2017. Vol. 139, N 1. 011501.
14. Liferov P., Shkhinek K.N., Vitali L., Serre N. Ice gouging study – Actions and action effects // POAC '07: Proc. 19th Intern. Conf. on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions. Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions (POAC), 2007. P. 774–786.
15. Palmer A., Niedoroda A.W. Ice Gouging and Pipelines: Unresolved Questions // POAC '05: Proc. 18th Intern. Conf. on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions. Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions (POAC), 2005. P. 11–21.

В.В. МОРОЗ, Т.А. ШАТИЛИНА, Н.И. РУДЫХ

Формирование аномальных термических режимов в северной части Татарского пролива и Амурском лимане под воздействием атмосферных процессов

На основе многолетних данных за период 1977–2017 гг. изучены особенности изменчивости термических условий в летний период в системе Татарский пролив – Амурский лиман в зависимости от атмосферной циркуляции. Выявлены экстремальные флуктуации термического режима акватории в отдельные годы. Показаны различия в механизмах формирования теплых и холодных режимов. Установлено, что формирование аномально холодных термических режимов обусловлено влиянием тропосферной ложбины и охотского антициклона, южным положением летней дальневосточной депрессии. Аномально теплые режимы района формируются при отсутствии тропосферной ложбины, смещении на север летней дальневосточной депрессии, усилении влияния гребня гавайского антициклона.

Ключевые слова: Татарский пролив, Амурский лиман, экстремальные термические режимы, атмосферная циркуляция.

The abnormally thermal regime forming in the North part of the Tatar Strait and Amur Liman under the influence of atmosphere processes. V.V. MOROZ (V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute, FEB RAS, Vladivostok), T.A. SHATILINA (Pacific Research and Fisheries Centre (TINRO-Centre), Vladivostok), N.I. RUDYKH (V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute, FEB RAS, Vladivostok).

On the base of summary of the 1977–2017 multi-year observations the temperature conditions variability in the Tatar Strait and Amur Liman system as related to atmospheric circulation were studied. The extreme fluctuations of summer temperature regimes in any years were revealed. The differences in forming mechanism of the cold and warm regimes were shown. It was found, that High Depression, Okhotsk High impact and Far East Depression southern displace caused abnormally cold thermal regime forming. Extreme warm regimes of the area are conditioned by lack of the tropospheric depression over the Okhotsk Sea, by Far East Depression northern displace and by increase influence of the Hawaiian anticyclone ridge.

Key words: Tatar Strait, Amur Liman, extreme thermal regimes, atmospheric circulation.

Введение

Татарский пролив и Амурский лиман – весьма динамически активная система, соединяющая Японское и Охотское моря. Исследуемый район – это протяженная по

*МОРОЗ Валентина Васильевна – кандидат географических наук, старший научный сотрудник (Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичёва ДВО РАН, Владивосток), ШАТИЛИНА Татьяна Александровна – кандидат географических наук, старший научный сотрудник (Тихоокеанский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии – ТИНРО, Владивосток), РУДЫХ Наталья Ивановна – кандидат географических наук, старший научный сотрудник (Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичёва ДВО РАН, Владивосток). *E-mail: moroz@poi.dvo.ru

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме АААА-А17-117030110042-2.

долготе (от 48° с.ш. до 53°30' с.ш.) и узкая по широте (от 2° на юге до 1° на севере) акватория между побережьем Азии и западным берегом о-ва Сахалин со сложными гидрологическими условиями [9]. Вместе с тем этот район характеризуется высокой биологической продуктивностью и является одним из экономически важных промысловых районов России. Основным и одним из наиболее ценных промысловых объектов здесь считаются лососевые. Их жизненный цикл определяется таким важным фактором, как термический режим. Аномально низкие температуры в устье реки могут привести к гибели молоди при ее скате в море, а экстремально высокий температурный фон у побережья района может стать препятствием для миграции и нереста лососей [14]. В связи с этим особое значение имеет выявление причинно-следственных связей, определяющих формирование аномальных термических условий акватории.

Гидрологические условия исследуемого района формируются комплексом факторов, включающих изменчивость циркуляции вод в проливе и лимане, водообмен между ними, а также приливо-отливные процессы и сгонно-нагонные явления при сложной орографии на фоне муссонного характера атмосферной циркуляции. При этом, как известно, воздействие атмосферы является основным фактором, определяющим циркуляцию верхнего деятельного слоя океана, сезонные и межгодовые вариации его структуры [7]. Особенности атмосферных процессов над Дальневосточным регионом еще с 50-х годов прошлого столетия связывались с региональными центрами действия атмосферы – охотским антициклоном и летней дальневосточной депрессией. Было высказано предположение об определяющем влиянии изменчивости их интенсивности развития на формирование летних гидрометеорологических условий [4, 5]. Современные исследования роли региональных центров действия атмосферы в формировании особенностей термического режима вод некоторых промысловых районов Охотского и Японского морей, северо-западной части Тихого океана [11, 17] позволили выдвинуть предположение о различиях в изменчивости барических полей в годы аномальных термических условий.

Между тем вопрос о влиянии региональных особенностей изменений структуры атмосферных полей и их роли при формировании аномальных термических режимов в исследуемом районе остается открытым. Цель настоящего исследования – выявить причинно-следственные связи данных процессов, определить механизмы влияния изменчивости барических ситуаций на формирование аномальных термических режимов Татарского пролива и Амурского лимана с учетом особенностей гидрологических условий района.

Материалы и методы

Для исследования межгодовой изменчивости термических условий района использовались среднемесячные значения температуры воды за сорокалетний период (1977–2017 гг.) по данным наблюдений на гидрометеорологических станциях (ГМС) Росгидромета из электронных баз данных ЕСИМО (<http://portal.esimo.ru/portal/>) и ВНИИГМИ-МЦД (<http://meteo.ru>).

Анализ атмосферной циркуляции проводился над центральными областями второго естественного синоптического района. Использовались данные архивов реанализа NCEP/NCAR атмосферного давления P_0 , температуры воздуха T_a и геопотенциала H_{500} в узлах регулярной сетки $2,5 \times 2,5^\circ$ за период 1977–2017 гг. Ежедневный анализ барических полей основывался на картах приземного давления и геопотенциала H_{500} за 2000–2017 гг., составляемых JMA (Japan Meteorological Agency).

Исследование особенностей формирования температурного фона акватории проводилось в промысловый период (июль–август) в северной части Татарского пролива (севернее 48° с.ш.) и Амурском лимане.

Межгодовая изменчивость термических условий в каждом из районов оценивалась по данным ГМС с помощью кластерного анализа методом К-средних, позволяющего

выделить однородные по режиму группы лет и определить годы с экстремальными термическими режимами вод.

Результаты и обсуждение

Формирование и изменчивость термических режимов

В формировании температурного режима акватории Татарского пролива и Амурского лимана значительную роль играют динамические факторы на фоне морфометрических особенностей каждого из подрайонов.

Амурский лиман. Обширный Амурский лиман с юга сообщается с акваторией Татарского пролива через прол. Невельского, а с севера через Сахалинский залив – с Охотским морем (рис. 1). Большая часть Амурского лимана мелководна (средние глубины 3,0–4,5 м). Максимальные глубины составляют около 20 м на фарватерах лимана [9].

В западную часть Амурского лимана впадает р. Амур. Многолетняя динамика температуры воды в лимане и прол. Невельского оценивалась по данным наблюдений на ГМС Пронге и Лазарев (рис. 1).

ГМС Пронге находится на южном берегу устья реки. Согласно данным наблюдений, температура поступающих в лиман речных вод в июле–августе отличается наиболее высокими значениями на исследуемой акватории (табл. 1). Термическое состояние акватории в устье Амура определяется прогревом вод обширной зоны его водосбора. Эти воды оказывают отепляющее влияние на температурный фон лимана благодаря особенностям циркуляции. В теплый период года имеет место практически равное поступление стока вод Амура на юг и север лимана [18]. Наличие порога глубины менее 10 м в прол. Невельского препятствует проникновению в прилегающую акваторию Татарского пролива значительной части южного стока речных вод. Основная часть вод уходит в Сахалинский залив Охотского моря с направленным на север вдоль берега о-ва Сахалин течением, формирующимся преобладающими южными муссонными ветрами [15]. Вместе с тем сток в устье реки (водность) год от года в летний сезон может отличаться в несколько десятков раз [6, 10], что соответственно влияет на динамику вод и определяет температурные условия в лимане.

ГМС Лазарев находится на материковом берегу прол. Невельского. Прол. Невельского – зона неустановившихся течений [13]. Водообмен через пролив определяется рядом локальных факторов: изменчивостью направления ветров, приливо-отливными течениями, циркуляцией вод прилегающих акваторий. Наряду с преобладающим

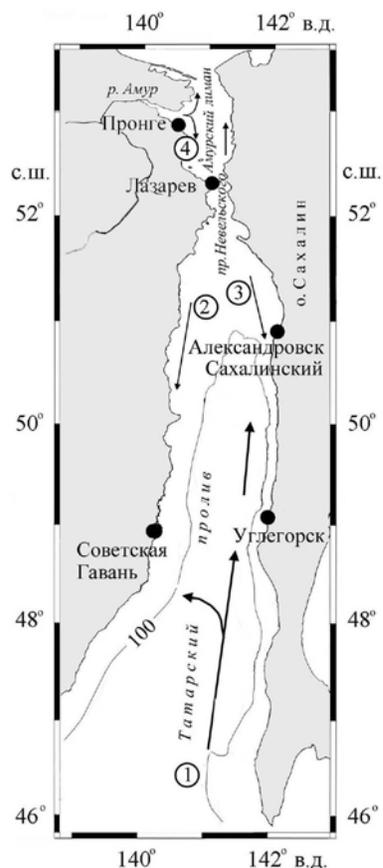


Рис. 1. Район исследований, положение ГМС, схема циркуляции вод. 1 – Цусимское течение, 2 – течение Шренка, 3 – Сахалинское течение, 4 – циркуляция вод в Амурском лимане

Таблица 1
Среднеголетние значения температуры (°С) воды по данным ГМС за 1977–2017 гг.

ГМС	Июль	Август
Пронге	19,4	19,5
Лазарев	16,7	17,8
Александровск-Сахалинский	14,9	16,9
Углегорск	15,3	17,6
Советская Гавань	13,3	15,5

переносом вод из Татарского пролива в лиман в прол. Невельского в отдельные годы был зафиксирован в июле–августе разнонаправленный перенос вод – как в северном, так и в южном направлениях [8]. Высокая динамическая активность в проливе влияет на формирование температурного фона и определяет межгодовую изменчивость термического режима.

Татарский пролив. В изменчивости термического режима акватории в Татарском проливе, как и в Амурском лимане, важную роль играет динамика вод. В крайней северной мелководной части пролива термические условия в летний период определяются разнонаправленными круговоротами [13]. Формирование антициклональной циркуляции здесь связано с поступлением в Татарский пролив вод из лимана при увеличенном стоке Амура [1]. В период максимального летнего прогрева (июль–август) температура воды в лимане выше, чем в северной части Татарского пролива на 2–4 °С. В случае поступления вод из лимана в северную часть пролива здесь повышается температурный фон. Циркуляция вод в этой части пролива, согласно преобладающим муссонным ветрам, преимущественно представляет собой циклонический круговорот, обуславливающий подъем холодных вод и понижение температуры акватории. Вдоль материкового берега здесь наблюдается направленное на юг течение Шренка. Это течение в значительной мере влияет на температурный режим вод у ГМС Советская Гавань, находящейся на материковом побережье. Южнее эти воды определяют характеристики вод Приморского течения. Воды акватории Татарского пролива в теплый период года формируются также морскими водами северной части Японского моря, когда с юга в пролив поступает теплое Цусимское течение. В отдельные годы течение достигает северной части пролива, доходя до ГМС Углегорск (около 49° с.ш.) и даже до ГМС Александровск-Сахалинский (51° с.ш.) [2], что приводит к повышению температуры вод в акватории.

Изменчивость развития составляющих системы циркуляции вод в Татарском проливе и стока р. Амур в лимане в значительной степени определяет поступление в летний период тепла и холода по акватории района и тем самым влияет на многолетний ход изменений температурного режима. О значительных флуктуациях межгодовой изменчивости термических условий на акватории свидетельствует многолетняя динамика температурных аномалий поверхностных прибрежных вод (рис. 2).

Следует отметить хорошую сопряженность изменчивости аномалий температуры воды в Амурском лимане на ГМС Пронге и Лазарев, в районе Татарского пролива – на ГМС Александровск-Сахалинский и Углегорск. При этом в Татарском проливе амплитуды межгодовой изменчивости температуры воды больше, чем в лимане, что, очевидно, связано с изменчивостью распространения Цусимского течения в проливе. Есть некоторые различия в ходе аномалий на ГМС Советская Гавань в отдельные годы. Здесь температурный фон может корректироваться влиянием холодного течения Шренка и формированием прибрежного апвеллинга [3, 13].

Оценка межгодовой изменчивости термического режима на ГМС в Татарском проливе и Амурском лимане за сорокалетний период (1977–2017 гг.), проведенная с помощью кластерного анализа методом К-средних, позволила выделить однородные по термическому режиму группы лет (близкие к норме – с аномалиями по абсолютной величине менее 1,0 °С, с холодным или теплым режимом – с аномалиями в 1,0–1,5 °С, с аномальными термическими режимами – с отклонениями по абсолютной величине более чем на 1,5 °С). Наиболее важный результат классификации – определение экстремально холодных и теплых по термическому режиму лет (табл. 2).

Экстремальность термического режима в отдельные годы отмечается на акватории всего исследуемого района. В июле аномально холодными как в лимане, так и в проливе были 1992, 1997, 2001 гг., в августе – 1981, 1992, 2002, 2003 годы. Июль аномально теплым на всей акватории был в 1988, 1990, 2013 гг., август – в 1989, 2000, 2006, 2011, 2013 гг.

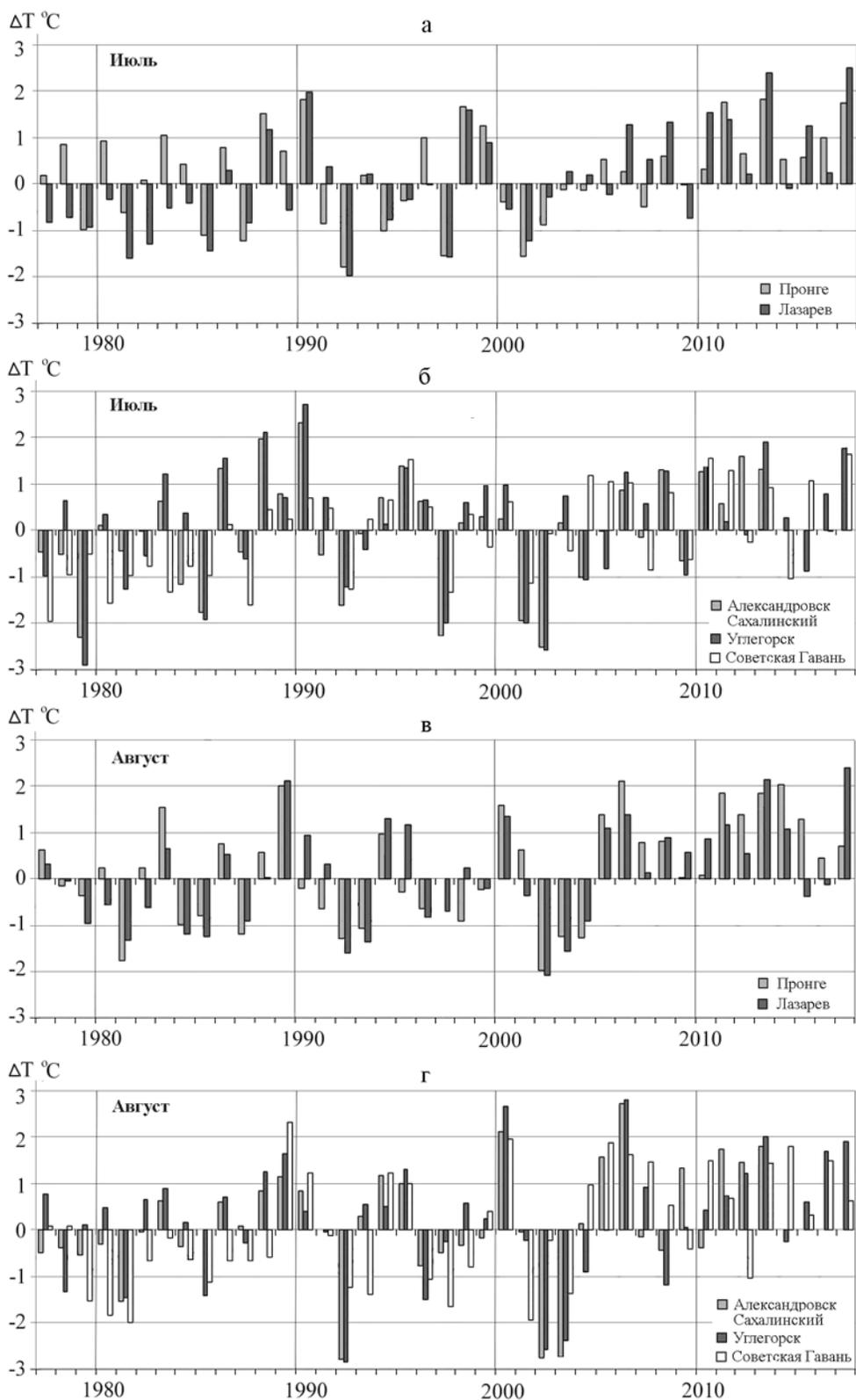


Рис. 2. Межгодовая изменчивость аномалий температуры воды на ГМС в Амурском лимане (а, в) и Татарском проливе (б, г)

Экстремальные термические режимы в Татарском проливе и Амурском лимане в 1977–2017 гг.

Районы	Годы с холодным режимом	Годы с теплым режимом
Июль		
Амурский лиман	1981, 1992, 1997, 2001	1988, 1990, 1998, 2011, 2013, 2017
Татарский пролив	1979, 1985, 1992, 1997, 2001, 2002	1986, 1988, 1990, 1995, 2013
Август		
Амурский лиман	1981, 1992, 2002, 2003	1989, 2000, 2006, 2011, 2013, 2014
Татарский пролив	1981, 1992, 2002, 2003	1989, 2000, 2006, 2011, 2013, 2016

Факт совпадения в отдельные годы положительного или отрицательного знака термического режима на всей акватории (в лимане и проливе) на протяжении месяца и более может свидетельствовать о значительном влиянии на формирование термического режима единых процессов, а именно особенностей атмосферной циркуляции региона. Поскольку изменчивость атмосферной циркуляции определяется приземными ветровыми условиями, интенсивностью и направлением переноса воздушных масс, что в свою очередь влияет на перераспределение потоков тепла, состояние и гидродинамику подстилающей морской поверхности [7], нами изучены механизмы воздействия региональных атмосферных процессов на формирование аномальных термических режимов в данном районе.

Изменчивость региональных атмосферных процессов

Находясь на границе материка и океана, исследуемый район испытывает влияние атмосферной циркуляции как над дальневосточной азиатской частью материка, так и над северной тихоокеанской акваторией и дальневосточными морями. Взаимодействие воздушных масс материка и океана здесь определяется дальневосточным муссоном.

Как известно, летний дальневосточный муссон (период действия май–сентябрь) имеет две стадии развития [16]. Для первой стадии (май–июнь, начало июля) характерно формирование над материком (северо-восток Китая, бассейн р. Амур и Монголия) квазистационарной области низкого давления – летней дальневосточной депрессии (ЛДД), а над Охотским морем – локальной области приземного высокого давления – охотского антициклона (ОА) [4, 5]. ЛДД – результат преобладания над Азиатским материком полярно-фронтовых циклонов. Локализация ЛДД над Приамурьем в случае прохождения мощных циклонов с большим количеством осадков может вызывать быстрый подъем уровня воды на Амуре (паводок 2013 г.) и увеличение его стока в лимане [1, 10]. Траектории проходящих циклонов в значительной степени корректируются положением и интенсивностью развития ОА, который блокирует движение западных циклонов к Охотскому морю, направляя их на восток. Блокирующая роль ОА также проявляется при прохождении через северную часть Японского моря глубоких южных циклонов (тайфунов) с сильными ветрами. Изменение траектории южного циклона на восток под влиянием ОА влечет смену направления установившихся ветров, что приводит в свою очередь к резким изменениям циркуляции вод и аномальному похолоданию вод у западного побережья о-ва Сахалин [12].

Вторая стадия развития дальневосточного муссона (июль–сентябрь) характеризуется ослаблением ОА, увеличением интенсивности развития северотихоокеанского максимума (гавайского антициклона – ГА) и смещением его к западу [16, 19]. Вместе с тем в отдельные годы влияние ОА наблюдается в течение всего июля. В этом случае переход ко второй стадии муссона сдвигается, характерный для летнего муссона интенсивный вынос теплого воздуха на Охотское и Японское моря устанавливается лишь в августе. В связи с этим особый интерес представляет изменчивость атмосферного давления в области ОА и ЛДД в июле (рис. 3).

Ход межгодовой изменчивости аномалий приземного давления в указанных центрах действия атмосферы свидетельствует о значительных флуктуациях. Выделяются годы

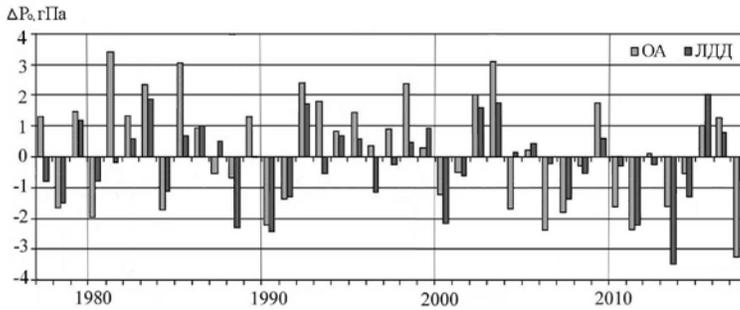


Рис. 3. Межгодовая изменчивость аномалий приземного давления в области охотского антициклона (ОА) и летней дальневосточной депрессии (ЛДД) в июле

активного развития ОА – 1981, 1985, 1992, 2003, годы его наименьшего развития – 1990, 2006, 2011, 2017, годы углубления ЛДД – 1988, 1990, 2000, 2011, 2013, годы ослабления ЛДД – 1983, 1992, 2002, 2003, 2015.

Совместный анализ межгодовой изменчивости интенсивности развития ОА и ЛДД свидетельствует о том, что в исследуемом районе в годы активного развития ОА могут формироваться аномально холодные термические режимы, а в годы его ослабления и углубления ЛДД – аномально теплые режимы. Вместе с тем в отдельные годы эта связь неоднозначна. Формирование знака аномального температурного режима рассматриваемого района определяется не только интенсивностью развития данных центров действия атмосферы в приземных полях (это может быть причиной затруднений в прогнозировании экстремальных термических режимов вод). Важную роль играют структура высотных полей и изменчивость положения этих атмосферных барических образований.

Механизмы влияния региональной атмосферной циркуляции на формирование аномальных термических режимов вод

Анализ барических ситуаций в годы аномальных холодных и теплых термических условий на акватории исследуемого района показал различия в приземных и высотных полях.

Как отмечалось выше, формирование аномально холодных термических режимов, как правило, связано с активным развитием ОА в приземном поле над Охотским морем (рис. 3). При развитии ОА в высотных полях в средней тропосфере наблюдается холодная ложбина, отмечаемая на картах абсолютной топографии изобарической поверхности 500 мб (AT_{500}), с которой связан вынос с севера полярных холодных воздушных масс (рис. 4, а, б). От положения тропосферной ложбины и приземного антициклона зависит направление этого переноса. При ориентации ложбины на Охотское море и север Японского моря тропосферная циркуляция способствует выносу при нисходящих потоках по периферии приземного антициклона холодных арктических масс воздуха, скапливающихся в очаге экстремально низких значений геопотенциала H_{500} . В случае локализации ОА в северо-западной части Охотского моря вынос происходит в направлении исследуемого района, что способствует понижению здесь температурного фона подстилающей поверхности и приводит к формированию аномально холодного термического режима акватории. При этом под направленным воздействием атмосферных процессов может меняться циркуляция вод. Преобладание восточных ветров ослабляет приток теплых вод Цусимского течения в северную часть Татарского пролива, препятствуя повышению здесь температурного фона. Так, в аномально холодном 1985 г., когда имело место интенсивное развитие ОА, согласно инструментальным наблюдениям, отмечалось ослабление притока теплых вод с Цусимским течением: оно проникало лишь до 48° с.ш., а расходы воды через

сечение разреза по 46° с.ш. составляли лишь около 0,03 Св [2]. При пониженной интенсивности течения температурные аномалии вод в Татарском проливе достигали -2°C (рис. 2). Вместе с тем аномально холодный режим на исследуемой акватории формируется также при ослаблении или отсутствии ОА, но при расположении ЛДД южнее своего среднемноголетнего положения (рис. 4, в, з). В этом случае смещающиеся через ее ложбину циклоны выносят на акваторию исследуемого района в тыловой части холодные воздушные массы, способствуя формированию низкого температурного фона в акватории.

Для экстремально теплых термических режимов характерны отсутствие высотных холодных депрессий над Охотским морем, усиление влияния ГА и развитие ЛДД (рис. 4, д, е). Субтропический теплый воздух выносится по периферии гребня гавайского антициклона, в вершине которого наблюдаются очаги повышения геопотенциала H_{500} , приземной температуры воздуха и прослеживаются очаги наибольших значений аномалий температуры воды. При такой структуре атмосферных полей, когда создаются условия формирования

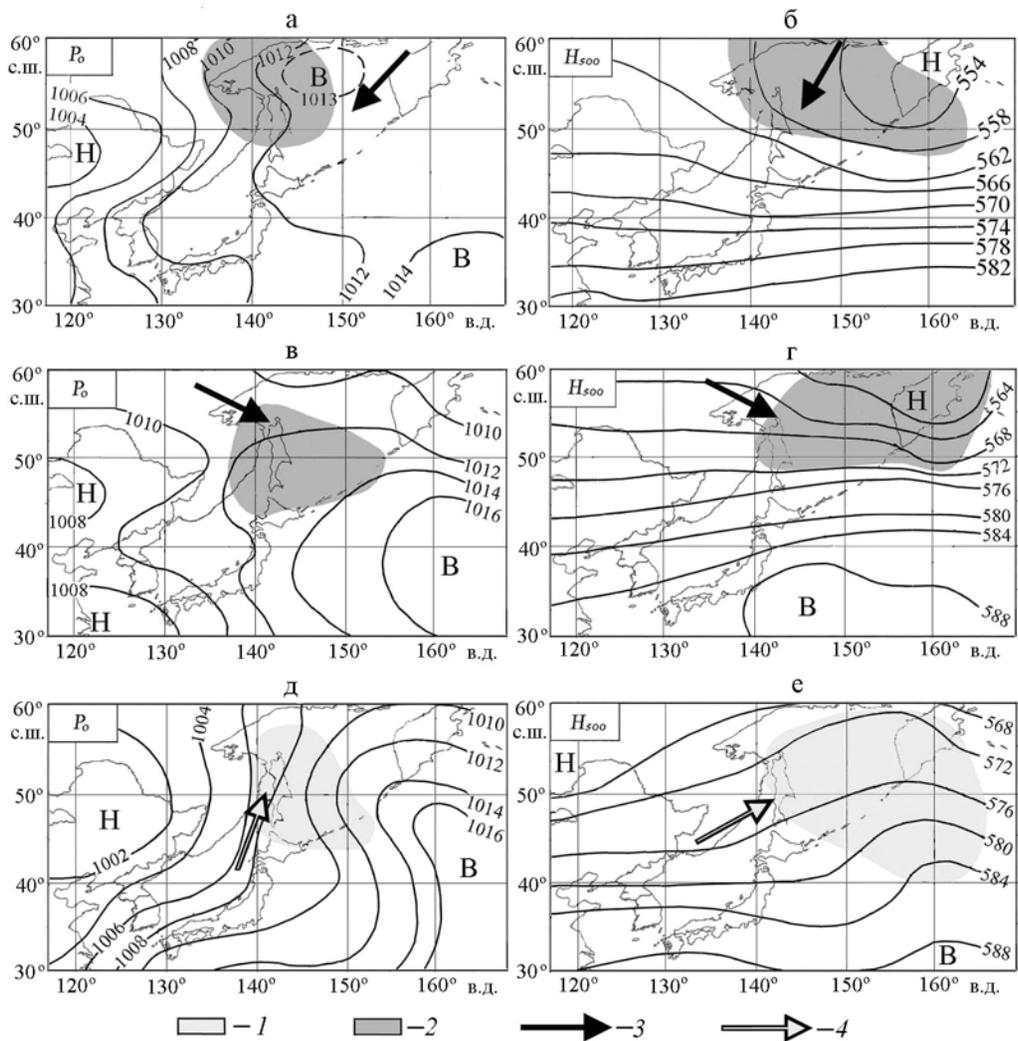


Рис. 4. Характерные структуры поля приземного давления P_0 (а, в, д) и геопотенциала H_{500} (б, з, е) в аномальные по термическим режимам годы. 1 – очаги положительных аномалий температуры воздуха и геопотенциала H_{500} , 2 – отрицательные аномалии температуры воздуха и геопотенциала H_{500} , Н – низкое давление, В – высокое давление. Стрелками показано перемещение холодных (3) и теплых (4) воздушных масс

аномально теплых термических режимов и когда имеет место усиление южных ветров, интенсивность Цусимского течения повышена. Так, в аномально теплом по термическому режиму 1990 г., согласно данным инструментальных наблюдений, ветвь Цусимского течения проникала до крайней северной части Татарского пролива – до $51^{\circ}30'$ с.ш., а расход воды через сечение разреза по 46° с.ш. при положительном балансе (приток превышал сток) составлял 0,68 Св [2]. Положительные аномалии температуры воды на ГМС Углегорск летом 1990 г. составили более $+2,5^{\circ}\text{C}$ (рис. 2). Механизмы формирования экстремально теплых термических режимов связаны также с изменениями локализации ЛДД. При положении ЛДД севернее ее среднемноголетней позиции смещающиеся вдоль ложбины континентальные циклоны в передней части выносят теплый воздух на исследуемую акваторию, происходит усиление западного переноса воздушных масс. Над исследуемым районом и западной частью Охотского моря при этом формируется очаг повышенных значений геопотенциала H_{500} , где отмечается область теплых воздушных масс и положительные аномалии температуры воды.

Таким образом, аномальные термические условия в исследуемом районе формируются в результате аномальной циркуляции – экстремальных колебаний интенсивности развития и изменений локализации региональных центров действия атмосферы. При этом хорошим индикатором различий в атмосферной циркуляции при экстремальных термических режимах являются барические структуры поля AT_{500} средней тропосферы, которые отличаются локализацией очагов повышения или понижения высот геопотенциала H_{500} .

Заключение

Проведенное комплексное исследование особенностей межгодовой изменчивости формирования термических условий в промысловый период (июль–август) на акватории системы Амурский лиман – северная часть Татарского пролива с учетом гидрологических условий района и атмосферных процессов позволило выявить возможные причинно-следственные связи формирования аномальных термических режимов вод. Подтверждено выдвинутое нами ранее предположение о различиях в изменчивости структуры барических полей в годы формирования аномальных термических условий. Определены механизмы формирования аномальных холодных и теплых термических режимов.

Показано, что в годы активного развития охотского антициклона могут формироваться в исследуемом районе аномально холодные термические режимы, а в годы его ослабления и углубления летней дальневосточной депрессии – аномально теплые режимы. Однако выявленная связь не однозначна: формирование знака аномального температурного режима определяется не только интенсивностью развития региональных центров действия атмосферы. Важную роль играет изменчивость положения этих атмосферных барических образований.

Результаты исследования могут быть использованы в разработке региональных прогностических моделей формирования аномальных гидрологических условий, а также для решения проблем рыбного промысла.

ЛИТЕРАТУРА

1. Андреев А.Г. Влияние стока реки Амур и прибрежного апвеллинга на циркуляцию вод в Татарском проливе (Японское море) // Вестн. ДВО РАН. 2020. № 1. С. 120–126. DOI: 10.25808/08697698.2020.209.1.013.
2. Дьяков Б.С. Межгодовая изменчивость циркуляции вод в Татарском проливе в летнее время // Изв. ТИНРО. 2006. Т. 144. С. 281–299.
3. Жабин И.А., Дмитриева Е.В., Кильматов Т.Р., Андреев А.Г. Влияние ветровых условий на изменчивость апвеллинга у побережья Приморья (северо-западная часть Японского моря) // Метеорол. и гидрология. 2017. № 3. С. 58–67.
4. Ильинский О.К. Дальневосточная депрессия // Тр. ДВНИГМИ. 1965. Вып. 11. С. 3–53.

5. Ильинский О.К. Охотский антициклон // Тр. ДВНИГМИ. 1959. Вып. 7. С. 10–32.
6. Козловский В.Б. Некоторые особенности динамики вод устьевой области Амура // Тр. ГОИН. 1978. Вып. 152. С. 93–99.
7. Корт В.Г. О крупномасштабном взаимодействии океана и атмосферы // Океанология. 1970. Т. 10, вып. 2. С. 222–240.
8. Лобанова Н.И. Общая характеристика зоны смешения устьевой области Амура // Тр. ДВНИИ. 1987. Вып. 130. С. 33–44.
9. Лочия Татарского пролива, Амурского лимана и пролива Лаперуза. СПб.: ГУНиО МО РФ, 2003. 436 с.
10. Мещенина Л.А., Новороцкий П.В., Пономарев В.И. Климатические изменения и колебания стока Амура // Вестн. ДВО РАН. 2007. № 4. С. 44–54.
11. Мороз В.В., Шатилина Т.А. Влияние атмосферных процессов на формирование экстремальных гидрологических условий в южной части Охотского моря и прилегающих акваториях в летний период // Метеорол. и гидрология. 2020. № 9. С. 78–89.
12. Мороз В.В., Шатилина Т.А. Особенности изменчивости океанологических условий северо-восточной части Японского моря в летний период // Регион. проблемы. 2018. Т. 21, № 1. С. 31–36.
13. Пищальник В.М., Архипкин В.С., Леонов А.В. О циркуляции вод в Татарском проливе // Водные ресурсы. 2010. Т. 37, № 6. С. 657–670.
14. Рослый Ю.С. Динамика популяций и воспроизводство тихоокеанских лососей в бассейне Амура. Хабаровск: Кн. изд-во, 2002. 212 с.
15. Ростов И.Д., Жабин И.А. Гидрологические особенности приустьевой области р. Амур // Метеорол. и гидрология. 1991. № 7. С. 94–99.
16. Сорочан О.Г. Некоторые соображения о природе летнего муссона восточной Азии // Тр. ГГО. 1957. Вып. 71. С. 184–208.
17. Шатилина Т.А., Цициашвили Г.Ш., Радченкова Т.В. Особенности изменчивости летних центров действия атмосферы над Дальним Востоком и климатические экстремумы в период 1980–2017 гг. // Уч. зап. РГМУ. 2019. № 56. С. 61–80. DOI: 10.33933/2074-2762-2019-56-61-80.
18. Якунин Л.П. Распределение речного стока по фарватерам устья Амура // Тр. ДВНИГМИ. 1978. Вып. 71. С. 162–166.
19. Jiang X., Li Y., Yang S., Wu R. Interannual and interdecadal variations of the South Asian and western Pacific summer climate // Meteorol. Atmos. Phys. 2011. Vol. 113, N 3/4. P. 171–180.

А.Г. ЧЕРНОБРОВИНА, Н.Е. КУЛИКОВА, Н.Н. РОЕВА, О.Ю. ПОПОВА

Влияние предварительной обработки ягод красной смородины на выход фитоингредиентов и комплексообразующие свойства сока

С целью максимальной модификации полимеров ягодного сырья, увеличения выхода экстрактивных веществ, обогащения соковой фракции ягод красной смородины ценными фитоконпонентами, обладающими антиоксидантными и антиканцерогенными свойствами, были применены современные биотехнологические приемы обработки ягод. Для этого использовали биокатализаторы в составе мультэнзимной композиции на основе ферментных препаратов пектолитического и целлюлолитического действия (*Fructocim-Color* и *Ксибитен-Цел*).

Полученные результаты свидетельствуют, что проведение ферментативной обработки ягод красной смородины с применением мультэнзимной композиции способствует переводу в сок значительной части ценных ингредиентов ягод: установлено увеличение выхода в сок пектина в 1,6 раза, биоактивных полифенольных соединений – в 2 раза, антоцианов и катехинов – в 1,2 раза, витамина С – в 1,3 раза. Кроме того, получены данные по содержанию в ферментативном гидролизате смородины органических кислот-комплексообразователей (лимонной 18,92 г/л и яблочной 8,22 г/л), а также микро- и макроэлементов, в том числе кальция (166 мг/л).

Полученные данные о химическом составе ферментативного гидролизата ягод красной смородины убедительно демонстрируют редкое сочетание природных ингредиентов, обладающих способностью связывать и выводить из организма «тяжелые» металлы и радионуклиды. В связи с этим исследовали комплексообразующую способность ферментативного гидролизата ягод красной смородины (на примере свинца), которую определяли по разности содержания свинца, внесенного в гидролизат и обнаруженного после инкубации. После этого снимали вольтамперные кривые ферментативного гидролизата ягод красной смородины. Полученные экспериментальные данные свидетельствуют о высокой комплексообразующей способности ферментативного гидролизата ягод красной смородины, который способен связывать $17,00 \pm 3,4$ % от общего количества свинца, внесенного в пробу.

Ключевые слова: токсичные вещества, детоксирующие свойства, соединения полифенольной природы, вольтамперные кривые.

The influence of red currant berries pretreatment on phytoingredients extraction and juice complexing properties. A.G. CHERNOBROVINA, N.E. KULIKOVA, N.N. ROEVA, O.Yu. POPOVA (Moscow State University of Food Production, Moscow).

*In order to maximize the modification of polymers of berry raw materials, increase the yield of extractive substances and enrich the juice fraction of red currant berries with valuable phytocomponents with antioxidant and anti-carcinogenic properties, modern biotechnological methods of processing berries were used. For this purpose, biocatalysts were used in the multienzymatic composition, based on pectolytic and cellulolytic AF (*Fructocim-Color* and *Xybitene-Cele*) action.*

ЧЕРНОБРОВИНА Антонина Григорьевна – кандидат технических наук, доцент, КУЛИКОВА Наталья Евгеньевна – кандидат технических наук, доцент, РОЕВА Наталья Николаевна – доктор химических наук, профессор, заведующая кафедрой, ПОПОВА Ольга Юрьевна – преподаватель (Московский государственный университет пищевых производств, Москва). E-mail: ag_61@list.ru

The results obtained indicate that the enzymatic processing of red currant berries with the use of multienzymatic composition contributes to the transfer of a significant part of the valuable ingredients of berries to the juice. Studies have shown an increase in the yield of pectin – 1.6 times bioactive polyphenolic compounds – 2 times, anthocyanins and catechins – 1.2 times, vitamin C – 1.3 times. In addition, data were obtained on the content of organic acids in FGS (citric 18.92 g/l and malic 8.22 g/l), as well as micro – and macronutrients, including calcium (166 mg/l).

The data obtained from the study of the chemical composition of the enzymatic hydrolysate of red currant berries convincingly demonstrate a rare combination of natural ingredients that have the ability to bind and remove heavy metals and radionuclides from the body. In this regard, the complexing ability of the enzymatic hydrolysate of red currant berries (for example, lead) was studied, which was determined by the difference of lead content introduced into the hydrolysate and detected after incubation. After that, the current-voltage curves of the enzymatic hydrolysate of red currant berries were removed. The experimental data obtained indicate a high complexing ability of the enzymatic hydrolysate of red currant berries. It was found that the enzymatic hydrolysate of red currant is able to bind $17.00 \pm 3.4\%$ of the total amount of lead introduced into the sample.

Key words: toxic substances, detoxifying properties, compounds of polyphenolic nature, current-voltage curves.

Введение

Разработка и внедрение новых технологических решений, способствующих получению высококачественных натуральных продуктов питания, – одна из первостепенных задач, стоящих перед производителями и исследователями в области переработки растительного сырья. Во многом успешному решению этих задач способствует биокатализ, основанный на действии препаратов микробного происхождения. Важным аспектом эффективного применения ферментных препаратов в пищевой технологии является минимизация потерь полезных для здоровья человека биологически активных веществ сырья, максимального использования его природного потенциала. В этом ключе ферменты рассматривают как инструмент, позволяющий тонко и направленно воздействовать на структурные компоненты растительной ткани, мягко извлекать и переводить в биодоступную форму вещества, обладающие биологической активностью, оказывающие благоприятное воздействие на определенные функции организма человека, ускоряющие процессы выздоровления и снижающие риск возникновения заболевания.

Одним из факторов интоксикации человеческого организма является накопление в окружающей среде тяжелых металлов (свинца, олова, кадмия и др.) в результате производственной деятельности человека [1–3]. Загрязнения из внешней среды довольно стабильны и имеют тенденцию к биоаккумуляции в пищевой цепи. Попадая в организм человека, они вызывают неблагоприятные последствия, тяжесть которых изменяется в широких пределах и зависит от длительности и степени воздействия. Поэтому в настоящее время значительно возрастает роль продуктов, обладающих способностью связывать, нейтрализовать и выводить из организма тяжелые металлы, радионуклиды и другие вредные соединения. В литературе приводится много данных о том, что именно с наличием растворимых пищевых волокон (растворимых пектиновых веществ) в продуктах питания ученые связывают проявление ими комплексообразующих и адсорбционных свойств по отношению к ионам тяжелых металлов и радионуклидов [2, 3, 5]. Имеются сведения о том [8], что флавоноиды функционируют как эффективные хелаторы, связывающие ионы переходных металлов, в том числе стимулирующие перекисные процессы, в силу чего эти соединения являются ингибиторами металлкатализируемого перекисного окисления липидов, белков и др. Путем хелатирования флавоноиды связывают и ионы токсичных металлов, способствуя элиминированию из организма [3, 5, 7, 8]. Немаловажное значение при этом отводится антоцианам, которые, по мнению ученых, способны образовывать хелатные соединения с ионами тяжелых металлов [2, 3]. Выявлена протекторная роль кальция в отношении свинцовой интоксикации [2, 7], а также радионуклидов, поэтому включение в рацион питания продуктов, обогащенных кальцием, препятствует проникновению свинца в организм и абсорбции радионуклидов в желудочно-кишечном тракте, способствует выведению их из организма, обеспечивая радиопротекторный эффект. Комплексы природных биологически активных соединений, взаимодополняя друг друга,

могут оказывать мощный взаимоусиливающий эффект и обуславливать полезные для здоровья человека свойства [8].

Цель исследований

Работа посвящена обоснованию роли ферментативной обработки ягод красной смородины при получении сока как фактора, способствующего более полному извлечению функциональных ингредиентов в соковую фракцию по сравнению с соком, полученным в тех же условиях, но без ферментативной обработки, и выявлению его комплексобразующих свойств (на примере свинца), т.е. способности связывать и выводить из организма *in vitro* «тяжелые» металлы.

Материалы и методы

Объект исследования – сок ягод красной смородины, полученный следующим образом: ягоды измельчали, готовили среднюю пробу, затем подвергали биотехнологической обработке смоделированной мультэнзимной композицией – МЭК (Fructocim-Color + Ламинекс-ВГ). Композиционный состав и концентрацию ферментных препаратов определяли экспериментально с использованием метода математического моделирования на основе равномер-ротатабельного планирования [9, 10].

Суммарное содержание фенольных соединений определяли модифицированным методом Фолина–Чокальтеу, антоцианиновых пигментов – методом дифференциальной спектрофотометрии [11]. Определение катехинов в исследуемых образцах проводили методом ОФ ВЭЖХ со спектрофотометрическим детектированием [11]. Редуцирующие сахара определяли ускоренным иодометрическим методом, основанным на определении количества окисленной меди до и после восстановления щелочного раствора меди сахаром¹. Комплексобразующую способность ферментолизата определяли методом переменноточковой полярографии, включенным в ГОСТ «Продукты пищевые и продовольственное сырье»².

Анализ содержания ионов кальция и магния проводили методом пламенной фотометрии на пламенном фотометре ФПА-2, при проведении анализа использовали эффективную длину волны для ионов Ca^{2+} – $\lambda = 621$ нм, для ионов Mg^{2+} – $\lambda = 285$ нм. Пламя воздушно-метиленовое с применением однощелевой горелки. Количественное содержание ионов определяли по градуировочному графику [6].

Результаты и обсуждение

С целью максимальной модификации полимеров ягодного сырья, увеличения выхода экстрактивных веществ, обогащения соковой фракции ягод красной смородины ценными фитоконпонентами, обладающими антиоксидантными и антиканцерогенными свойствами, были применены современные биотехнологические приемы обработки ягод. Для этого использовали биокатализаторы на основе ферментных препаратов (ФП) пектолитического и целлюлолитического действия – Fructocim-Color и Ксибитен-Цел соответственно. Анализ литературных данных свидетельствует, что для конверсии природного сырья, представляющего смесь нескольких субстратов различной природы, целесообразно использовать комплекс ферментных препаратов или МЭК, обладающих

¹ ГОСТ 26930-34. Определение тяжелых металлов; ГОСТ 33824-2016. Продукты пищевые и продовольственное сырье.

² ГОСТ 33824-2016. Продукты пищевые и продовольственное сырье. Инверсионно-вольтамперометрический метод определения содержания токсичных элементов (кадмия, свинца, меди и цинка).

пектинрасщепляющими, целлюлазными и гемицеллюлазными активностями [9, 10]. Поэтому для обработки ягод красной смородины смоделирован композиционный состав МЭК (мульти-энзимные композиции Fructocim-Color + **Ксибитен-Цел**). Время проведения гидролиза, дозировка ферментов в составе МЭК и другие оптимальные условия обработки ягод выбраны на основании проведенных исследований [9, 10].

Целесообразность применения МЭК была доказана на основании сравнительного анализа данных по изучению химического состава сока, полученного после проведения ферментативного гидролиза. Для сравнения исследовали состав сока, полученного из ягод красной смородины без применения ферментных препаратов (контроль). Данные исследований представлены в табл. 1.

Таблица 1

Химический состав сока и ферментативного гидролизата ягод красной смородины (ФГС)

Показатели	Сок ягод красной смородины (контроль)	ФГС
Полифенольные соединения, мг/л	750	1500
Сумма катехинов, мг/л, из них :	210,3	245,2
Эпигаллокатехин	33,6	46,9
Катехин	124,3	141,6
Эпикатехин	7,6	11,8
Эпигаллокатехингаллат	41,6	41,9
Галлокатехингаллат	0,8	1,1
Эпикатехингаллат	2,4	1,9
Антоцианы, мг/л		
в том числе относительное содержание, %:	197,6	235,6
Цианидин-3-килозил рутинозид	27,4	26,6
Цианидин-3-глокозилрутинозид	64,7	60,7
Цианидин-3-рутинозид	7,9	8,6
Цианидин-3-софорозид	–	4,2
Пектиновые вещества, %	0,83	1,4
Витамин С, мг/л	88	110
РВ в пересчете на глюкозу, г/ 100 мл	5,2	7,4

Полученные данные (табл. 1) свидетельствуют, что проведение ферментативной обработки ягод с применением МЭК способствует более полной и глубокой конверсии природного сырья, существенному повышению экстрактивной способности растительной ткани и переводу в сок значительной части ценных биологически активных ингредиентов ягод (полифенольных веществ, в том числе антоцианов и катехинов, пектина, витамина С), природных антиоксидантов, способных восстанавливать окисленные соединения и гасить свободные радикалы, связывать ионы токсичных «тяжелых» металлов.

Одним из общеизвестных функциональных ингредиентов, обладающих комплексообразующей способностью по отношению к токсичным металлам, является пектин, содержание которого в ферментированном соке в 1,6 раза больше, чем в соке, полученном без обработки ФП. Реакционная способность пектиновых веществ по отношению к ионам «тяжелых» металлов всесторонне изучена и определяется наличием в них карбоксильных и гидроксильных групп. Катионы двухвалентного свинца при взаимодействии с карбоксильными группами образуют соединения типа $H(COO)_2Me$ и с оксигруппами макромолекул – соли типа $R(COO)Me(OOCCN_3)$. Нерастворимые комплексы, которые образуются в результате такого взаимодействия, не всасываются в кишечнике и выводятся из организма. Аналогичный эффект могут оказывать присутствующие в ферментативном гидролизате полифенолы (содержание которых составляет 1500 мг/л, что в 2 раза превышает их содержание в соке без обработки (750 мг/л)) ввиду высокой способности пектинов к взаимодействию с этими компонентами с образованием комплексов. Кроме этого, были проведены исследования состава и содержания органических кислот-комплексообразователей

(лимонной и яблочной), содержание которых в ферментативном гидролизате из ягод красной смородины составляет 18,92 и 8,22 г/л соответственно. Известно, что лимонная кислота является регулятором кислотности, антиокислителем и активно влияет на связывание пектинами токсичных металлов.

Эта положительная динамика прослеживается и по группам флавоноидов – катехинов и антоцианов. Среди обнаруженных катехинов выявлено наибольшее содержание катехина (почти 60 %), эпигаллокатехина и эпигаллокатехинагаллата (более 17 %), небольшая доля (около 6 %) приходится на другие обнаруженные соединения в общем составе катехинов (эпикатехин, галлокатехингаллат, эпикатехингаллат).

В качестве структурных элементов антоцианов в соке, полученном из ягод красной смородины (без обработки ФП), а также в ферментированных соках (методом ВЭЖХ) установлены трисахариды, основным структурным компонентом которых является цианидин: (цианидин-3-глюкозил рутинозид, цианидин-3-ксилозил рутинозид). Антоцианы и антоцианидины способны взаимодействовать с солями свинца, олова и других металлов, давая характерные цветные осадки.

Именно физиологически функциональные компоненты, такие как полифенольные вещества, в том числе катехины и антоцианы, пектин и органические кислоты ферментированного сока из ягод красной смородины (ФГС), обуславливают антиканцерогенные свойства полученного продукта, который может быть использован в составе антирадионуклидных рационов. Немаловажное влияние на комплексообразующую способность могут оказывать и минеральные вещества (макро- и микроэлементы), которые содержатся в соке ягод красной смородины и являются необходимым компонентом полноценного питания. Они входят в состав белков, жиров, ферментов, содержатся в крови, участвуют в процессе обмена веществ практически любой ткани организма человека [1–3]. В связи с этим проводили исследования по определению содержания минеральных веществ в ферментативном гидролизате ягод красной смородины. Как свидетельствуют полученные данные, ферментативный гидролизат обладает благоприятным сочетанием минеральных веществ (табл. 2), причем превалирует калий.

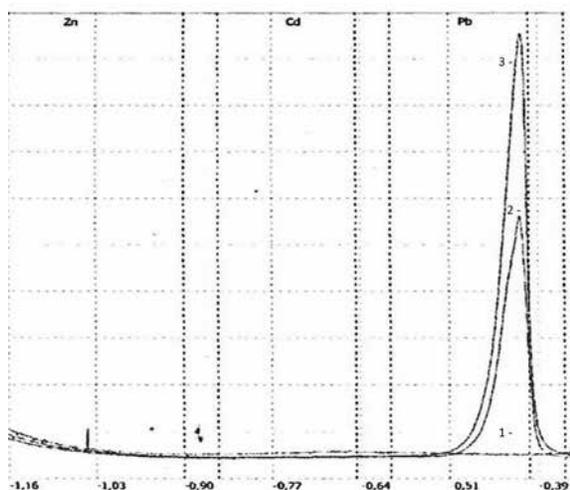
Известно, что калий способствует нормализации водного обмена и улучшает работу сердечной мышцы [2, 3]. Кальций и фосфор участвуют в построении костной ткани. Кроме того, выявлена протекторная роль кальция в отношении радионуклидной и свинцовой интоксикации [3, 6]. Минеральные вещества ферментативного гидролизата ягод красной смородины, находясь в сбалансированной и усвояемой форме, дополняют полезные качества сока, повышают его защитные и антиканцерогенные свойства.

Данные, полученные в результате изучения ингредиентного состава ферментативного гидролизата ягод красной смородины, убедительно демонстрируют редкое сочетание природных компонентов, обладающих способностью связывать и выводить из организма «тяжелые» металлы и радионуклиды.

В этой связи исследовали комплексообразующую способность ферментативного гидролизата ягод красной смородины (на примере свинца). Исследование проводили следующим образом: соли свинца добавляли в ферментативный гидролизат ягод красной смородины, инкубировали в течение 1 ч. Комплексообразующую способность ферментативного гидролизата ягод красной смородины определяли по разности свинца, внесенного в гидролизат и обнаруженного после инкубации. После этого снимали вольтамперные кривые ферментативного гидролизата ягод красной смородины. Метод количественного анализа – метод добавок. Данные исследований представлены на рисунке.

Таблица 2
Содержание некоторых минеральных веществ в ферментативном гидролизате ягод красной смородины

Элемент	Содержание, мг/ л
Натрий	24
Калий	2960
Магний	123
Кальций	166
Фосфор	260



Вольтамперная кривая ФГС: 1 – фоновый электролит, 2 – ферментативный гидролизат красной смородины после 1 ч инкубации, 3 – ферментативный гидролизат ягод красной смородины с добавкой (90 мкг) стандартного раствора свинца

Для обработки полученных вольтамперограмм и расчета содержания определяемого токсичного элемента (Pb^{2+}) в анализируемом соке измерили высоты пиков элементов в исследуемом растворе (h_1) и после внесения добавки (h_2). Содержание остатка свинца в исследуемом гидролизованном соке рассчитывали по формуле

$$C(x) = h_1 C_{cm} V_{cm} / h_2 (V_x - V_{cm}) - h_1 V_x,$$

где $C(x)$ – искомая концентрация определяемого иона, мкг/мл; h_1 – высота волны исследуемого раствора, мм; h_2 – высота волны после внесения добавки, мм; C_{cm} – концентрация стандартного раствора, мкг/мл; V_{cm} – объем стандартного раствора (добавки), мл; V_x – объем исследуемого раствора, взятый на полярографирование, мл.

Полученные экспериментальные данные (рис. 1) свидетельствуют о высокой комплексообразующей способности ферментативного гидролизата ягод красной смородины. Установлено, что ферментативный гидролизат красной смородины способен связывать $17,00 \pm 3,4\%$ от общего количества свинца, внесенного в пробу (90 мкг).

По-видимому, достаточно высокая комплексообразующая способность ферментативного гидролизата по отношению к свинцу обусловлена тем, что содержание в ягодах физиологически функциональных компонентов, обладающих детоксицирующими свойствами, значительно превышает их содержание в соке. Кроме того, применяемый для ферментативной обработки ягод красной смородины ферментный препарат Фрутоцим-Колор является комплексным и содержит пектинразрушающие ферменты, в том числе активную пектинэстеразу. Возможно, в результате ферментативного воздействия Фрутоцим-Колор на биополимеры ягод красной смородины проявляется действие пектинэстеразы, что приводит к накоплению частично деметоксилированной полигалактуроновой кислоты, которая, как известно, обладает большей комплексообразующей способностью, чем высокоэтерифицированная полигалактуроновая кислота [1, 2, 4]. Аргументом, свидетельствующим в пользу этого предположения, является значительное снижение вязкости ферментативного гидролизата за счет применения активного комплекса ферментов (известно, что высокометоксилированный пектин обладает высокой вязкостью [1, 5]).

Выводы

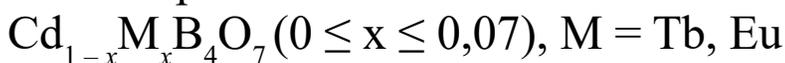
Таким образом, на основании исследований химического состава ФГС показана роль ферментативного гидролиза некрахмальных полисахаридов ягод как фактора, способствующего более полному извлечению функциональных ингредиентов в соковую фракцию по сравнению с соком, полученным в тех же условиях, но без ферментативной обработки. Кроме того, выявлены детоксицирующие свойства ферментативного гидролизата ягод красной смородины, что позволяет считать его перспективным компонентом для использования в составе антирадионуклидных рационов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Донченко Л.В., Фирсов Г.Г. Пектин: основные свойства, производство и применение. М.: ДеЛипринт, 2007. 275 с.
2. Кочеткова А.А., Нечаев А.П., Траубенберг С.Е. Пищевая химия: учебник. СПб: ГИОРД, 2015. 672 с.
3. Мартинчик А.Н., Маев И.В., Янушевич О.О. Общая нутрициология: учеб. пособие. М.: МЕДпресс-информ, 2005. 392 с.
4. Михеева М.А., Февралева Г.Т., Брынски А.В., Тры Л.А. Изучение комплексообразующей способности пектина по отношению к меди и свинцу // Ульян. мед.-биол. журн. 2017. № 2. С. 111–116.
5. Мыкоц Л.П., Романцова Н.А., Гущина А.В. Изучение сорбционной способности пектина, выделенного из плодов калины обыкновенной, по отношению к ионам свинца // Фундам. исслед. 2013. № 3–1. С. 197–200.
6. Руководство по методам анализа качества и безопасности пищевых продуктов / под ред. И.М. Скурихина, В.А. Тутельяна. М.: Брандес; Медицина, 1998. 342 с.
7. Суханов Б.П., Королев А.А., Мартинчик А.Н. Влияние хронической свинцовой интоксикации на организм человека // Сибир. мед. журн. 2013. № 2. С. 13–15
8. Тараховский Ю.С., Ким Ю.А., Абдрашилов Б.С., Музафаров Е.Н. Флавоноиды: биохимия, биофизика, медицина. Пушино, 2013. 310 с.
9. Чернобровина А.Г., Траубенберг С.Е., Алексеенко Е.В., Никитин А.В. Применение биотехнологических приемов для переработки ягод красной смородины и брусники // Изв. вузов. Пищевая технология. 2008. № 2/3. С. 67–70.
10. Чернобровина А.Г. Ферментативный гидролизат красной смородины, его биохимическая характеристика и применение при получении пищевых продуктов: дис. ... канд. техн. наук. М., 2009. 176 с.
11. Эллер К.И., Бессонов В.В., Левин Л.Г. и др. Методы контроля. Химические факторы: метод. указания. М.: Моск. гос. ун-т пищевых производств; Науч.-исслед. ин-т питания РАМН; Федер. центр гигиены и эпидемиологии, 2006. 14 с.

Т.Н. ХАМАГАНОВА

Фазы переменного состава



Методом твердофазных реакций синтезированы фазы переменного состава $\text{Cd}_{1-x}\text{M}_x\text{B}_4\text{O}_7$ ($0 \leq x \leq 0,05$), $\text{M} = \text{Eu}$ и $\text{Cd}_{1-x}\text{M}_x\text{B}_4\text{O}_7$ ($0 \leq x \leq 0,07$), $\text{M} = \text{Tb}$. Определены кристаллографические характеристики полученных фаз (пр. гр. Pbca). Проведены термолюминесцентные исследования синтезированных фаз, возбуждаемых ультрафиолетом. Показано, что максимальное свечение имеют образцы с содержанием 3 мол.% активных ионов Tb и Eu .

Ключевые слова: твердофазный синтез, фазы переменного состава, рентгенография, люминесценция.

Phases of variable composition $\text{Cd}_{1-x}\text{M}_x\text{B}_4\text{O}_7$ ($0 \leq x \leq 0.07$), $\text{M} = \text{Tb}$, Eu . T.N. KHAMAGANOVA (Baikal Institute of Nature Management, SB RAS, Ulan-Ude).

Phases of variable composition $\text{Cd}_{1-x}\text{M}_x\text{B}_4\text{O}_7$ ($0 \leq x \leq 0.05$), $\text{M} = \text{Eu}$ and $\text{Cd}_{1-x}\text{M}_x\text{B}_4\text{O}_7$ ($0 \leq x \leq 0.07$), $\text{M} = \text{Tb}$ were synthesized by solid-state reactions. The crystallographic characteristics of the obtained phases (space group Pbca) were determined. Thermoluminescence studies of the synthesized phases excited by ultraviolet radiation have been carried out. It is shown that samples with a content of 3 mol.% of active Tb and Eu ions have the maximum luminescence.

Key words: solid-state synthesis, variable composition phases, x-ray diffraction, luminescence.

Введение

Поиск эффективных оптических материалов в качестве твердотельной среды для создания светодiodной техники, акустоэлектроники, нелинейной оптики и т.д. является насущной проблемой исследователей. Среди сложных неорганических материалов выделяются соединения бора, край фундаментального поглощения которых лежит дальше в УФ-области, чем у других кислородсодержащих соединений. Некоторые бораты рекомендуются в качестве матриц для плазменных панелей, сцинтилляционных детекторов, дозиметрических приборов [3, 8, 13]. В связи с этим в последние десятилетия ведется интенсивное изучение условий и методов синтеза и люминесцентных свойств боратных соединений [1–6, 9, 15, 17]. В ряду этих изысканий выделяются бораты, легированные редкоземельными элементами (РЗЭ), проявляющие ярко выраженное свечение при комнатной температуре, имеющие длительную фосфоресценцию и другие выдающиеся характеристики [5, 10, 12, 14].

В [2] нами начаты исследования твердых растворов тетраборатов CdB_4O_7 , активированных ионами Tb^{3+} , эмиссия которых возбуждается излучением стронций-иттриевого β -источника.

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 годы по направлению V.45, проект № V.45.1 с использованием оборудования ЦКП БИП СО РАН (Улан-Удэ).

Настоящая работа выполнена с целью изучения возможности вхождения редкоземельных элементов (Eu) в кристаллическую структуру CdB_4O_7 , сравнения границ растворимости твердых растворов $\text{Cd}_{1-x}\text{M}_x\text{B}_4\text{O}_7$, $\text{M} = \text{Tb}, \text{Eu}$, определения их кристаллографических характеристик и люминесцентных свойств.

Материалы и методы

Исходными компонентами для исследования твердофазного взаимодействия являлись предварительно прокаленные оксиды CdO марки «ч.д.а», Tb_4O_7 , Eu_2O_3 с содержанием основного вещества $\geq 99,99\%$ и H_3BO_3 марки «х.ч.». В процессе синтеза использовали незначительный избыток H_3BO_3 для компенсации потерь B_2O_3 при возгонке.

Смеси оксидов помещали в платиновые тигли и подвергали ступенчатому отжигу на воздухе при $400\text{--}850\text{ }^\circ\text{C}$ в течение 250 ч. Синтезируемые образцы перетирали через каждые 25–30 ч для гомогенизации смесей. В результате синтеза получены однофазные поликристаллические порошки.

Продукты реакции идентифицировали методом рентгенофазового анализа (РФА) с помощью базы данных PDF-2. Съемку образцов выполняли на порошковом дифрактометре D-8 ADVANCE фирмы Bruker ($\lambda\text{CuK}\alpha$, VANTEC-1), интервал сканирования $2\theta = 10\text{--}60^\circ$ с шагом $0,02^\circ$. Параметры элементарных ячеек вычислены по программе TOPAS-4.

Термолюминесцентные свойства исследовали в интервале $20\text{--}400\text{ }^\circ\text{C}$ по известной методике [7]. Источником УФ служил кварцевый облучатель марки ОУФК-09-1 с эффективным спектральным диапазоном излучений $205\text{--}315\text{ нм}$. Термолюминесценцию (ТЛ) регистрировали на оригинальной спектрометрической установке, описанной в [2]. Свечение фиксировали с помощью фотоэлектронного умножителя с диапазоном регистрации $300\text{--}600\text{ нм}$. Время экспозиции облучателя составляло 5 мин. Измерения термолюминесцентной чувствительности нормировали по сигналу от эталона, которым служил LiF:Mg,Ti (TLD-100).

Результаты исследований и их обсуждение

Анализ рентгенограмм полученных фаз переменного состава с тербием показал, что образование их происходит во всем исследованном интервале концентраций $\text{Cd}_{1-x}\text{Tb}_x\text{B}_4\text{O}_7$ ($0 \leq x \leq 0,07$) (рис. 1). Видно, что на рентгенограммах полученных фаз дифракционные максимумы равномерно смещаются при изменении концентрации активатора.

На рентгенограмме образца с содержанием ионов Eu^{3+} $x = 0,07$ наряду с искомой фазой присутствовали дополнительные рефлексы малой интенсивности, указывающие на неравновесность образцов. Дальнейший отжиг не привел к положительному результату. Следовательно, в системе с европием образование фаз переменного состава $\text{Cd}_{1-x}\text{Eu}_x\text{B}_4\text{O}_7$ ограничено и находится в области ($0 \leq x \leq 0,05$). Ограниченная растворимость ионов европия в кристаллической структуре CdB_4O_7 , по-видимому, объясняется величиной их радиуса. В структуре CdB_4O_7 ионы кадмия имеют координационное число 4 по атомам кислорода. Как правило, ионы европия не проявляют такой координации в своих кислородных соединениях ввиду относительно большого ионного радиуса [16].

Индексирование рентгенограмм методом структурной аналогии с применением параметров монокристалла тетрабората кадмия по [11] позволило уточнить параметры ромбической ячейки синтезированных фаз (см. таблицу).

ТЛ может проявляться в веществах с упорядоченной структурой. В них под действием энергии ионизирующего излучения выбиваются электроны, которые локализуются, т.е. происходит накопление поглощенной энергии, в центрах захвата, обычно в дефектах кристаллической решетки. Такими дефектами являются примеси или вводимые в структуру

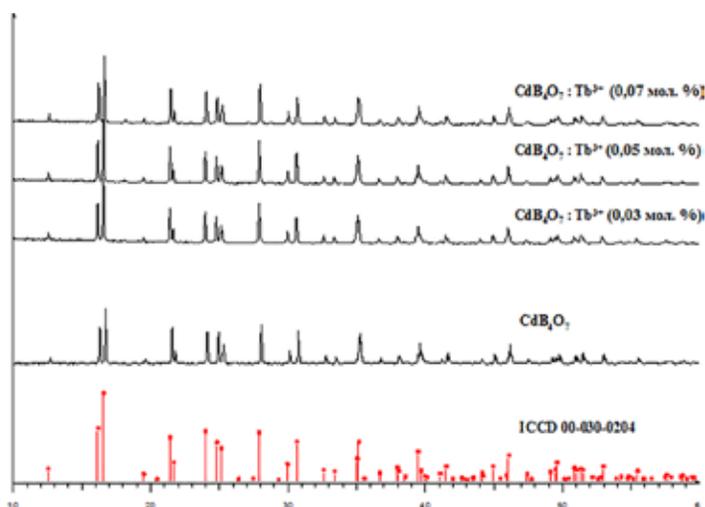


Рис. 1. Рентгенограммы полученных образцов с активными ионами тербия

Кристаллографические характеристики (\AA) порошков $\text{Cd}_x\text{B}_4\text{O}_7$ с активными ионами Tb^{3+} и Eu^{3+} (пр. гр. Pbca , $Z = 8$)

Соединение	a	b	c	V, \AA^3
CdB_4O_7 [2]	8,229(1)	8,704(2)	14,1800(7)	1015,7
CdB_4O_7 [11]	8,229(1)	8,704(1)	14,1760(2)	1015,4
$\text{Cd}_{0,97}\text{Tb}_{0,03}\text{B}_4\text{O}_7$	8,2246(4)	8,7035(6)	14,1639(7)	1013,9
$\text{Cd}_{0,95}\text{Tb}_{0,05}\text{B}_4\text{O}_7$	8,2196(4)	8,7007(6)	14,1582(5)	1012,5
$\text{Cd}_{0,93}\text{Tb}_{0,07}\text{B}_4\text{O}_7$	8,2005(5)	8,7004(7)	14,1257(7)	1007,8
$\text{Cd}_{0,97}\text{Eu}_{0,03}\text{B}_4\text{O}_7$	8,1969(5)	8,7116(8)	14,1228(8)	1008,5
$\text{Cd}_{0,95}\text{Eu}_{0,05}\text{B}_4\text{O}_7$	8,2024(4)	8,719(1)	14,1373(6)	1011,1

Примечание. V – объем элементарной ячейки.

ионы активаторов. При внешнем воздействии, к примеру при нагревании вещества, поглощенная энергия высвобождается и излучается свет [7].

В настоящем исследовании использовалось УФ возбуждающее излучение с минимальной продолжительностью воздействия. Кривые термического высвечивания синтезированных фаз переменного состава $\text{Cd}_{1-x}\text{M}_x\text{B}_4\text{O}_7$, $\text{M} = \text{Tb}, \text{Eu}$ приведены на рис. 2 и 3 соответственно. Сопоставительный анализ показывает, что максимальные величины интенсивностей ТЛ для обоих рядов твердых растворов имеют близкие

ионы активаторов. При внешнем воздействии, к примеру при нагревании вещества, поглощенная энергия высвобождается и излучается свет [7].

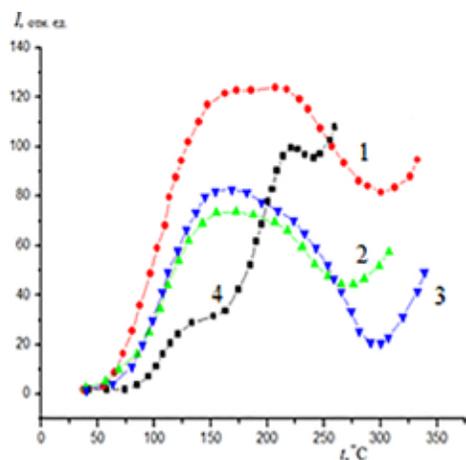


Рис. 2. Кривые термического высвечивания образцов твердых растворов $\text{Cd}_{1-x}\text{B}_4\text{O}_7: x \text{Tb}^{3+}$ (1 – 3 мол.% Tb, 2 – 5 мол.% Tb, 3 – 7 мол.% Tb) и эталона LiF (4)

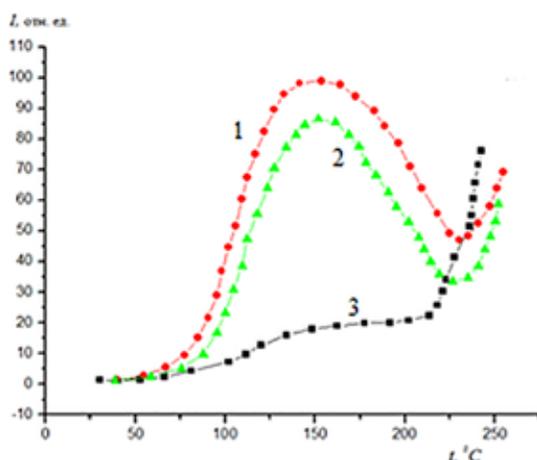


Рис. 3. Кривые термического высвечивания образцов твердых растворов $\text{Cd}_{1-x}\text{B}_4\text{O}_7: x \text{Eu}^{3+}$ (1 – 3 мол.% Eu, 2 – 5 мол.% Eu) и эталона LiF (3)

значения. Отмечено, что интенсивности ТЛ неодинаковы для образцов в каждом из рядов полученных фаз и определяются содержанием ионов активатора. Максимально свечение наблюдается для образцов с наименьшим содержанием активных ионов Tb и Eu.

Заклучение

Методом твердофазных реакций из исходных оксидов кадмия, тербия, европия и борной кислоты при 850 °С получены два ряда твердых растворов общего состава $Cd_{1-x}M_xB_4O_7$, где $M = Tb, Eu$. Определены их кристаллографические характеристики. Область растворимости фаз переменного состава $Cd_{1-x}Eu_xB_4O_7$ находится в пределах ($0 \leq x \leq 0,05$). Образование фаз $Cd_{1-x}Tb_xB_4O_7$ происходит во всем исследованном интервале концентраций ($0 \leq x \leq 0,07$). Установлена зависимость термолюминесценции от концентрации активных ионов в структурах изученных фаз. Наиболее яркое свечение проявляют образцы с минимальным содержанием активных ионов редкоземельных элементов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Крутько В.А., Комова М.Г., Поминова Д.В. Синтез и люминесцентные свойства наноразмерных боратовольфраматов $Gd_{3-x-y}Yb_xEr_yBWO_9$ // Неорган. материалы. 2018. Т. 54, № 11. С. 1210–1216.
2. Хамаганова Т.Н., Хумаева Т.Г., Субанакон А.К., Перевалов А.В. Синтез и термолюминесцентные свойства $CdB_4O_7:Tb^{3+}, Mn^{2+}$ // Неорган. материалы. 2017. Т. 53, № 1. С. 59–63.
3. Beck A.R., Das S., Manam J. Temperature dependent photoluminescence of Dy^{3+} doped $LiCaBO_3$ phosphor // J. Mater. Sci. Mater. Electron. 2017. Vol. 28 (22). P. 17168–17176.
4. Bedyal A.K., Kumar V., Prakash R., Ntwaeaborwa O.M., Swart H.C. A near-UV-converted $LiMgBO_3:Dy^{3+}$ nanophosphor: Surface and spectral investigation // Appl. Surf. Sci. 2015. Vol. 329. P. 40–46.
5. Cai G.M., Sun Yu, Li H.K., Fan X., Chen X.L., Zheng F., Jin Z.P. Crystal structure and photoluminescence of Tb^{3+} -activated $Ba_3InB_3O_9$ // Mater. Chem. Phys. 2011. Vol. 129. P. 761–768. – <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2011.04.071> (дата обращения: 13.05.2021).
6. Chikte (Awade) D., Omanwar S.K., Moharil S.V. Luminescence properties of red emitting phosphor $NaSrBO_3:Eu^{3+}$ prepared with novel combustion synthesis method // J. Lumin. 2013. Vol. 142. P. 180–183. – <https://doi.org/10.1016/j.jlumin.2013.03.045> (дата обращения: 13.05.2021).
7. Daniels F., Boyd C.A., Saunders D.F. Thermoluminescence as a research tool // Science. 1953. Vol. 117. P. 343–349.
8. Doull B.A., Oliveira L.C., Wang D.Y., Milliken E.D., Yukihara E.G. Thermoluminescent properties of lithium borate, magnesium borate and calcium sulfate developed for temperature sensing // J. Lumin. 2014. Vol. 146. P. 408–417. – <https://doi.org/10.1016/j.jlumin.2013.10.022> (дата обращения: 13.05.2021).
9. Furetta C., Kitis G., Weng P.S., Chu T.C. Thermoluminescence characteristics of $MgB_2O_7:Dy, Na$ // Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. A. 1999. Vol. 420. P. 441–445. – [https://doi.org/10.1016/S0168-9002\(98\)01198-X](https://doi.org/10.1016/S0168-9002(98)01198-X) (дата обращения: 13.05.2021).
10. Han B., Zhang J., Wang Z., Liu Y. Spectroscopic characteristic of Ce^{3+} at two different sites in $Ba_3Lu(BO_3)_3$ under ultraviolet excitation // Opt. Spectrosc. 2014. Vol. 117, N 1. P. 66–71. – <https://doi.org/10.1134/S0030400X14070030> (дата обращения: 13.05.2021).
11. Ihara M., Krogh-Moe J. Crystal structure of cadmium diborate, $CdO \cdot 2B_2O_3$ // Acta Cryst. 1966. Vol. 20. P. 132–134. – <https://doi.org/10.1107/S0365110X66000239> (дата обращения: 13.05.2021).
12. Juberá V., García A., Chaminade J.P., Guillen F., Sablayrolles J., Fouassier C. Yb^{3+} and $Yb^{3+}-Eu^{3+}$ luminescent properties of the $Li_2Lu_3O_4(BO_3)_3$ phase // J. Lumin. 2007. Vol. 124. P. 10–14. – <https://doi.org/10.1016/j.jlumin.2006.01.355> (дата обращения: 13.05.2021).
13. Li P., Yang Z., Wang Z., Guo Q. White-light-emitting diodes of UV-based $Sr_3Y_2(BO_3)_4:Dy^{3+}$ and luminescent properties // Mater. Lett. 2008. Vol. 62, N 10–11. P. 1455–1457. – <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2007.08.085> (дата обращения: 13.05.2021).
14. Liu L., Zhang Y., Hao J., Li C., Wang S., Su Q. Thermoluminescence studies $LiBa_2B_5O_{10}:Re^{3+}$ (Re = Dy, Tb and Tm) // J. Phys. Chem. Solids. 2007. Vol. 68. P. 1745–1748. DOI: 10.1016/j.jpcs.2007.04.020.
15. Pei Z., Su Q., Chui Y., Zhang J. Investigation on the luminescence properties of Dy^{3+} and Eu^{3+} in $M_3Ln_2(BO_3)_4$ (M = Ca, Sr, Ba; Ln = La, Gd, Y) // Mat. Res. Bull. 1991. Vol. 26, N 10. P. 1059–1065. – [https://doi.org/10.1016/0025-5408\(91\)90089-5](https://doi.org/10.1016/0025-5408(91)90089-5) (дата обращения: 13.05.2021).
16. Shannon R.D. Revised effective ionic radii and systematic studies of interatomic distances in halides and chalcogenides // Acta Cryst., Sect. A. 1976. Vol. 32. P. 751–767. – <https://doi.org/10.1107/S0567739476001551> (дата обращения: 13.05.2021).
17. Tamboli S., Rajeswari B., Dhoble S.J. Investigation of UV-emitting Gd^{3+} -doped $LiCaBO_3$ phosphor // Luminescence. 2016. Vol. 31, N 2. P. 551–556. DOI: 10.1002 / bio.2994.

Н.Е. КУЛИКОВА, А.Г. ЧЕРНОБРОВИНА, Н.Н. РОЕВА, О.Ю. ПОПОВА

Изучение некоторых свойств активированного ферментного препарата высокой степени очистки методами спектрального и седиментационного анализов

Как известно, амилолитические ферменты, образуемые различными продуцентами, различаются по своим свойствам и механизму действия. Применение амилазы в промышленных реакциях зависит от ее уникальных свойств, таких как особенность действия, главные и побочные продукты реакции, оптимальная температура и рН среды.

Для получения максимального эффекта от добавления фермента в сырье (сусло, тесто) и выбора оптимальных дозировок, температурных режимов использования и других особенностей применения были изучены некоторые физико-химические свойства ферментного препарата высокой степени очистки.

*Полученные методами спектрального анализа экспериментальные данные об увеличении активности ферментного препарата кристаллической α -амилазы *Asp. oryzae* после тепловой обработки в присутствии ионов кальция и некоторых физико-химических свойствах фермента позволяют предположить наличие связи между повышением каталитической активности указанного препарата после нагревания в оптимальных температурных режимах и происходящими при этом конформационными изменениями в молекуле белка. Таким образом, создаются условия, способствующие возникновению наиболее эффективного индуцированного соответствия фермента и субстрата, результат которого проявляется в увеличении ферментативной активности.*

*Ключевые слова: кристаллическая α -амилаза *Aspergillus oryzae*, ферментный препарат, спектр люминесценции, спектр поглощения, ферментативная активность.*

Study of some properties of an activated enzyme preparation of a high degree of purification by methods of spectral and sedimentation analyses. N.E. KULIKOVA, A.G. CHERNOBROVINA, N.N. ROEVA, O.Yu. POPOVA (Moscow State University of Food Production, Moscow).

As is known, amylolytic enzymes formed by different producers differ in their properties and action mechanisms. The use of amylase in industrial reactions depends on its unique features, such as its action feature, the main and by-products of the reaction, the optimal temperature and pH of the medium.

To obtain the maximum effect from the addition of the enzyme to the raw materials (wort, dough) and the choice of optimal dosages, temperature conditions of use, and other application features, some physicochemical properties of the high-purity enzyme preparation were studied.

*The obtained experimental data on the increase in the activity of the enzyme preparation of crystalline α -amylase *Asp. oryzae* after heat treatment in the presence of calcium ions and some physicochemical properties of the enzyme by spectral analysis methods suggest a connection between the increase in catalytic activity after heating in optimal temperature conditions and the conformational changes in the protein molecule that occur during this process. Thus, conditions are created that contribute to the emergence of the most effective induced correspondence of the enzyme and the substrate, the result of which is manifested in an increase in enzymatic activity.*

*КУЛИКОВА Наталия Евгеньевна – кандидат технических наук, доцент, ЧЕРНОБРОВИНА Антонина Григорьевна – кандидат технических наук, доцент, РОЕВА Наталья Николаевна – доктор химических наук, профессор, ПОПОВА Ольга Юрьевна – преподаватель (Московский государственный университет пищевых производств, Москва). *E-mail: nataliyakulikova67@mail.ru

Введение

В последнее время для выяснения структуры биополимеров все большее применение находят методы, основанные на изучении спектров люминесценции [1, 10, 15, 19]. Особое значение люминесценции как метода исследования обусловлено тем, что способностью люминесцировать в растворах (или в парах) обладают только ароматические или гетероциклические молекулы.

В составе белков ферментов имеются остатки гетероциклических аминокислот триптофана и тирозина [2, 15, 19]. Кроме того, гетероциклическими являются большинство коферментов.

Обращает на себя внимание способность различных белков в водном растворе к существованию в двух или трех различающихся конформациях нативной макромолекулы, переходящих друг в друга при характерных для каждого белка температурах [1, 2, 15]. Наблюдаемые при этом структурные переходы во многих случаях не приводят к инактивации фермента, хотя могут сопровождаться изменением количественного соотношения функциональных групп в макромолекуле белка [3, 23, 24].

Эффективными при изучении конформационных свойств белков являются оптические методы и методы спектрополяриметрии [1, 10, 11, 15, 19, 22, 28].

Конформационные переходы в белках обнаруживаются и при наблюдении интенсивности и поляризации люминесценции.

При неблагоприятных условиях происходят денатурация и инактивация фермента. Денатурацию вызывают различные агенты и факторы: нагрев, ультрафиолетовое излучение, органические растворители и т.д. [7, 21, 33].

В то же время существует много разнообразных факторов, стабилизирующих молекулу белка, и в частности фермента. Среди них можно отметить воздействия физического и физико-химического характера. Сюда относится изменение температуры и pH среды, приводящее белок к точке наибольшей устойчивости; денатурационная стабилизация – изменение конформации белка, возникающее под влиянием денатурирующего агента и обуславливающее повышение стабильности макроструктуры; повышение давления в определенных пределах; и т.д. К воздействиям химического характера относятся специфическое действие некоторых ионов металлов, влияние субстрата, продуктов реакции, коферментов, минеральных солей, углеводов и олигосахаридов [8, 9, 11, 12, 29].

Альфа-амилаза – ферментный препарат микробного происхождения, который оказывает комплексное воздействие на крахмалосодержащее сырье. В частности, фермент α -амилаза уменьшает вязкость крахмала и катализирует процесс преобразования его в глюкозу. Наиболее востребованным препарат является при производстве спирта и хлебобулочных изделий [9, 13, 16, 17, 21, 22, 24]. Основными продуцентами α -амилаз являются грибы рода *Aspergillus*, которые обладают способностью к чрезвычайно подвижному обмену, способны синтезировать как отдельные ферменты, так и их комплексы [14, 16, 18, 24].

Данная работа посвящена изучению некоторых свойств активированного ферментного препарата высокой степени очистки методами спектрального и седиментационного анализов.

Объекты и методы исследования

Объектом послужил ферментный препарат – кристаллическая α -амилаза *Aspergillus oryzae*. Данный препарат является опытным образцом (поэтому штамм не указывается) и проходит апробацию для использования в пищевой промышленности.

Амилолитическую активность (АС) определяли методом, основанным на фотоэлектродетектировании окраски йодокрахмального комплекса при длине волны 656 нм. За единицу амилолитической активности принималось такое количество фермента, которое катализирует гидролиз 1 г растворимого крахмала в строго определенных стандартных условиях: температура 30 °С, время гидролиза – 60 мин; рН раствора для грибных препаратов 4,7; соотношение в реакционной смеси фермент–субстрат должно быть постоянным и обеспечивать гидролиз крахмала на 30 % за 10 мин. Амилолитическая активность рассчитывалась по эмпирическим формулам¹. Поскольку препарат является опытной наработкой и кристаллическое состояние фермента еще не является доказательством его гомогенности, были проведены опыты по установлению степени чистоты α -амилазы *Asp. oryzae*. Для этого использовались методы электрофореза в полиакриламидном геле и ультрацентрифугирования [25, 26].

Метод вертикального электрофореза в полиакриламидном геле с концентрацией акриламида 7,5 % позволяет получать достаточно четкое разделение белковых фракций [6]. Для дискового электрофореза использовались стеклянные трубки длиной 70 мм с внутренним диаметром 6 мм, в которые сначала заливали мелкопористый гель до высоты 40 мм, после его полимеризации наносили слой (15 мм) крупнопористого антиконвекционного геля.

Полимеризацию этих двух гелей проводили на расстоянии 8–10 см от лампы дневного света в течение 10–15 мин. На столбик антиконвекционного геля помещали крупнопористый гель, содержащий исследуемый ферментный препарат. Трубки укрепляли вертикально в отверстиях дна верхнего резервуара так, чтобы их концы погружались на 10 мм в нижний резервуар. Резервуары заполняли трис-глицериновым буфером рН 8,3 (0,0005 М трис (гидроксиэтил) аминметан и 0,037 М глицин).

В качестве свидетеля в верхний резервуар добавляли несколько капель 0,001%-го бромфенолового синего красителя, растворенного в дистиллированной воде. На каждую трубку подавали ток 2,5 мА при начальном напряжении 50 В. Электрофорез заканчивали, когда полоса красителя подходила к нижнему краю геля, что занимало около 45 мин.

Столбики геля извлекали из трубок, подвергали фиксации и окраске в течение 1 ч в растворе 0,5%-го амидо-черного красителя в 75%-й уксусной кислоте. Не связанный белком краситель удаляли электрофоретически в аналогичном аппарате в 7%-й уксусной кислоте (ток 12 мА на каждую трубку при нагревании 150 В). По количеству полос, проявленных на геле, судили о степени чистоты препарата.

Ультрацентрифугирование проводили на ультрацентрифуге фирмы Beckman (США) при следующих условиях: скорость вращения ротора – 56 000 об/мин; температура раствора – 20 °С. Седиментационная картина фиксировалась через каждые 16 мин. Коэффициенты седиментации определяли по эмпирическим формулам и выражали в сведбергах (Св): 1 св = 10⁻¹³ с. По количеству пиков на седиментограмме судили о степени чистоты кристаллического препарата [5, 6, 20, 30].

Результаты и обсуждение

Как при электрофорезе, так и при ультрацентрифугировании разделения ферментного препарата на отдельные белки не произошло: электрофореграмма содержала только одну полосу, а седиментограмма – только один пик. Исследования показали, что степень белковой чистоты препарата составляет 95 %. Кроме того, кристаллическая α -амилаза обладала высокой амилолитической (20 000 ед. АС/г) и осаживающей (500 ед. ОС/г) активностью.

Таким образом, можно считать, что исследуемый ферментный препарат является гомогенной высокоочищенной α -амилазой.

¹ ГОСТ 34440-2018. Ферментные препараты для пищевой промышленности. Методы определения амилолитической активности. 19 с

Амилолитические ферментные препараты микробного происхождения получают при культивировании специфических микроорганизмов, способных вырабатывать определенные ферменты. В нашем случае продуцентом α -амилазы являлись плесневые грибы *Aspergillus oryzae* [16, 20, 23].

Как известно, амилолитические ферменты, образуемые различными продуцентами, различаются по своим свойствам и механизму действия [14, 18, 20]. Применение амилазы в промышленных реакциях зависит от ее уникальных свойств, таких как особенность действия, главные и побочные продукты реакции, оптимальная температура и pH среды [4, 7–9, 12, 21, 27, 29]. Ферментный препарат полностью безопасен в применении и безвреден для здоровья человека – альфа-амилаза вырабатывается во всех живых организмах. Он имеет высокую активность и длительный срок хранения [4, 10, 13, 18].

Для получения максимального эффекта от добавления фермента в сырье (сусло, тесто) и выбора оптимальных дозировок, температурных режимов использования и других особенностей применения необходимо изучить некоторые физико-химические свойства ферментного препарата.

Удешевления целевых продуктов, полученных с применением ферментных препаратов, можно достичь путем снижения дозировки вносимого фермента без ухудшения качества получаемой продукции. К одним из основных факторов, влияющих на активность ферментных препаратов, относится температура. Повышение температуры приводит к увеличению скорости ферментативных реакций, однако при этом также увеличивается скорость инактивации фермента [4, 8, 21, 27, 29]. С целью увеличения термостойкости ферментного препарата было изучено влияние ионов кальция в качестве стабилизатора раствора кристаллической α -амилазы. Выбор данного стабилизатора обусловлен тем, что характерной особенностью α -амилаз является наличие в их молекуле ионов кальция, которые, стабилизируя вторичную и третичную структуры молекулы фермента, предохраняют их от денатурации, в том числе тепловой [3, 4, 24, 31, 32].

Предварительный прогрев 0,1%-х водных растворов ферментного препарата проводили в ультратермостате при различных температурах (40, 45, 50, 60, 700 °C) в течение 10, 30 и 60 мин. В прогреваемую смесь добавляли 0,1%-й водный раствор хлористого кальция, 0,1%-й раствор растворимого крахмала. Активность прогретого раствора ферментного препарата выражали в процентах от активности препарата, не подвергавшегося тепловой обработке [19].

Исследование термостабильности позволило установить, что инактивация α -амилазы *Asp. oryzae* наступает после прогрева препарата при 70 °C в течение 40 мин. После 10-минутного нагревания α -амилазы *Asp. oryzae* при 40 °C и 30-минутного – при 50 °C наблюдается повышение активности на 20–25 %. При добавлении к раствору фермента стабилизатора (ионов кальция) ферментативная активность увеличивается в среднем на 40–45 %. Этот прирост активности остается постоянным в течение 3 ч.

С целью изучения влияния тепловой обработки препарата кристаллической α -амилазы на структурные изменения молекулы фермента были получены спектры люминесценции и поглощения растворов α -амилазы, прогретой в присутствии стабилизатора и без него.

Согласно полученным данным, все три раствора при длине волны возбуждающего света 280 нм имели максимум люминесценции при длине волны излучаемого света 335 нм. Изменение интенсивности излучения показано в таблице.

Данные таблицы свидетельствуют о том, что рост ферментативной активности при нагреве раствора исследуемого ферментного препарата соответствует увеличению интенсивности люминесценции, т.е. существует корреляция между ферментативной активностью α -амилазы и интенсивностью люминесценции.

Наблюдались различия в поведении растворов в полосе возбуждения: в растворе прогретой α -амилазы замечено легкое помутнение, что можно объяснить частичной денатурацией белка (рис. 1). В растворах α -амилазы, прогретых в присутствии ионов кальция, помутнение заметно снижается, что означает уменьшение эффекта денатурации.

**Данные спектрального и седиментационного анализов
препарата кристаллической α -амилазы *Asp. oryzae***

Вариант опытов	ФА, %	Интенсивность люминесценции, %	D_{260} / D_{280}	Коэффициент седиментации, Св
Непрогретая α -амилаза	100	100	0,450	2,71
Прогретая α -амилаза	120–125	108–110	0,501	2,55
Прогретая в присутствии $CaCl_2$ α -амилаза	140–145	120–124	0,460	2,62

В связи с тем что колебание интенсивности люминесценции белка может быть вызвано изменением взаимного расположения остатков триптофана и тирозина, полученные данные позволяют предположить, что при нагревании происходят конформационные изменения белка, которые приводят к увеличению или уменьшению интенсивности люминесцентного излучения [1, 19].

Важной оптической характеристикой вещества кроме молярного коэффициента поглощения является индекс поглощения 1%-го раствора вещества в полосе поглощения в ультрафиолетовой или видимой области спектра (200–320 нм) [1, 11].

Методика определения индекса поглощения 1%-го раствора α -амилазы состояла в следующем: в опытах готовили растворы кристаллической α -амилазы точно известной концентрации. Навеску вещества, взятую на аналитических весах, растворяли ацетатным буфером pH 5,0. Спектр поглощения приготовленных растворов получали на приборе Spesord, причем концентрация белка в растворе подбиралась такой, чтобы оптическая плотность раствора в полосе поглощения находилась в области, близкой к единице оптической плотности (0,3–1,2 единиц оптической плотности).

Путем подбора концентрации выяснилось, что этому условию удовлетворяет концентрация белка, равная 1,0 мг/мл. Поглощение при этом составило 1,23 ед. оптической плотности, а максимальное поглощение раствора кристаллической α -амилазы наблюдалось при длине волны 280 нм (рис. 2).

Аналогичным образом были приготовлены растворы требуемой концентрации и в тех же условиях сняты спектры поглощения в интервале длин волн 260–300 нм. Оптическую плотность этих растворов при длине волны 280 нм приводили к оптической плотности 1%-го раствора, увеличивая значения D_{280} в 10 раз. Полученный таким образом индекс поглощения 1%-го раствора кристаллической α -амилазы составляет 12,3 ед. оптической плотности.

С другой стороны, индекс поглощения 1%-го раствора кристаллической α -амилазы, полученный путем определения оптической плотности 0,02%-го раствора фермента при D_{280} (рис. 3) и увеличением этой величины в 50 раз, составил 12,5 ед. оптической плотности. Таким образом, значения индексов поглощения практически совпадают.

При снятии спектров поглощения для всех исследуемых растворов максимум поглощения наблюдается при длине волны 280 нм (рис. 2).

Эффект денатурации можно охарактеризовать в спектрах поглощения отношением D_{260} / D_{280} , чем больше эта величина, тем больше денатурационный эффект. Отношение D_{260} / D_{280} для исследуемых растворов представлено в таблице. Наименьший денатурационный эффект наблюдается у нативной амилазы, при прогреве раствора денатурация увеличивается. Прогрев раствора α -амилазы в присутствии ионов Ca^{2+} приводит к снижению денатурации.

Анализируя спектры люминесценции и спектры поглощения, можно отметить, что наряду со структурными изменениями в молекуле прогретой α -амилазы, приводящими к увеличению ее ферментативной активности, вероятно, происходит частичная денатурация фермента, вследствие которой активация проявляется не в полной мере. С другой стороны, прогрев раствора α -амилазы в присутствии солей хлорида кальция препятствует

Рис. 1. Спектры люминесценции: 1 – нативный раствор α -амилазы, 2 – прогретый раствор α -амилазы, 3 – прогретый с CaCl_2 раствор α -амилазы; J – интенсивность излучения, λ – длина волны, нм

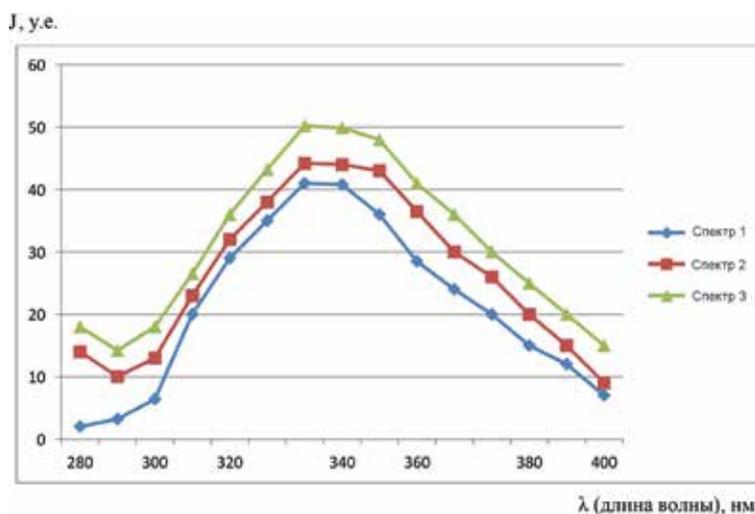


Рис. 2. Спектры поглощения: спектр 1 – нативный раствор α -амилазы; спектр 2 – прогретый раствор α -амилазы; спектр 3 – прогретый с CaCl_2 раствор α -амилазы

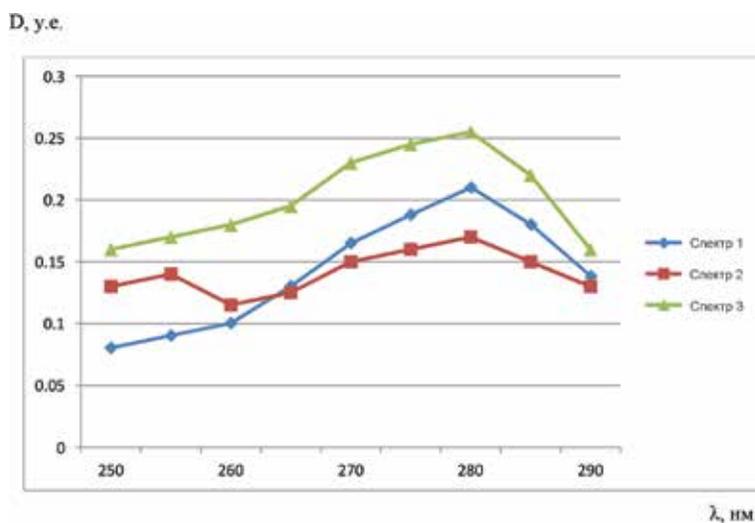
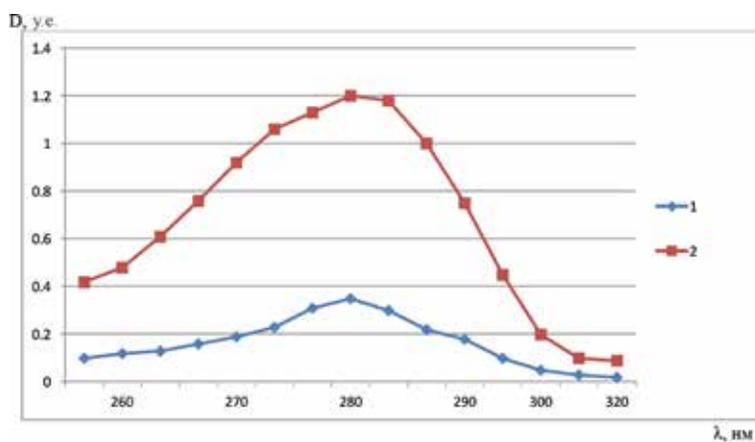


Рис. 3. Определение индекса поглощения: 1 – спектр поглощения 0,1%-го раствора препарата, 2 – спектр поглощения 0,02%-го раствора препарата



его денатурации, так как ионы кальция оказывают стабилизирующее воздействие на молекулу фермента.

Одним из распространенных методов изучения структуры биополимеров является метод ультрацентрифугирования, который дает возможность исследовать седиментационные свойства белка. Ультрацентрифугирование также позволяет на основании различной скорости седиментации белков испытывать белковые препараты на однородность в отношении размеров их частиц [25, 26].

Молекулярная масса белка пропорциональна его коэффициенту седиментации, коэффициенту диффузии и плотности. Измерив в независимых опытах коэффициент диффузии и плотность, можно вычислить молекулярную массу. Поскольку наибольшие трудности вызывает измерение коэффициента диффузии, нередко ограничиваются указанием только коэффициента седиментации белка [6].

Согласно полученным данным (см. таблицу), разница в значениях коэффициента седиментации была в пределах погрешности определения. Таким образом, предположение о том, что тепловая обработка α -амилазы *Asp. oryzae* будет влиять на коэффициент седиментации, не нашло экспериментального подтверждения. Тем не менее полученные данные являются одной из характеристик препарата.

Полученные экспериментальные данные об увеличении активности ферментного препарата кристаллической α -амилазы *Asp. oryzae* после тепловой обработки в присутствии ионов кальция и изучения некоторых физико-химических свойств фермента позволяют предположить наличие связи между повышением каталитической активности после нагревания в оптимальных температурных режимах и происходящими при этом конформационными изменениями в молекуле белка. Наблюдаемые физико-химические изменения, происходящие в молекулярной структуре клеток, отражаются на их спектральных характеристиках, регистрируемых с помощью методов люминесцентного спектрального анализа.

Это приводит к созданию условий, способствующих возникновению наиболее эффективного индуцированного соответствия фермента и субстрата, результат которого проявляется в увеличении ферментативной активности, что позволит в дальнейшем дать рекомендации по оптимальным режимам применения данного ферментного препарата в различных областях пищевой промышленности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамова И.М. Научное обоснование методологии комплексного контроля спиртового и ликероводочного производства с целью повышения качества и безопасности алкогольной продукции. М.: Всерос. науч.-исслед. ин-т пивоваренной, безалкогольной и винодельческой промышленности РАСХН, 2014. 52 с.
2. Акчурин С.В. Перспективные направления использования в ветеринарной медицине люминесцентного спектрального анализа // Докл. ТСХА: сб. статей. 2019. Вып. 292, ч. 4. С. 573.
3. Алеева С.В., Кокшаров С.А. Исследование температурной зависимости каталитической активности полиферментных амилолитических препаратов // Изв. высш. учеб. заведений. Химия и химическая технология. 2005. Т. 48, № 2. С. 49–53.
4. Белогорцев Ю.А., Черныгина Т.Б., Быкова О.Н. Некоторые физико-химические свойства бактериальной β -глюканазы // Фермент. и спиртовая пром-сть. 2008. № 3. С. 35–37.
5. Бердникова Д.В., Королева М.Ю., Спицын Б.В. Седиментационный анализ дисперсий наноалмаза // Успехи в химии и химической технологии. 2007. Т. 21, № 8 (76). С. 53–56.
6. Бридский Е.В., Мякишев А.М. Седиментационный анализ. Кривые седиментации монодисперсных и полидисперсных систем // Молодежь и XXI век. 2019. С. 14–17.
7. Гамаюрова В.С., Зиновьева М.С., Васина К.Л. Активация и стабилизация ферментных препаратов неорганическими соединениями // Вестн. Казан. технол. ун-та. 2009. № 6. С. 121–130.
8. Гамаюрова В.С. Методы активизации амилолитических ферментов с целью снижения их удельного расхода // Современные ресурсо- и энергосберегающие технологии в спиртовой и ликероводочной промышленности: тез. докл. науч.-практ. конф., 17–18 марта 2000 г. Казань, 2000. С. 35.
9. Голёта М.В. Влияние физических факторов и pH среды на активность амилолитических и протеолитических ферментов при производстве солода // Биотехнология: достижения и перспективы развития: материалы II Междунар. науч.-практ. конф. 07–08 декабря 2017 г. Пинск, 2017. С. 5–6.

10. Горбунков М.В. Физико-химические свойства протеолитического комплекса и применение ферментного препарата «Протепсин» для обработки сырья животного происхождения: дис. ... канд. техн. наук. Воронеж. гос. ун-т инж. технологий, 2016. 22 с.
11. Дьяконова Г.В. Исследование некоторых физико-химических свойств молокосвертывающих ферментов вешенки обыкновенной. Ростов-н/Д., 2010. 44 с.
12. Зиновьева М.Е., Закиуллин И.И., Курбанов С.М. Изучение процессов активации целлюлолитических ферментов // Пищевые технологии и биотехнологии: материалы XVI Всерос. конф. молодых ученых, аспирантов и студентов с междунар. участием, посвящ. 150-летию Периодической таблицы химических элементов: в 3 ч. Казань, 16–19 апреля 2019. С. 315–317.
13. Иванов С.В., Шиян П.Л., Мудрак Т.Е., Ковальчук С.С. Ресурсосберегающие технологии подготовки крахмалсодержащего сырья к сбраживанию // Хранение и переработка сельхозсырья. 2015. № 1. С. 24–28.
14. Кабанов А.В., Горбатовская Н.А., Шлейкин А.Г. Структура и субстратная специфичность амилаз грибов рода *Aspergillus* // Механика и технологии. 2014. № 2. С. 47–56.
15. Карпенко Д.В., Шалагинов К.В. Влияние волновых воздействий на активность амилаз микробного происхождения // Здоровье, питание и биотехнология (Health, food and biotechnology). 2019. Т. 1, № 1. С. 83–91.
16. Качан А.В., Русь О.Б., Евтушенков А.Н. Селекция микробных продуцентов α -амилазы и глюкоамилазы // Вестн. БГУ. 2016. Сер. 2, № 3. Р. 92–97.
17. Колупаева Т., Клевев М. Амилолитические ферменты в производстве пшеничного хлеба // Хлебопродукты. 2010. № 5. С. 39–41.
18. Костылева Е.В. и др. Разработка схем индуцированного мутагенеза для повышения продуктивности штаммов рода *Aspergillus*-продуцентов амилолитических ферментов // Микробиология. 2017. Т. 86, № 4. С. 483–493.
19. Куликова Н.Е. и др. Исследования конформационных изменений в молекуле фермента под действием тепловой обработки в присутствии ионов некоторых металлов // Вестн. ДВО РАН. 2020. № 5. С. 133–137.
20. Польшалина Г.В., Чердниченко В.С., Римарева Л.В. Определение активности ферментов: справочник. М.: ДеЛи принт, 2003. 375 с.
21. Поляков В.А., Римарева Л.В. Перспективные ферментные препараты и особенности их применения в спиртовой промышленности // Пиво и напитки. 2012. № 2. С. 52–55.
22. Распопова Е.А., Красноштанова А.А. Характеристика свойств и оценка эффективности биокатализатора на основе иммобилизованной грибной амилазы // Катализ в промышленности. 2015. № 5. С. 54–59.
23. Римарева Л.В., Серба Е.М., Оверченко М.Б., Рачков К.В., Орлова Е.В., Абрамова И.М. Использование биомассы гриба *Aspergillus oryzae* в качестве источника биологически активных веществ // Продукты питания и переработка сельхозсырья. 2012. № 9. С. 46–50.
24. Римарева Л.В., Оверченко М.Б., Серба Е.М., Игнатова Н.И. Ферментные препараты и их влияние на биокаталитические процессы глубокой переработки зернового сырья, технологические показатели зернового сула, процессы генерации дрожжей и спиртовое брожение // Современные биотехнологические процессы, оборудование и методы контроля в производстве спирта и ликероводочных изделий. М., 2015. С. 10–27.
25. Спутьник С.В., Гусаров А.А., Перельман М.В. Способ определения фенотипов гаптоглобина в жидкой крови и в пятнах крови методом вертикального электрофореза в полиакриламидном геле: метод. рекомендации. М.: Корина-офсет, 2012. 16 с.
26. Стручкова И.В., Кальясова Е.А. Теоретические и практические основы проведения электрофореза белков в полиакриламидном геле // Нижний Новгород: Нижегород. госуниверситет, 2012. 60 с.
27. Стурова Ю.Г., Кригер А.В., Жидких К.В. Факторы, влияющие на активность ферментных препаратов животного происхождения // Сыроделие и маслоделие. 2014. № 3. С. 47–49.
28. Сутормин О.С., Суковатая И.Е., Кратасюк В.А. Спектры флуоресценции ферментов биолюминесцентной реакции бактерий в вязких средах // Изв. Иркут. гос. ун-та. Серия: Биология. Экология. 2014. Т. 7. С. 20–25.
29. Ташмухамедова Ш.С., Сотвалдиева Д.М. Стабилизация амилолитических ферментов в системах с твердыми фазами // Вестн. КазНУ. Серия биол. 2013. Т. 59, № 3/1. С. 183–185.
30. Тertyшный В.А., Тertyшный А.М. Сравнение методов седиментации высокодисперсных систем // Вісн. Націон. тех. ун-т України; Київський політех. ін-т. Серія: Радіотехніка. Радіоапаратобудування. 2013. № 53. С. 68–72.
31. Шишкин А.С. Разработка модели процесса седиментационного анализа: дис. ... канд. техн. наук. Екатеринбург: Урал. гос. техн. ун-т, 2004. 20 с.
32. Baldrian P., Gabriel J. Lignocellulose degradation by *Pleurotus ostreatus* in the presence of cadmium // FEMS Microbiology Letters. 2013. Vol. 220, N 2. P. 235–240.
33. Bialasiewicz D. Wplyw obnizenia temperatury na aktywnosc enzymow hydrolitycznych *Geotrichum candidum* Link // Przem. spoz. 2017. Vol. 51, N 2. P. 34–36.

Ю.Д. КУЗЬМИН, В.Г. САХНО

Роль воды в эволюции Земли и планет земной группы

Авторами сделана попытка концептуально представить свое видение последовательности процессов образования подземной гидросферы и ее роль в эволюции Земли в свете новых представлений образования воды в Солнечной системе. Подземная гидросфера играет основную роль в преобразовании различных видов энергии во внутреннее тепло, в образовании которого ведущую роль играют экзотермические реакции в водных растворах земной коры и тепло, наведенное пульсациями магнитного поля Земли. Тепло реакций и наведенное тепло в подземной гидросфере аккумулируются до высоких значений. Все процессы на Земле и планетах земной группы определяются солнечным нагревом поверхностного и подповерхностного слоев планет, содержащих воду в разных агрегатных состояниях. В результате этого мы наблюдаем горячие планеты Меркурий и Венеру с диссипированной водой, Марс – с водой в виде льда в подповерхностном слое. Уникальность Земли заключается в том, что вода на ней находится одновременно в жидком, газообразном и твердом состояниях.

Ключевые слова: вода, Земля, планеты, реакции, процессы, внутреннее тепло.

The role of water in the evolution of the Earth and other terrestrial planets. Yu.D. KUZMIN (Kamchatka Branch of the Federal Research Center “Unified Geophysical Service of the Russian Academy of Sciences”, Petropavlovsk-Kamchatsky), V.G. SAKHNO (Far East Geological Institute, FEB RAS, Vladivostok).

The authors offer their understanding of a sequence of processes of underground hydrosphere formation and its contribution to the Earth's evolution in the light of new paradigm of water formation in the Solar system. The underground hydrosphere plays a major role in conversion of various energies into internal heat. The heat resulted from exothermal reactions in water solutions of the Earth's crust and that induced by geomagnetic pulsations within the Earth's magnetosphere accumulated to high values. All processes on the Earth and other terrestrial planets are determined by the solar heating of their surface and subsurface layers where water is in different aggregate states. As a result we observe the hot planets Mercury and Venus with the dissipated state of water and the planet Mars with the solid state of water in the form of ice in its subsurface layer. The uniqueness of the Earth is that the water on it is in liquid, gaseous and solid states concurrently.

Key words: water, Earth, planets, reactions, processes, internal heat.

Посвящается моему единомышленнику
члену-корреспонденту РАН
Владимиру Георгиевичу Сахно.
Ю.Д. Кузьмин

Введение

Среди твердых планет Солнечной системы Земля выделяется своим составом, наличием атмосферы, водной оболочки и тектоновулканической деятельностью. Особый

*КУЗЬМИН Юрий Дмитриевич – научный сотрудник Камчатского филиала Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба РАН», Петропавловск-Камчатский), САХНО Владимир Георгиевич (1932–2020) – член-корреспондент РАН, доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник (Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, Владивосток). *E-mail: kuzy@emsd.ru

интерес вызывает наличие на Земле водной оболочки. Вода – удивительное вещество не только на планете Земля, но и на земных планетах Солнечной системы. В природе вода – химическое соединение (H_2O), почти все физико-химические свойства которого являются исключением относительно других веществ. И чем больше человек узнает о свойствах воды, тем больше убеждается в их неисчерпаемости.

В данной работе мы попытались концептуально изложить свой взгляд на происхождение воды на Земле, планетах земной группы и их эволюцию с участием воды. В результате рассмотрения этого вопроса нами было предложено свое видение происхождения воды в Солнечной системе [18] (гипотеза 2), отличное от общепринятого планетного происхождения воды за счет дегидратации метеоритно-кометного вещества мантии под действием высоких температур и последующей дегазации на поверхность [7] (гипотеза 1). Рассмотрение данных гипотез должно привести к пониманию логически последовательных процессов образования водных оболочек и предполагаемых этапов развития Земли и планет земной группы, определяемых влиянием Солнца на разноудаленных от него орбитах.

Наша гипотеза 2 о происхождении воды на планетах земной группы базируется на экспериментах и разработанной отечественными и иностранными учеными теории взаимодействия водорода с кислородом, а также на изотопных исследованиях воды в разных средах. Предложенная нами гипотеза 2 основана на изначально холодном образовании планет Солнечной системы, в том числе планет земной группы, на которых последующий нагрев твердых поверхностей Солнцем способствовал образованию воды и развитию геологических процессов, характерных для каждой планеты. Предположения, высказанные в этой гипотезе, согласуются с взглядами В.И. Вернадского: «Важен основной вывод. Наша планета должна быть рассматриваема в Космосе как тело холодное, а не тело высокой температуры, как этому учат в геологии» [5, с. 105].

Механизмы поступления воды на поверхность Земли, рассматриваемые в гипотезах 1 и 2, заставляют по-разному оценивать возраст воды и земной коры, процессы континентализации или океанизации, использование тех или иных гипотез для объяснения эволюции Земли и планет земной группы, во многих науках о Земле и планетологии являющихся дискуссионными.

Происхождение воды и водной оболочки планеты

Два основных фактора определяют геологическую и биологическую жизнь на Земле: тепло и вода. Вода с ее уникальными свойствами создает многообразие явлений и процессов в эволюции живой и неживой природы на планете. Вода не только является составной частью геологических и биологических веществ, но и принимает активное участие в их эволюции, преобразуя в другие вещества. Естественно, возникают вопросы: как появилась вода на Земле и в Солнечной системе, какую роль она играет в геологической эволюции Земли? Ответ на них определил В.И. Вернадский: «... мы должны теперь держать в голове те космогонические представления и учитывать те гипотезы о значении воды, которые допускают научную проверку, позволяют искать факты ее истории, не учитываемые в современном – неполном – представлении о ее земной роли» [4, с. 33]. Но необходимо отметить, что ни геологи, ни геофизики не обратили внимания на работы Н.Н. Семенова, которым совместно с отечественными и иностранными коллегами экспериментально показан механизм и разработана теория цепных и тепловых реакций образования воды из водорода и кислорода [28, 29]. Эти работы, при правильной их интерпретации, дают представление о механизме, среде и условиях образования воды. Для того чтобы привязать эти эксперименты к происхождению воды на Земле, необходимо было отказаться от существующих гипотез происхождения Солнечной системы и ее планет из газопылевого облака за счет его сжатия. В межзвездной среде из-за очень малой

плотности космического вещества без внешних воздействий это сделать невозможно. Поэтому нужно было предложить новый механизм образования Солнца и планет Солнечной системы, который смог бы создать среду и условия, подобные существующим в экспериментах Н.Н. Семенова и его коллег. На основании работ Н.Н. Семенова, В.И. Ферронского и их коллег в нашей стране и за рубежом, а также данных, полученных с космических летательных аппаратов, мы предложили свое видение происхождения планет Солнечной системы и воды в виде гипотезы [18].

Основные положения данной гипотезы совпадают с взглядами В.И. Вернадского о Земле:

«1. Все представления об огненно-жидком и расплавленном состоянии неверны и от них следует отказаться.

2. Геологические процессы и явления, наблюдаемые в земной коре, не могут быть перенесены на глубокие части планеты без поправок, так как вещество ниже земной коры находится в низкотемпературных условиях в состоянии химической инертности. Земная кора в известной мере является самостоятельной самоорганизующейся системой.

3. В земной коре наблюдается резкая неоднородность ее вещества, и в ней же проявляется максимальная земная температура, которая понижается к центру планеты. За пределами ЗК в глубине Земли возможна и очень высокая, и очень низкая температура. Это область гипотез и схем» [5, с. 105].

Опытами ученых Г. Кавендиш, А. Лавуазье, А. Гумбольда, Гей-Люсака была получена формула воды (H_2O) и рассчитан ее молекулярный вес, равный 18. Было установлено, что в природе вода – это устойчивое бинарное химическое соединение водорода с кислородом. При определенных термодинамических условиях происходит экзотермическая реакция образования воды с большим выделением тепла:



Это окислительно-восстановительная химическая реакция, где вода является одновременно окислителем и восстановителем. Молекула воды состоит из 11,19 % водорода и 88,8 % кислорода. Химические и физические свойства воды определяются ее составом и строением. Так, температура замерзания воды равна $0^\circ C$, температура кипения $100^\circ C$, критическая точка воды, при которой она может существовать только в газовой фазе, соответствует температуре $374^\circ C$ и давлению 218,5 атм. Но необходимо заострить внимание на таком параметре воды, как термическая диссоциация, т.е. температурное разложение воды на водород и кислород. По отношению к нагреванию вода – очень устойчивое соединение. Термическая диссоциация протекает с поглощением теплоты. Однако даже при температуре $2000^\circ C$ степень термической диссоциации воды не превышает 2 %, т.е. равновесие между водяным паром и продуктами его диссоциации – водородом и кислородом – все еще остается сдвинутым в сторону водяного пара. При охлаждении же ниже $1000^\circ C$ равновесие практически полностью сдвигается в этом направлении [30, с. 208]. Также вода разлагается на водород и кислород под действием ультрафиолетового излучения (фотохимическая диссоциация) и электрического тока. На Земле вода находится в газообразном, жидком и твердом состояниях. В жидком состоянии вода – прозрачное, бесцветное, текучее вещество без запаха, она принимает любую форму, в которую ее налить, растворяет многие вещества, может замерзать, испаряться, расширяться, сжиматься и имеет самую высокую из земных веществ теплоемкость. По своим свойствам вода – изотропное вещество.

Более подробно вопросы образования воды из водорода и кислорода были рассмотрены в начале XX в. в экспериментах отечественных и иностранных ученых, что позволило создать теорию теплового и цепного горения. За эти работы Н.Н. Семенову и его коллеге из Великобритании С.Н. Хиншелвуду присуждена Нобелевская премия по химии (1956 г.). Информация, полученная в экспериментах по синтезу воды из водорода и кислорода, дает основание для возникновения вопроса: откуда взялась вода в Солнечной системе, и если

с наличием поверхностного нагрева планет Солнцем в Солнечной системе все более или менее ясно, то вопрос о происхождении воды и источнике внутреннего тепла Земли остается дискуссионным.

Общепринятой считается гипотеза происхождения воды в атмосфере и гидросфере Земли за счет дегидратации мантии, состоящей из вещества метеоритов и комет, при высоких температурах и последующей дегазации водяных паров на поверхность Земли (гипотеза 1). «Почти сто лет тому назад А. Добре пришла счастливая мысль об аналогичности состава метеоритов и оболочек Земли. Эта идея в науке оказалась исключительно плодотворной. Я вполне разделяю эту точку зрения. Благодаря изотопному анализу свинца и другим радиоактивным методам удалось установить, что возраст вещества Земли и возраст вещества метеоритов очень близки и составляют около 5×10^9 лет», – отмечал А.П. Виноградов [7]. Подобной точки зрения придерживаются и в настоящее время [42]. Но физико-математические расчеты категорически отвергают возможность образования Земли из метеоритов и комет [24].

Изотопные отношения водорода и кислорода являются единственными характеристиками вещественного состава природных вод, позволяющими изучать историю гидросферы прямыми методами. Работы отечественных и зарубежных исследователей по изотопии воды [32] показали, что вода на Земле имеет метеорное, т.е. атмофильное образование (поверхностное), а не ювенильное (земное) происхождение, т.е. в недрах планеты, как считали и считают геологи и геофизики, согласно общепринятой метеоритно-кометной гипотезе. Так, в одной из работ отмечается: «Экспериментальные данные об изотопном составе пород и воды в свободной и связанной форме для образцов, полученных при морском глубоководном бурении и при бурении сверхглубоких скважин на континентах, свидетельствуют о решающей роли метеорных вод в формировании исследованных пород. Каких-либо вещественных доказательств выхода и роли ювенильных вод в этих процессах за исследованное геологическое время не обнаружено» [32, с. 246]. На основании указанных работ сделан тот вывод, что наблюдаемые изотопные отношения водорода и кислорода воды не согласуются с дегазационной гипотезой происхождения газовой оболочки Земли [33, с. 4].

Полученная информация по изотопии воды согласуется с данными Н.Н. Семенова и его коллег [28, с. 155–213] и предполагает другие подходы в вопросах, связанных с происхождением воды на Земле и участием ее в земных процессах.

В работах [28, 29] показано, что вода образуется при температурах более $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ и давлениях, составляющих первые миллиметры ртутного столба. Следовательно, в низкотемпературных и сверхразряженных межзвездных и межпланетных космических средах вода образовываться не может.

Результаты экспериментов и новая информация о планетах Солнечной системы, полученная с помощью космических летательных аппаратов, заставляют задуматься и искать иные подходы к объяснению образования уникального вещества Солнечной системы – воды и внутреннего тепла планеты. Гипотезу о происхождении планет Солнечной системы и воды на Земле и планетах земной группы мы представили в работе [18] (гипотеза 2). В основе этой гипотезы лежат многочисленные работы, связанные с физико-химическими экспериментами и изотопными исследованиями воды в водосодержащих горных породах Земли, а не гипотетические представления о дегидратации мантии за счет высоких температур неясного происхождения [7]. Таким образом, гипотеза 2 позволяет уйти от метеоритно-кометного происхождения воды на планете Земля и планетах земной группы, что согласуется с данными работы [24]. В гипотезе 2 [18] использовались предположения Е.М. Трунаева¹ и Н.А. Шило [36] о том, что образование Солнечной системы началось в результате взрыва сверхновой и выброшенного газопылевого вещества в виде вращающегося спиралевидного образования – космического вихря. В результате момента

¹ http://trunaev.narod.ru/main_ru.htm (дата обращения: 20.06.2020).

импульса движения, полученного от взрыва сверхновой, в этом вихре первого рода за счет центробежной силы начала формироваться растущая вращающаяся центральная газовая масса. Рост этой массы увеличивал гравитационную силу притяжения, которая последовательно вытягивала из газопылевой протоструи частицы, начиная с водорода, гелия и далее более тяжелых элементов – продуктов взрыва сверхновой. Это привело к сепарации частиц в протоструе по массам. Основная масса газовых частиц протоспираль была стянута в центральную вращающуюся массу, а пылевые частицы образовали сегмент протоспираль, в основном состоящий из них. При достижении центральной массой критического значения произошел коллапс с образованием новой звезды – Солнца. Солнце сконцентрировало в себе 99,8 % массы протоспираль. Ударная волна взрыва, образовавшего Солнце, разорвала оставшуюся часть протоспираль на вращающиеся по разнудаленным орбитам вихри – будущие планеты Солнечной системы с определенными моментами импульса движения, которые определили скорости движения планет по орбитам и скорости их вращения вокруг своих осей. Разрывы пылевого сегмента протоструи образовали вихри вращения пылевых частиц, из которых образовались планеты земной группы (Меркурий, Венера, Земля, Марс). Из оставшегося газового сегмента протоструи, пространственно находящегося за пылевым сегментом, образовались массивные газовые планеты Солнечной системы (Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун). Таким образом, каждый образовавшийся вихрь будет двигаться по своей орбите с определенной скоростью вращения вокруг Солнца и одновременным односторонним вращением вокруг собственных осей. Вышеизложенные предположения не противоречат данным о параметрах планет земной группы, представленным в таблице [34, с. 51].

Параметры планет земной группы [34]

Параметр	Меркурий	Венера	Земля	Марс
Среднее расстояние от Солнца, а.е.	0,387	0,723	1,00	1,524
Масса относительно Земли (в единицах земной массы)	0,055	0,816	1,00	0,107
Средняя плотность, г/см ³	5,4	5,2	5,5	3,9
Скорость движения по орбите, км/с	47,9	35,03	29,79	24,4
Период вращения вокруг оси	58,8 сут	24,3 сут	25 ч 56 мин	24 ч 37 мин
Ускорение силы тяжести на экваторе, см/с ²	370	887	981	371
Скорость убегания, км/с	4,3	10,4	11,2	5,0
Солнечная постоянная, Вт/м ²	13600	2600	1360	586
Дневная / ночная температура* планет, °С	+427 / -173	+460 / -173	70,7 / -91,2	+20 / -140
Атмосферное давление у поверхности, атм	<10-10	90	1,00	0,066
Напряженность магнитного поля, А/м	0,7	<0,05	50	0,052
Радиационные пояса	Нет	Нет	Есть	Нет

* Температура на планетах Солнечной системы. – <https://zen.yandex.ru> (дата обращения: 15.04.2020).

В работе [21] приведены расчетные данные диссипации атомов некоторых газов. Так, на высоте 550 км время жизни для Н₂ составляет 50 лет, для Не – 10⁷ лет, для атомарного кислорода – 10²⁹ лет, для азота и углекислого газа – 10⁵⁰ лет. Исходя из этих данных можно видеть, что за время существования Земли с нее диссипировали только водород и гелий; атомы и молекулы других элементов, тем более воды, диссипировать с Земли не могут.

Холодные поверхности образовавшихся планет нагревались за счет солнечного излучения, создавая температурные условия, необходимые для активации газофазных реакций горения водорода с кислородом с образованием воды, которая создала высокотемпературные водонасыщенные атмосферы. Остывание атмосферы привело к конденсации и выпадению воды в виде осадков, которые образовали горячую пресную водную оболочку Земли и планет земной группы. По мере исчерпания водорода и кислорода в химических

реакциях планетного пространства и остывания поверхности планет образование воды прекратилось, прекратился и рост водных оболочек. Это предположение согласуется с постулатом В.И. Вернадского: «Масса воды есть характерная постоянная нашей планеты» [5, с. 125]. Таким образом, на Земле образовалась огромная масса пресной воды, покрывающая три четверти ее поверхности. Как отмечал В.И. Вернадский, «образование сплошной массы воды весом 1.6×10^{18} тонн необъяснимо ни одной из геогенических теорий, но существовало в тех же размерах с среднеархейской эры, а вероятно, геологически искони» [5, с. 37].

Образование подземной гидросферы

Образование пресной водной оболочки на Земле и планетах земной группы сопровождалось ее распределением на неравномерно остывающих поверхностях с образованием поднятий и опусканий, а также трещин и разломов. По трещинам и разломам пресная вода проникала в подкоровый слой, (что подтвердилось в процессе бурения Саатлинской сверхглубокой скважины [39]), создавая замкнутые аномальные термодинамические системы водонасыщенных объемов вещества планет земной группы. В этих системах за счет тепла остывающего поверхностного слоя происходили разнообразные химические реакции взаимодействия первичного безводного вещества планеты с водой, в том числе экзотермические реакции, в которых при взаимодействии воды со щелочами и щелочноземельными металлами выделялось тепло. Это тепло аккумулировалось в подкоровом слое и сохранялось длительное время, способствуя развитию тектоновулканических процессов, поверхностное проявление которых меняло рельеф суши и дна водной оболочки. Тектоновулканические процессы контролируются сейсмичностью, которая указывает на области деформирования и разуплотнения геологической среды, по которым вода последовательно проникает в глубины планеты, образуя растущую подземную водную оболочку земной коры – подземную гидросферу. Вода в подземной гидросфере благодаря своим исключительным свойствам активно участвует во всех геохимических, геофизических и термодинамических процессах, преобразуя первичное вещество планеты, изменяя его состав и структуру. В результате этих процессов мы видим громадное разнообразие горных пород и минералов, что и отмечал В.И. Вернадский: «Природная вода отвечает большой группе минералов, находящихся в нескольких физических состояниях. В эту группу уже сейчас входит более 480 разных минералов, и, должно быть, все число ее видов достигнет, в конце концов, 1000–1500 или близкой цифры» [4, с. 34]. Одновременно вода, проникая вглубь Земли, вступала в разнообразные физико-химические взаимодействия с веществом планеты, в результате чего произошла минерализация изначально пресной воды с образованием большого числа типов минерализованных природных вод Земли. Таким образом, со временем кроме поверхностной водной оболочки образовалась подкоровая, для Земли – подземная водная оболочка. Водобмен между подземной и поверхностной водными системами привел к минерализации поверхностной водной оболочки с образованием морей и океанов разной солености. Процесс поступления воды с поверхности продолжается и в настоящее время, вследствие чего увеличивается объем минерализованной подземной гидросферы и уменьшается объем пресной воды на поверхности планеты. Здесь необходимо отметить особую активную роль подземной гидросферы в формировании сложнейшей и самой динамичной, самодостаточной и самоорганизующейся геосферы Земли – земной коры, которая является связующей оболочкой между планетой и Космосом. В подземной гидросфере земной коры благодаря минерализованной электропроводящей воде происходит взаимодействие с электромагнитной энергией переменного магнитного поля Земли, модулируемого Солнцем, с преобразованием ее в тепло, которое по мере накопления активизирует геохимические, геофизические и термодинамические процессы, что приводит к интенсификации тектонических, вулканических и других процессов. Возможно,

подобные процессы происходили и на других планетах земной группы в эпохи, когда вода на них была в жидком состоянии.

Относительно подземной гидросферы В.И. Вернадский писал: «Вода, образующая сплошь одну из земных геосфер – гидросферу, определяет всю химию земной коры в доступной нашему непосредственному изучению ее области. Химические реакции идут, главным образом, в водных растворах, жидких или парообразных, и свойства растворов обуславливают, в главной мере, генезис вадозных и фреатических минералов. Они же определяют среду жизни. Количество воды в земной коре исчисляется многими процентами – больше 12–15 % веса последней в пределах 16 км» [4, с. 19]. Водная оболочка Земли образует единую сплошную всепроникающую сферу планеты – гидросферу, под которой понимают совокупность всех вод Земли. Объем воды на Земле составляет примерно $1,5 \times 10^9$ км³. Если этот объем равномерно распределить на поверхности Земли, то слой воды составил бы 3795 м. Общая масса воды на планете равна примерно $1,6 \times 10^{18}$ т. Следовательно, масса гидросферы в 275 раз больше массы атмосферы и в 4000 раз меньше массы всей планеты.

Согласно представлениям В.Ф. Дерпгольца [11], поверхностные воды составляют около 58 %, а подземные – около 42 % всей массы гидросферы. В составе поверхностных вод основную массу составляют соленые воды Мирового океана (97 %) и очень малую долю – пресная вода, заключенная во льдах (2 %), реках и озерах (<1 %). Среди подземных вод обращает на себя внимание соотношение между свободной (гравитационной) и связанной водой: связанной воды почти в 3,8 раза больше, чем свободной (79 % и 21 % соответственно). Основная масса связанной воды заключена в земной коре континентального типа. Интенсивность водообмена в подземной гидросфере в процессе эволюции Земли определялась термодинамическими процессами и вторичным минералообразованием в земной коре и верхней мантии, что приводило к уменьшению проницаемости земной коры для различных растворов и газов, а также к увеличению плотности и мощности земной коры. При этом важной особенностью подземной гидросферы является то, что она улавливает и аккумулирует все газовые компоненты дегазации Земли независимо от их генетической принадлежности. Аномально высокая теплоемкость воды превращает наземную и подземную гидросферы в гигантские термостаты определенного вида. Наземная гидросфера и водяной пар сглаживают суточные колебания температуры воздуха, а подземная гидросфера, как термостат, длительное время сохраняет внутреннее тепло земной коры и частично верхней мантии.

По представлениям В.И. Вернадского [4, с. 36], «в ЗК до глубины 20 км вода является чрезвычайно распространенным телом, она не спускается ниже 20 % по весу, и едва можно видеть признаки уменьшения ее количества для дальнейших глубоких частей ЗК примерно до 60 км от уровня Океана. Она составляет и здесь несколько процентов по весу, едва ли серьезно отличаясь от 8%». Эти представления позволяют предполагать, что вода в земную кору попадает с поверхности, а не из глубины. Подземная гидросфера очень динамична и чувствительна к изменениям среды и внешним воздействиям, обладает значительной связанностью, что позволяет регистрировать возмущения на значительном удалении от их источника. Необходимо учитывать, что в свободном состоянии жидкость – вещество изотропное, а твердое тело – анизотропное. Наличие в подземной гидросфере воды с растворенными в ней газами, заполняющими трещинно-поровое пространство горных пород, позволяет рассматривать водонасыщенную толщу Земли в виде каркасно-флюидитных систем [26]. В этих системах каркас и флюидиты, к которым автор относит кроме флюидов (подземные воды, газы, нефти) флюидизированные текучие среды коры и верхней мантии, связанные по свойствам взаимопереходами с жидкими массами (расплавами, кристаллогидратами) [26, с. 9], образуют свои динамические системы. Данные системы обладают определенными взаимонезависимыми пределами, т.е. действующая система давлений состоит из двух независимых частей. Одна передается по скелету, она более консервативна и не может дать быстрых изменений давлений. Другая, создаваемая за

счет давления подвижных флюидов (в основном воды), является более мобильной и создает те изменения давления, которые могут быть ключевыми в передаче напряжений деформаций от возмущающего источника геологической среды в подземной гидросфере по закону Паскаля. Таким образом, в каркасно-флюидной системе флюиды, ведущая роль в которых отводится воде, могут быть представлены рабочим телом гидрогеодинамической системы, которое реагирует на внешние и внутренние возмущения с передачей давления, изменяющегося как во времени, так и в пространстве. Основным и важнейшим признаком каркасно-флюидных динамических систем является их аномально высокая флюидопроницаемость, обусловленная процессами разуплотнения пород, и, следовательно, флюидонасыщенность, определяющая электропроводные и сейсмические свойства среды [13].

Такие системы, представленные планетарным и региональными гидрогеодеформационными полями [3] подземной гидросферы, имеют важное свойство, которое заключается в отражении напряженного состояния недр на всю мощность насыщенного водой геологического разреза. В работе [27] предложена модель, в которой земная кора представляет собой замкнутый объем геологической среды, состоящий из блоково-иерархических образований, в которых межблочные прослойки заполнены флюидом, в основном водой. При внешнем воздействии на флюид теплом или давлением в прослойках происходят преобразования, а также накопление внутренней энергии, которое сопровождается увеличением межблочного объемного давления. Это приводит к изменению взаимодействия отдельностей друг с другом, их деформированию и изменению свойств, как отдельностей, так и всей системы в целом, что активизирует тектонические и вулканические процессы, сопровождаемые сейсмичностью. Подземные воды постоянно находятся под влиянием космических и геофизических воздействий. Реакция подземных вод на эти воздействия будет проявляться в виде отклика, который можно регистрировать на поверхности планеты соответствующими приборами. Таким образом, в подземной гидросфере вода является рабочим телом для всех гидродинамических процессов, связанных с тектоническими, вулканическими и другими процессами на Земле и, возможно, на планетах земной группы. Ее гидрогеодинамические отклики на эти воздействия можно представить в виде движущей силы, которая участвует во всех геологических и геофизических процессах в земной коре и, возможно, в верхней мантии.

Внутреннее тепло планеты

Проникновение воды вглубь земной коры по трещинам и разломам происходит с активным взаимодействием пресной воды с первородным веществом планеты. Основой этого вещества были пылевые компоненты протоспирали, образованные взрывом сверхновой. Это вещество кроме силикатов, железа, магния, алюминия, кислорода и других тяжелых элементов содержит щелочи и щелочноземельные металлы. В результате этих взаимодействий, возможно, происходили и происходят экзотермические реакции с выделением тепла. Это тепло в замкнутых теплоизолированных средах аккумулировалось и сохранялось [8, 10, 15]. При этом вода, насыщаясь продуктами химических и физических взаимодействий с веществом, из первично ультрапресной становилась минерализованной. Минерализованные водные растворы становились электропроводящими. Таковыми являются и жидкие магматические расплавы. В электропроводящем веществе за счет токов, наведенных геомагнитными пульсациями внешнего магнитного поля Земли [16], электромагнитная энергия преобразовывалась в тепло. Это тепло (совместно с теплом экзотермических химических реакций) сохранялось и аккумулировалось в водонасыщенных геологических средах земной коры и верхней мантии, участвующих в этих процессах, создавая аномально высокие температуры, способные образовывать магматические очаги и астенолиты в земной коре и, возможно, в верхней мантии. Таким образом, по нашим представлениям, это внутреннее тепло образуется и аккумулируется в водонасыщенных

геологических средах планеты, приуроченных к разломам, что согласуется с данными работы [38]. В этой статье показано, что в земных недрах в присутствии воды химические реакции с объемным эффектом порядка 0,001 и вариацией температуры порядка $n \cdot 10^\circ\text{C}$ вызывают в слабопроницаемых породах изменение порового давления на 100–1000 бар. Этот диапазон давлений совпадает с диапазоном типичных значений тектонических напряжений, действующих в континентальной коре, и перекрывает верхний предел прочности пород на разрыв, который для главных типов пород не превышает 200–300 бар. Таким образом, в результате вещественных превращений и температурных изменений в системе вода–порода развиваются объемные деформации, которые приводят к образованию трещин гидроразрыва. Первоначально закрытая система раскрывается, и в ней возбуждаются конвективные токи водного флюида. Данный вывод позволяет сделать предположение об идущей вглубь планет последовательности процессов и связанного с ней преобразования вещества.

На основании сказанного можно представить полный цикл круговорота воды в недрах Земли и, возможно, планетах земной группы, состоящий из двух этапов. Первый этап включает метеорное происхождение воды на поверхностях горячих планет; проникновение воды вглубь планеты с образованием и ростом внутреннего тепла, связанного с преобразованием первородного вещества планеты; рост аномально высокого внутреннего объемного давления, который вызывает нарушение сплошности твердого вещества, взаимодействующего с водой, благодаря чему в породах возникает или усиливается конвекция водного флюида с растворенными газами, стремящегося охватить весь объем исходных «монолитных» блоков. Этот этап последовательностей соответствует гипотезе 2. Второй этап, связанный с конвекцией и дегазацией на поверхности планет разнотемпературных водных флюидов с растворенными в них глубинными газами, соответствует общепринятой гипотезе 1. Следовательно, мы наблюдаем полный замкнутый цикл круговорота воды в природе с момента ее образования, что объединяет гипотезу 1 с гипотезой 2.

Ранее предлагались гипотезы происхождения внутреннего тепла Земли, в основной из которых предполагалось, что это тепло радиоактивного распада. Такой точки зрения придерживались и геологи, и геофизики, в том числе В.И. Вернадский и А.П. Виноградов. Но как отмечал еще в 1949 г. Л.К. Грейтон [10, с. 93], «лишь два издавна известных источника тепла и один относительно недавно известный заслуживают обсуждения на страницах современных книг по геологии и вулканологии – это радиоактивность, экзотермические реакции и «внутреннее тепло» нашей планеты». По поводу радиоактивного нагревания он отмечал: «Нельзя забыть разочарования, постигшего ученых, после того как новая, обещающая концепция местного нагревания путем радиоактивного распада, предложенная для объяснения вулканизма Деттоном всего только в 1906 г., при количественном испытании быстро потерпела крах». Сейсмолог Г.П. Горшков [9] считал, что тепловой режим Земли, гравитация и ротационные силы, вероятно, являются главными источниками возбуждения эндогенной энергии Земли, но при этом отмечал, со ссылкой на В.И. Вернадского, что основы сейсмологии заложены в геохимии. Рассматривая эти предположения, необходимо отметить, что гравитация и ротация связаны с перемещением масс вещества, а не с генерацией тепла, а в геохимии тепло может генерироваться за счет экзотермических химических реакций.

Возраст происхождения воды и гидросферы

При рассмотрении процессов происхождения водной оболочки и земной коры возникает вопрос об их возрасте. Возраст воды и океанов прямыми методами определить невозможно, но можно предположить, что он составляет около 4 млрд лет. Обратимся к результатам сверхглубокого бурения Кольской скважины [14], где неожиданным и принципиально новым оказалось наличие на глубине 9–12 км в архейских породах возрастом

2,8 млрд лет высокопористых трещиноватых пород, насыщенных подземными сильно минерализованными водами. Раньше считали, что такое возможно лишь на значительно меньших глубинах. В открытом геологами в 2001 г. зеленокаменном поясе гор на севере Канады (Квебек), представленном вулканическими породами, были обнаружены вкрапленники цирконов возрастом 3,66 млрд лет, а возраст основных пород, по химическому составу похожих на амфиболы, определен в 4,28 млрд лет. Если считать, что эти оценки относятся к моменту образования пород, то получается, что земная кора начала формироваться уже через 300 млн лет после рождения Солнечной системы и самой Земли. Расчетный возраст Земли оценивается в 4,5–4,6 млрд лет. Авторы открытия высказали предположение о возможном присутствии воды при формировании данных пород [40]. Исходя из этих данных, можно сделать предположение, что Океан и земная кора начали образовываться одновременно, примерно 300 млн. лет спустя после возникновения Земли.

Однако существует и другая точка зрения относительно возраста Океана. В работе [23, с. 9] автор отмечает, что история планетарной воды, проблемы образования и эволюции Мирового океана в истории Земли стали возможными после того, как были накоплены данные о возрасте и структурах океанских осадков в ходе международной программы глубоководного бурения с судна «Гломар Челленджер». Данная программа изначально разрабатывалась под идею сбора доказательств в пользу «Новой глобальной тектоники». Было пробурено более 6000 скважин в Индийском, Атлантическом и Тихом океанах. Результаты этой программы помогли восстановить палеогеографические обстановки в позднемезозойское время (65–165 млн л.н.), что позволило установить два важнейших факта: отсутствие на дне океанов осадков древнее 165 млн л.н. и наличие древних мелководных отложений на глубинах 1000–6000 м. На основании указанных данных сделан вывод о том, что океаны являются необычайно молодыми геологическими образованиями и что они возникли на месте погружившейся в океан суши или мелководных морских бассейнов. Исходя из данных глубоководного бурения В.В. Орленок [23, с. 10] отмечает: «Стало ясно, что естествоиспытатели «просмотрели» необычное явление и важнейший рубеж в истории планеты на границе между двумя самыми яркими геологическими эрами – мезозойской и кайнозойской – начало океанизации Земли. Установление этого ранее неизвестного явления как одного из фундаментальных свойств планеты создало предпосылки для новой внутренне непротиворечивой теории Земли и планет». Автор предложенной гипотезы считает [23, с. 71], что «история Земли разделена на 2 этапа – доокеанический, включающий криптозой, большую часть фанерозоя, и период океанизации – начавшийся в конце мезозоя (60 млн л.н.) и продолжающийся с наивысшей скоростью в настоящее время. Причина такого разделения определяется постепенным характером накопления выделившейся из недр на земную поверхность свободной воды». Из этого следует, что «Мировой океан – действительно чрезвычайно молодое образование и не дается планете изначально. Он появляется в результате длительной и долгой эволюции протовещества, в результате постепенного накопления выносимой из недр планеты свободной воды» [23, с. 10]. Из расчетов автора данной гипотезы получается, что продолжительность периода океанизации на Земле составляет 150–160 млн лет. Данные предположения об океанизации Земли сделаны исходя из гипотезы 1.

Материки и океанические впадины являются основными элементами земной поверхности, которые в результате деятельности тектонических и вулканических процессов медленно перемещаются, поднимаются и опускаются, вечно колеблются, что приводит к непрерывным поверхностным перераспределениям масс вещества Земли между океанами и материками, а также росту подземной гидросферы. Следовательно, в земной коре с ее подземной гидросферой поддерживается не статическое, а динамическое равновесие, доказательством которого служат трансгрессии и регрессии морей и океанов, изменяющие соотношение площадей океанов и материков без изменения массы воды. Поверхностное образование воды, представленное в гипотезе 2, и ее роль в формировании материков и океанов на планете привели к постановке вопроса о процессах континентализации или

океанизации планеты. В первом случае происходит разрастание материковых платформ за счет океанического пространства, во втором возрастает общая площадь океанических впадин. В работе [2, с. 97] отмечается, что «основное содержание воззрений, которое можно объединить под общим названием континентализации, или необратимого роста континентов – первичность океанической коры и вторичность континентальных образований. Другими словами, развитие земной коры происходит путем разрастания мощности и площади материковой силикатической коры. Таким образом, океаны соответствуют ранним этапам развития коры. Направленность этого развития – от океанов через геосинклинали к платформам. Океанические территории сокращаются, континенты разрастаются. Эта идея подкрепляется также данными абсолютного возраста о постепенном росте континентов. Процесс этот необратимый – континенты никогда не превращаются в океаны».

Влияние магнитного поля и гравитационных приливов на подземную гидросферу Земли

Существует несколько гипотез образования магнитных полей планет, однако удовлетворительных физических обоснований для них нет. В настоящее время общепринятой считается теория магнитогидродинамического динамо, согласно которой магнитное поле образовывается и генерируется благодаря конвекционным потокам в жидком токопроводящем ядре, существование которого является сомнительным.

Образование и эволюция водосодержащих атмосфер планет сопровождалось образованием электрических и магнитных полей, которые затем активно участвовали в геологических процессах на планетах земной группы. Экзогенная и эндогенная деятельность на этих планетах отражена на космических снимках. Наша гипотеза образования внешнего магнитного поля Земли и планет Солнечной системы была опубликована в 2001 г. [16]. По нашим представлениям, магнитные поля Земли и планет Солнечной системы образовывались не за счет токов в жидких электропроводящих ядрах планет, а за счет внешней тороидальной токовой системы, образованной ионосферными токами в магнитосферах вращающихся планет. Современное магнитное поле Земли отличается от магнитных полей планет земной группы. Оно представлено радиационными поясами (РП) заряженных частиц. РП состоят из захваченных в приполярных областях планеты заряженных частиц солнечного ветра и газов, эманированных планетой с последующей их ионизацией. Величина и составы атмосферных газов зависят от дегазационных возможностей планет. Эти пояса представляют собой объемный ионосферный ток в разряженной межпланетной газовой среде, дифференцированный по плотности заряженных частиц гравитационным полем планеты с образованием внутреннего – протонного и внешнего – электронного поясов. Напряженность магнитного поля планет определяется алгебраической суммой величин ионосферных токов. Образованное подобным образом внешнее магнитное поле планеты имеет постоянную и переменную составляющие. Постоянная – дипольная составляющая магнитного поля (МП) – образована постоянным кольцевым экваториальным током (током Педерсена), имеющим определенное направленное движение заряженных частиц, которое, согласно «правилу буравчика», показывает направление геомагнитной оси на юг. Для того чтобы не было путаницы в будущем, магнитологами было принято решение оставить все в представлениях магнитного поля Земли без изменений. Переменная составляющая МП определяется количеством заряженных частиц солнечного ветра, захваченных через полярные магнитонейтральные области (каспы) магнитосферой планеты. Изменяющиеся корпускулярные потоки частиц солнечного вещества и солнечного электромагнитного излучения, являющиеся компонентами солнечной радиации, вызывают изменения в токовой системе магнитного поля Земли в виде флуктуаций – геомагнитных пульсаций в широком диапазоне частот. Следовательно, солнечная радиация, воздействующая на планету, является связующим агентом влияния солнечной активности на изменения магнитного

поля Земли, геофизические и геохимические процессы, связанные с электропроводящими и магнитными веществами планеты. Таким образом, геомагнитные пульсации, возникающие в МПЗ, генерируют и индуцируют во всех электропроводящих сферах Земли (атмосфере, гидросфере, литосфере) теллурические токи. Эти токи в минерализованных водосодержащих электропроводящих средах преобразуют электромагнитную энергию Солнца в земное тепло, которое совместно с теплом экзотермических реакций аккумулируется и активизирует все земные процессы. Мы предполагаем, что величины произведенного тепла за счет этих процессов будут незначительными, но аккумуляция тепла за длительный период времени позволяет поднять температуру в замкнутой водосодержащей системе до значений, способных образовать магматические очаги и астенолиты.

Из анализа магнитных полей планет Солнечной системы видно, что потеря Меркурием, Венерой, Марсом и Луной ионизованных атмосфер привела к исчезновению магнитных полей планет. Судя по данным космических аппаратов о незначительных остаточных магнитных полях планет и наведенной намагниченности пород, магнитные поля у данных планет и Луны в прошлом были.

В работе [31, с. 191] высказано предположение о том, что в прошлом ось палеомагнитного поля Земли совпадала с палеогеографической осью ее вращения. В настоящее время ось диполя магнитного поля Земли наклонена относительно оси вращения Земли на 11,5 град. Наличие двух осей вращения Земли говорит о том, что мы имеем дело с двумя взаимосвязанными инерционно вращающимися массами с собственными осями вращения – для атмосферы и планеты. Механическое взаимодействие (обмен импульсом, теплом и влагой) между атмосферой и поверхностью планеты происходило и происходит за счет трения в области планетарного атмосферного пограничного слоя. Толщина этого слоя в настоящее время составляет от нескольких сотен метров ночью до 2–3 км в дневные часы [1, с. 13]. При этом с учетом трения скорость вращения атмосферы планеты определялась бы скоростью вращения самой планеты с постоянной величиной отставания бесконечно долго, если бы не было электромагнитного взаимодействия магнитного поля планеты с электропроводящими и магнитными массами планеты. Это взаимодействие является внешним по отношению к планете и может влиять на скорость ее вращения. Необходимо отметить, что скорости движения планет по орбитам и скорости вращения планет вокруг собственных осей, заданные импульсом момента движения ударной волны рождающимся Солнцем в межзвездном пространстве с глубоким вакуумом, должны оставаться постоянными бесконечно. В вакууме нет сил сопротивления движению и вращению со стороны космической среды. В работе [12] сделан тот вывод, что изменения солнечной активности отвечают за нерегулярные изменения скорости суточного вращения Земли, а последние – за сейсмические явления. Эти изменения очень незначительны, но за геологическое время они, за счет торможения вращения, привели к значительному увеличению периода суточного вращения планеты. Такой подход к объяснению замедления скорости вращения Земли логично объясняет не только сам процесс торможения, но и влияние солнечной активности на эволюцию земных процессов. Объяснить замедление скорости вращения Земли гравитационным воздействием Луны [25], вызывающим земные и морские приливы, довольно сложно.

Следовательно, для Земли мы имеем две взаимосвязанные механическим и электромагнитным взаимодействиями вращающиеся массы с двумя осями вращения. Ось вращения твердой массы Земли является географическая ось, а геоцентрическая ось вращения массы газовой оболочки, ионизованная часть которой формирует магнитное поле Земли, является геомагнитной осью магнитного поля Земли. Положение геомагнитной оси в солнечном пространстве будет неизменно перпендикулярно направлению солнечного ветра, а географическая ось вращения будет менять наклон в зависимости от нарушения равновесия вращающейся массы за счет ее перераспределения на поверхности Земли [35].

В настоящее время данные, подтверждающие наши представления о влиянии солнечной активности на протонную и электронную составляющие радиационных поясов

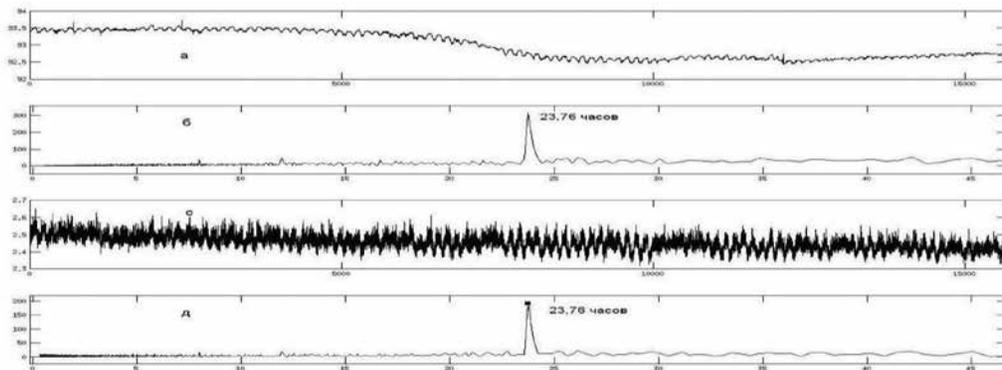
и приводящие к изменению напряженности магнитного поля Земли, можно получить, например, с космического аппарата SOHO на сайте [owww.nascom.nasa.gov], где выкладываются материалы спутниковых и наземных наблюдений за состоянием космической погоды. Эти наблюдаемые данные нельзя объяснить с помощью общепринятого представления об образовании магнитного поля Земли, в котором происхождение главного поля объясняется наличием в ядре круговых токов, возникающих по механизму динамо. Анализируя магнитные поля планет земной группы, отметим, что исчезнуть ядра планет, формирующие магнитные поля, не могли, а магнитных полей у земных планет, кроме Земли, нет. Регистрируемые незначительные магнитные поля планет земной группы относят к остаточной намагниченности вещества планет бывшими магнитными полями. Также возникает вопрос о существовании жидких металлических ядер в газожидких планетах-гигантах, имеющих мощные магнитные поля и громадные магнитосферы.

Приведем примеры разных видов контроля за изменениями параметров среды, точнее откликов среды на внешние гравитационные и электромагнитные воздействия на Землю. Закачка космической энергии в недра Земли происходит по законам воздействия электромагнитной энергии Солнца и, возможно, гравитационной энергии Солнца и Луны. Поэтому мы и наблюдаем установленные зависимости: корреляция тектонической деятельности Земли с изменениями магнитного поля Земли [19, 22]; влияние солнечной активности на вулканические [17, 37] и тектонические микроземлетрясения [41]; корреляция расхода лавы с солнечной активностью [20]; и др.

Эксперимент

Для подтверждения предположений о влиянии внешних факторов на подземную гидросферу в 2017–2018 гг. были проведены наблюдения за температурой и давлением на изливе глубокой напорной термальной скважины Верхне-Паратунской гидротермальной системы (ВП ГТС), расположенной в сейсмически активном регионе Земли (южная Камчатка). Наблюдения велись с целью регистрации изменений термодинамических параметров ГТС, которые являются откликами этой системы на внешние воздействия, такие как лунно-солнечные приливы, глубинное и поверхностное тепло, геодинамическое давление в регионе. ВП ГТС находится в зоне пересечения разноранговых разломов. Водоупорный слой гидротермальной системы, по данным геологов, расположен на глубине 400–600 м. На самоизливающейся скважине ГК-37 (глубина 1750 м, температура 95 °С, давление 10 атм., обсажена на глубину 600 м) были организованы непрерывные синхронные наблюдения за температурой и давлением в скважине с частотой опроса 10 мин. В результате наблюдений в течение 3 лет получены данные об изменениях синхронных флуктуаций температуры и давления термальной воды, в которых были выявлены околосуточные колебания. Околосуточные колебания данных параметров в гидротермальной системе наиболее четко проявлялись в летний период и менее выразительно – в зимний. Спектральный анализ околосуточных колебаний показал наличие только одной солнечной компоненты (см. рисунок).

Данные эксперимента показали следующее: отсутствие в гидротермальной системе воздействий лунно-приливно-характера; годовое распределение солнечно-суточных колебаний; практически постоянный уровень значений температуры и давления, без учета флуктуаций, которые наиболее интересны при рассмотрении откликов системы на разные воздействия; охлаждающее влияние таяния снега в межсезонье на гидротермальную систему составляет 0,7–0,9 °С



Изменения температуры (верхний график), давления (нижний график) и соответствующие им спектры околосуточных колебаний (Верхне-Паратунская гидротермальная система, 2017–2019 гг.)

Заключение

Исходя из наших представлений об образовании Земли как холодного тела, которые совпадают с взглядами В.И. Вернадского, считавшего, что «наша Земля, взятая в целом, является холодным инертным в астрономическом смысле телом, как и все другие планеты нашего Солнца» [6, с. 35], можно предположить:

1. Геологические процессы на холодной Земле и подобные им на планетах земной группы начались не в глубинах сформировавшихся планет с выделением тепла, воды и газов на поверхность, что в настоящее время считается общепризнанным фактом, а с нагрева Солнцем поверхностей планет, на которых образовалась вода. Эта метеорная вода, проникая вглубь планеты, создала подземную гидросферу, в которой преобразовывается и накапливается энергия разнообразных внутренних и внешних воздействий.

2. Постоянство водной оболочки на Земле предусматривает, что по мере роста подземной гидросферы будет уменьшаться объем воды в Мировом океане, а следовательно, и его площадь.

3. По нашим представлениям, внутреннее тепло, образованное взаимодействием воды с первородным веществом планеты за счет экзотермических химических реакций и тепла токов, индуцированных геомагнитными пульсациями вглубь планеты, приурочено к глубинным разломам. В районе этих разломов происходят тектонические, вулканические процессы и смещения земной коры за счет высоких давлений и объемных деформаций, возникающих при вещественных превращениях и температурных изменениях в системе вода–порода.

4. Как показывают анализ литературных данных и результаты экспериментов, проведенных на Верхне-Паратунской гидротермальной системе, наличие и изменения суточных колебаний температуры и давления в подземной гидросфере совпадают с дневной активностью Солнца, что позволяет сделать предположение о том, что эти воздействия влияют на всю толщу подземной гидросферы и не являются гравитационными.

Выражаем признательность к.ф.-м.н. С.Ю. Хомутову и к.г.-м.н. В.И. Белоусову за интерес к работе и ее обсуждение.

Начало работы выполнено при финансовой поддержке РФФИ (02-03-64237а), которая позволила организовать непрерывные наблюдения за термодинамическими параметрами гидротермальной системы и выбрать наиболее информативную скважину для режимных наблюдений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Атмосфера: справочник (справочные данные, модели). Л.: Гидрометеиздат, 1991. 509 с.
2. Батюшкова И.В. История проблемы происхождения материков и океанов. М.: Наука, 1975. 138 с.
3. Вартанян Г.С., Куликов Г.В. Гидрогеодеформационное поле Земли // Докл. АН СССР. 1982. Т. 262. С. 310–314.
4. Вернадский В.И. История природных вод. М.: Наука, 2003. 750 с.
5. Вернадский В.И. Очерки геохимии. М.: Наука, 1983. 422 с.
6. Вернадский В.И. Химическое строение биосферы Земли и ее окружения. М.: Наука, 1965. 373 с.
7. Виноградов А.П. Проблемы геохимии и космохимии. Избранные труды М.: Наука, 1988. 336 с.
8. Волохов И.М. Магмы, интрателлурические растворы и магматические формации (Заметки и некоторые предположения о магмато- и петрогенезе). Новосибирск: Наука, 1979. 166 с.
9. Горшков Г.П. Об очаге землетрясения // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4, геология. 1963. № 2.
10. Грейтон Л.К. Предположения о вулканическом тепле: М.: Иностран. литература, 1949. 165 с.
11. Дерпгольц В.Ф. Мир воды. Л.: Недра, 1979. 254 с.
12. Калинин Ю.Д. Солнечная обусловленность изменения длины суток и сейсмической активности // Геомагнетизм и аэрономия. 1975. Т. 15. С. 170–171.
13. Киссин И.Г. Флюидонасыщенность земной коры, электропроводность, сейсмичность // Физика Земли. 1996. № 4. С. 30–40.
14. Кольская сверхглубокая. Исследование глубинного строения континентальной коры с помощью бурения Кольской сверхглубокой скважины. М.: Недра, 1984. 490 с.
15. Котина Р.П., Френкель М.Я., Ярошевский А.А. Модель тепловой эволюции системы с экзотермическими реакциями и некоторые вопросы палингенеза // Геохимия. 1969. № 11. С. 1370–1378.
16. Кузьмин Ю.Д., Белоусов В.И., Сахно В.Г. Новый взгляд на Землю и процессы, происходящие на ее поверхности и глубине // Вестн. ДВО РАН. 2001. № 5. С. 100–122.
17. Кузьмин Ю.Д., Широков В.А. О влиянии космических факторов на сейсмичность и вулканизм Камчатки // Вопр. географии Камчатки. 1990. Вып. 10. С. 90–98.
18. Кузьмин Ю.Д., Сахно В.Г. Происхождение воды и ее роль в эволюции Земли // Вестн. ДВО РАН. 2020. № 2. С. 115–129.
19. Куражковский А.Ю., Куражковская Н.А., Клайн Б.И. О связи изменений напряженности магнитного поля Земли с геотектоническими процессами // Докл. АН. 2007. Т. 414, № 1. С. 97–100.
20. Леонов В.Л. О возможности сопоставления вулканической и солнечной активности на примере БТТИ // Вулканология и сейсмология. 1979. № 6. С. 62–66.
21. Мороз В. И. Физика планет. М.: Наука, 1967. 493 с.
22. Никишин А.М., Лейбов М.Б. О корреляции эпох тектонической истории Земли с изменением ее магнитного поля // Докл. АН СССР. 1987. Т. 2970, № 1. С. 167–169.
23. Орленок В.В. История океанизации Земли. Калининград: Янтарный сказ, 1998. 248 с.
24. Паняк С.Г. Формирование Земли: геолого-астрономический аспект // Изв. Уральского геологического горного ун-та. 2000. № 10. С. 7–11.
25. Перцев Б.П. О вековом замедлении вращения Земли // Физика Земли. 2000. № 3. С. 35–39.
26. Поспелов Г.Л. Проблемы эндогенной динамической флюидитологии // Геология и геофизика. 1969. № 11. С. 3–20.
27. Садовский М.А. О механике блочного горного массива // Геофизика и физика взрыва: избр. труды. М.: Наука, 2004. С. 399–402.
28. Семенов Н.Н. Избранные труды. Т. 2. Горение и взрыв. М.: Наука, 2005. 704 с.
29. Семенов Н.Н. Цепные реакции. 2-е изд. М.: Наука, 1986. 535 с.
30. Справочник химика. Т. 1. М.; Л.: Химия, 1966. 1071 с.
31. Стейси Ф. Физика Земли. М.: Мир, 1972. 342 с.
32. Ферронский В.И., Поляков В.А. Изотопия гидросферы. М.: Наука, 1983. 280 с.
33. Ферронский В.И. Изотопия природных вод и проблема происхождения Земли и ее гидросферы // Изотопия природных вод. М.: Наука, 1978. С. 3–9.
34. Физика космоса: Маленькая энциклопедия. М.: Сов. энциклопедия, 1986. 783 с.
35. Хизанашвили Г.Д. Динамика земной оси вращения и уровней океанов. Тбилиси: Цодна, 1960. 160 с.
36. Шило Н.А. Вихри – колыбель Солнечной системы. Гипотезы. Прогнозы (Будущее науки): междунар. ежегодник. Вып. 21. М.: Знание, 1988. С. 89–111.
37. Широков В.А., Кузьмин Ю.Д. О суточной цикличности вулканических землетрясений в Курило-Камчатской зоне // Вулканология и сейсмология. 1988. № 5. С. 92–99.
38. Яковлев Л.Е., Боровский Л.В. Гидродинамическая реакция системы вода–порода на химические и термические объемные деформации // Геохимия. 1994. № 7. С. 1002–1011.
39. Яковлев Л.Е. Инфильтрация воды в базальтовый слой земной коры. М.: Наука, 1999. 200 с. (Тр. ГИН РАН; вып 497).
40. Nutman F.P., Friend C.R.I., Bennet V.C. Review of the oldest (4400–3600 Ma) geological and mineralogical record: glimpses of the beginning // Episodes. 2001. Vol. 24, N 2. P. 93–100.
41. Surenda S. Geomagnetic activity and microearthquakes // Bull. Seismol. Soc. Amer. 1978. Vol. 68. P. 1533–1535.
42. Pianil L., Marrocchi Y., Rigaudier T., Vacher L.G., Thomassin D., Marty B. Earth's water may have been inherited from material similar to enstatite chondrite meteorites // Science. 2020. Vol. 369, iss. 6507. P. 1110–1113. DOI: 10.1126/science.aba1948

Авторский указатель статей, опубликованных в 2021 году

- АБРАМОВ А.С. См. Мельниченко Н.А.
- АБРАМОВ О.В. Использование технологии параллельных и распределенных вычислений в системах автоматизированного проектирования. № 4, с. 110.
- АВЧЕНКО О.В., Асеева А.В. О гипотезе образования Луны по А.А. Маракушеву. № 2, с. 89.
- АЛЕКСАНИН А.И., Алексанина М.Г., Левин В.А. Развитие спутникового мониторинга в ИАПУ ДВО РАН. № 4, с. 129.
- АЛЕКСАНИНА М.Г. См. Алексанин А.И.
- АНИКИНА О.В. См. Вознюк В.П.
- АНИСИМОВ Н.Ю. См. Кульчин Ю.Н.
- АСЕЕВА А.В. См. Авченко О.В. Она же. См. Селезнева Н.А.
- АХРОМЕЕВ С.В. См. Киселев С.М.
- БАКЛАНОВ П.Я., Ермошин В.В., Ганзей К.С. Основные этапы развития научных исследований в Тихоокеанском институте географии ДВО РАН. № 6, с. 32. Он же. См. Богатов В.В.
- БАРСУКОВА Е.Н., Чекушкина Т.Н. Перспективы выращивания земляники садовой (*Fragaria × ananassa* Duch.) в Приморском крае с использованием микроклонального размножения. № 3, с. 45. Она же. См. Чибизова А.С.
- БАСАЙ З.В. См. Мороховец Т.В.
- БЕГУН С.А. См. Сорокина А.И.
- БЕЛИКОВ В.В. См. Неров И.О.
- БЕЛОБЕЛЕЦКАЯ М.В. См. Стеблевская Н.И.
- БЕЛОВ Е.А., Надараиа К.В., Машталяр Д.В., Имшинецкий И.М., Цветников А.К., Синябрюхов С.Л., Бузник В.М., Гнеденков С.В. Композиционные покрытия, полученные методом ПЭО с последующим нанесением полимера из водной суспензии УТПФЭ. № 6, с. 5.
- БОБКОВ В.А., Кудряшов А.П., Морозов М.А. Результаты исследований ИАПУ ДВО РАН в области компьютерной графики и компьютерного зрения (1976–2020 гг.). № 4, с. 139.
- БОГАТОВ В.В., Бакланов П.Я., Лозовская С.А., Штец М.Б. Изменение климата и здоровье человека на Дальнем Востоке России [На англ. яз.]. № 1, с. 5. Он же. Точка отсчета (к 50-летию ДВНЦ АН СССР). № 2, с. 123.
- БОГДАН П.М. См. Клыкков А.Г.
- БОГОМОЛОВ Л.М. См. Веселов О.В.
- БОНДАРЕНКО Г.А., Соловьева И.А., Трухина Т.И., Иванов Д.А. Трихинеллез в природных условиях Амурской области. № 3, с. 128.
- БОНДАРЬ И.В. См. Каменев П.А.
- БОРИСОВА Н.М. См. Неров И.О.
- БОЧАРНИКОВ В.Н., Егидарев Е.Г., Линдберг И.В. Природоохранные приоритеты и территориальное развитие для инновационной экономики Приморского края. № 2, с. 69.
- БРОВКО П.Ф. См. Дзен Г.Н.
- БУГАЕЦ А.Н. См. Неров И.О.
- БУЗНИК В.М. См. Белов.

- БУЛГАКОВ В.П. См. Кульчин Ю.Н.
- БУРЕНИН А.А., Ковтанюк Л.В. Об одномоментной сменяемости в механизмах производства необратимых деформаций. № 4, с. 74.
- БУРКОВСКАЯ Е.В. См. Кульчин Ю.Н.
- БУТЕНКО Т.Ю. См. Сергиенко В.И.
- БУТОВЕЦ Е.С., Лукьянчук Л.М., Васина Е.А. Оценка потенциала урожайности и стрессоустойчивости сортов сои в условиях Приморского края. № 3, с. 20.
- ВАЙНУТИС К.С., Воронова А.Н. Исследование гельминтофауны реки Болотная и пойменного озера близ поселка Соловей-Ключ (Надеждинский район, Приморский край) . № 1, с. 94.
- ВАН В.М. См. Щеглова И.П.
- ВАСИЛЬЕВА Е.С. См. Неров И.О.
- ВАСИНА Е.А. См. Бутовец Е.С.
- ВЕСЕЛОВ О.В., Кордюков А.В., Богомолов Л.М., Дегтерев А.В., Закупин А.С., Ковалев Д.П., Прытков А.С., Сабиров Р.Н. Институту морской геологии и геофизики ДВО РАН – 75 лет. № 2, с. 147.
- ВИНОГРАДОВ А.Н., Кузнецов Р.С., Чипулис В.П. Информационно-аналитический центр по учету и регулированию энергоресурсов сложных технических объектов и инженерных систем Приморского края. № 4, с. 148.
- ВИТРИК О.Б. См. Кульчин Ю.Н.
- ВЛАСЕНКО Г.П. Оценка экологической пластичности ранних и среднеранних сортов картофеля в Камчатском крае. № 3, с. 100.
- ВОЗНЕСЕНСКИЙ С.С. См. Кульчин Ю.Н.
- ВОЗНЮК В.П., Ким И.В., Аникина О.В. Результаты исследований по селекции картофеля в условиях Приморского края. № 3, с. 35.
- ВОЙТ Е.И. См. Диденко Н.А. Она же. См. Давидович Р.Л.
- ВОРОНОВА А.Н. См. Вайнутис К.С.
- ВОСТРИКОВА С.С. См. Мороховец Т.В.
- ГАНЗЕЙ К.С. См. Бакланов П.Я.
- ГАРУСОВА Л.Н. Угрозы и риски безопасности США на фоне пандемии COVID-19: рефлексия американского общества. № 1, с. 111.
- ГАФИЦКАЯ И.В. См. Кульчин Ю.Н.
- ГЕНСИОРОВСКИЙ Ю.В. См. Степнова Ю.А.
- ГЕРАСИМЕНКО А.В. См. Диденко Н.А.
- ГИНТЕР Е.В. См. Кузьмина И.Ю.
- ГЛАДКОВА Г.А. См. Сибирица Л.А.
- ГЛОТКО А.В. См. Неров И.О.
- ГНЕДЕНКОВ А.С., Филонина В.С., Синебрюхов С.Л., Сергиенко В.И., Гнеденков С.В. Гибридные полимерсодержащие покрытия, импрегнированные ингибитором коррозии, для защиты биорезорбируемых магниевых имплантатов. № 5, с. 56. Он же. См. Подгорбунский А.Б.
- ГНЕДЕНКОВ С.В. См. Гнеденков А.С. Он же. См. Опра Д.П. Он же. См. Подгорбунский А.Б. Он же. См. Белов.
- ГОЛЬЦОВА Д.О. См. Кульчин Ю.Н.
- ГОНЧАРУК В.К. См. Слободюк А.Б.
- ГОРБАТЕНКО Л.В. См. Егидарев Е.Г.
- ГОРДЕЕВ Н.А. См. Каменев П.А.
- ГОРОВОЙ П.Г. См. Нечаев В.А.
- ГОРЯЧЕВА Е.А. Эпидемия коронавирусной инфекции в Японии как фактор дестабилизации режима Синдзо Абэ. № 1, с. 120.
- ГРИБОВА В.В. Исследования в области искусственного интеллекта в Дальневосточном отделении РАН. № 4, с. 119.

- ГРИГОРЧУК В.П. См. Кульчин Ю.Н.
- ГРИШИН С.Ю. Лахар на склоне вулкана Алаид (остров Атласова, Курилы) и его воздействие на растительность: первые данные по спутниковым изображениям. № 2, с. 63.
- ГРИЩЕНКО Д.Н., Медков М.А. Получение кальций-фосфатных материалов для замещения и регенерации костной ткани. № 6, с. 22.
- ГУЗЕВ М.А. См. Журавлев Ю.Н.
- ГУКОВ Г.В. См. Чибизова А.С.
- ГУРАВСКАЯ Г.И., Касаткина А.П. Новый морфологический признак эуконодонтовых животных (ультрамикроскопические исследования). № 1, с. 102.
- ГУРБАТОВ С.О. См. Мироненко А.Ю.
- ДАВИДОВИЧ Р.Л. Координационные фторидные соединения металлов с аминокислотами – новый класс комплексных фторидов металлов. № 5, с. 9. Он же, Логвинова В.Б., Войт Е.И., Меркулов Е.Б., Кайдалова Т.А. Комплексные фториды галлия(III) с аминокислотой глицином: синтез и исследование. № 5, с. 33.
- ДЕГТЕРЕВ А.В. См. Веселов О.В.
- ДЕГТЯРЕВ В.А. См. Каменев П.А.
- ДЗЕН Г.Н., Бровка П.Ф., Лабай В.С. Лагунное озеро Птичье (остров Сахалин) как объект туризма. № 2, с. 83.
- ДИДЕНКО Н.А., Войт Е.И., Саянкина К.А., Слободюк А.Б., Герасименко А.В. Влияние гидратного числа на строение, термические свойства и характер ионной подвижности в кристаллогидратах фторидоцирконатов с катионами цинка. № 5, с. 107.
- ДИКУНИНА С.С., Шульга Н.Н., Котельникова Е.П., Миллер Т.В. Сравнительная антибактериальная эффективность настойки чаги березовой и препарата Бефунгин. № 3, с. 124.
- ДМИТРИЕВА Е.Э. См. Медков М.А.
- ДОЛГИХ Г.И. См. Лешко О.А.
- ДУБИНА В.А. См. Плотников В.В.
- ДУБКОВ А.А. См. Тимошинов Р.В.
- ДУДКО О.В., Рагозина В.Е., Иванова Ю.Е., Манцыбора А.А., Лаптева А.А. Нелинейная динамика деформирования в ИАПУ ДВО РАН: итоги пяти лет развития. № 4, с. 66.
- ДЫШЛЮК А.В. См. Кульчин Ю.Н.
- ЕГИДАРЕВ Е.Г., Горбатенко Л.В., Тюняткин Д.Г. Оценка зоны затопления поймы реки Амур в 2013 г. на основе данных космического мониторинга. № 6, с. 56. Он же. См. Бочарников В.Н.
- ЕРМОШИН В.В. См. Бакланов П.Я.
- ЖУРАВЛЕВ Ю.Н., Карпенко А.А., Гузев М.А. К многообразию функций гуанинсодержащих структур в живых системах. № 2, с. 5.
- ЗАДОРЖНЫЙ П.А. См. Суховерхов С.В.
- ЗАЙЦЕВ А.И., Пелиновский Е.Н. Регистрация глубокофокусного землетрясения 13 февраля 2020 года около острова Итуруп. № 1, с. 65.
- ЗАКУПИН А.С. См. Веселов О.В.
- ЗАРЯНОВ Ю.Н. См. Сарьян В.К.
- ЗОЗУЛЬ Ю.Н. См. Киселев С.М.
- ИВАНОВ Д.А. См. Бондаренко Г.А.
- ИВАНОВА Ю.Е. См. Дудко О.В.
- ИВАШОВ П.В. Биогеохимическая провинция олова в южной части Дальнего Востока России. № 2, с. 55.
- ИВШИН В.М. Результаты геомеханических исследований на Камчатке. № 1, с. 22.
- ИМШИНЕЦКИЙ И.М. См. Белов. Он же. См. Подгорбунский А.Б.

- ИОНОВ А.А. См. Кульчин Ю.Н.
ИСАЕВ Д.В. См. Киселев С.М.
КАВУН В.Я. См. Слободюк А.Б.
КАЙДАЛОВА Т.А. См. Давидович Р.Л.
КАМЕНЕВ О.Т. См. Кульчин Ю.Н.
КАМЕНЕВ П.А., Дегтярев В.А., Костров Ю.В., Маринин А.В., Бондарь И.В., Гордеев Н.А., Халиулин Р.Р., Хмарин Э.К., Левин А.В. Изучение трещинных коллекторов северного Сахалина в рамках комплексной экспедиции 2020 года. № 2, с. 114.
КАНТЕМИРОВ В.Д., Яковлев А.М., Титов Р.С. Геоинформационные технологии блочного моделирования для оценки качественных показателей полезных ископаемых в условиях переходных процессов горного производства. № 1, с. 38.
КАРПЕНКО А.А. См. Журавлев Ю.Н.
КАСАТКИНА А.П. См. Гуравская Г.И.
КИМ И.В. См. Вознюк В.П.
КИНШТ Н.В., Петрунько Н.Н. Структура и свойства диагностической модели дефектов изоляции электрооборудования. № 4, с. 82.
КИСЕЛЕВ С.М., Зозуль Ю.Н., Лашенова Т.Н., Шлыгин В.В., Исаев Д.В., Ахромеев С.В., Малахова А.Н. Оценка состояния морской акватории в районе ядерной аварии на атомной подводной лодке в бухте Чажма (Приморский край). № 1, с. 70.
КИСЛОВА С.И. См. Плотников В.В.
КЛИМЧЕНКО В.В. См. Самотылова С.А.
КЛОЧКОВА Н.Л. См. Скалозуб О.М.
КЛЫКОВ А.Г., Муругова Г.А., Богдан П.М., Тимошинова О.А., Коновалова И.В., Крючкова Н.А. Перспективные направления и результаты селекции зерновых и крупяных культур в Приморском крае. № 3, с. 9. Он же. См. Тимошинов Р.В.
КЛЮЧНИКОВ М.Т. См. Ключникова Н.Ф.
КЛЮЧНИКОВА Н.Ф., Ключников М.Т. Способ повышения оплодотворяемости коров на молочных фермах Дальнего Востока. № 3, с. 132. Она же, Ключников М.Т., Ключникова Е.М. Сезон отела и продуктивность коров на фермах Хабаровского края. № 3, с. 148. Она же. См. Ключникова Н.Ф.
КОВАЛЕВ Д.П. См. Веселов О.В.
КОВТАНИЮК Л.В. См. Буренин А.А.
КОНОВАЛОВ А.В. См. Степнова Ю.А.
КОНОВАЛОВА И.В. См. Клыков А.Г.
КОПЫЛОВ М.И., Федосеев Д.Г., Снычков А.Д. Новые долговременные методы защиты от коронавируса COVID-19 с использованием цеолита. № 1, с. 136.
КОРДЮКОВ А.В. См. Веселов О.В.
КОСТРОВ Ю.В. См. Каменев П.А.
КОСТЮК А.В. См. Лукачѳва Н.Г.
КОТЕЛЬНИКОВА Е.П. См. Дикунина С.С.
КРАСНОПЕЕВ С.М. См. Неров И.О.
КРОЛЕВЕЦКАЯ Ю.В. См. Неров И.О.
КРЫСЕНКО Г.Ф. См. Медков М.А.
КРЮЧКОВА Н.А. См. Клыков А.Г.
КУДРЯШОВ А.П. См. Бобков В.А.
КУЗНЕЦОВ Р.С. См. Виноградов А.Н.
КУЗЬМИН А.В. См. Кузьмина И.Ю.
КУЗЬМИН Ю.Д., Сахно В.Г. Роль воды в эволюции Земли и планет земной группы. № 6, с. 130.
КУЗЬМИНА И.Ю., Гинтер Е.В., Кузьмин А.В. Экономическая эффективность применения кедрового стланика и лишайника в рационах помесного молодняка

- абердин-ангусской породы в условиях Магаданской области. № 3, с. 136. Она же. Использование ламинарии и лишайников в рационе молодняка крупного рогатого скота. № 3, с. 141.
- КУЛИКОВА Н.Е., Чернобровина А.Г., Роева Н.Н., Попова О.Ю. Изучение некоторых свойств активированного ферментного препарата высокой степени очистки методами спектрального и седиментационного анализов. № 6, с. 122. Она же. См. Чернобровина А.Г.
- КУЛЬЧИН Ю.Н., Вознесенский С.С., Витрик О.Б., Дышлюк А.В., Каменев О.Т., Кучмижак А.А., Майор А.Ю., Никитин А.И., Павлов А.Н., Ромашко Р.В., Субботин Е.П. Научная школа лазерной физики Института автоматизации и процессов управления ДВО РАН. № 4, с. 5. Он же, Анисимов Н.Ю., Ионов А.А., Пивоваров Д.С., Яцко Д.С., Шарова Е.А., Никитин А.И. Роботизированная лазерная влажная очистка тонкостенных конструкций. № 4, с. 30. Он же, Булгаков В.П., Субботин Е.П., Гольцова Д.О., Холин А.С., Ляхова Л.П., Субботина Н.И., Гафицкая И.В., Григорчук В.П., Бурковская Е.В., Хроленко Ю.А., Орловская И.Ю., Наконечная О.В. Фотонная регуляция биосинтеза вторичных метаболитов в салате *Eruca sativa*. № 4, с. 87.
- КУСТОВА Е.В. См. Мельниченко Н.А.
- КУЧМИЖАК А.А. См. Кульчин Ю.Н. Он же. См. Мироненко А.Ю.
- КУШАЕВА Е.Ж. См. Тимошинов Р.В.
- ЛАБАЙ В.С. См. Дзен Г.Н.
- ЛАЗАРЮК А.Ю. См. Мельниченко Н.А.
- ЛАПТЕВА А.А. См. Дудко О.В.
- ЛАРИН В.Л. Какие уроки мир должен извлечь из пандемии. № 1, с. 147.
- ЛАЩЕНОВА Т.Н. См. Киселев С.М.
- ЛЕВИН А.В. См. Каменев П.А.
- ЛЕВИН В.А. См. Алексанин А.И.
- ЛЕВОШКО О.А., Долгих Г.И. Исследование динамики собственных колебаний Земли с периодом 20,5 мин лазерно-интерференционным методом. № 2, с. 34.
- ЛЕКСИН В.К., Романюк В.А. Исследование ледовой экзарации в прибрежной части шельфа Сахалина. № 6, с. 94.
- ЛИНДБЕРГ И.В. См. Бочарников В.Н.
- ЛОБКИНА В.А. См. Степнова Ю.А.
- ЛОГВИНОВА В.Б. См. Давидович Р.Л.
- ЛОЗОВСКАЯ С.А. См. Богатов В.В.
- ЛУКАЧЁВА Н.Г., Костюк А.В. Формирование устойчивости биотипами сорняков рода *Echinochloa* к гербициду Номини, СК на рисовых полях Приморского края. № 3, с. 63.
- ЛУКЪЯНЧУК Л.М. См. Бутовец Е.С.
- ЛУЦЕНКО Н.А., Смирнов С.В., Фецов С.С. Численное моделирование в задачах механики многофазных сред и динамики океана. № 4, с. 59.
- ЛЮБУШИН А.А. См. Сарьян В.К.
- ЛЯХОВА Л.П. См. Кульчин Ю.Н.
- МАЙОР А.Ю. См. Кульчин Ю.Н.
- МАЛАХОВА А.Н. См. Киселев С.М.
- МАЛЫШЕВА Е.Н. См. Пунина Т.А.
- МАНЦЫБОРА А.А. См. Дудко О.В.
- МАРИНИН А.В. См. Каменев П.А.
- МАРЧУК Л.Е. См. Тимошинов Р.В.
- МАЦИШИНА Н.В., Фисенко П.В., Собко О.А. Морфологические аномалии в онтогенезе картофельной коровки *Henosepilachna vigintioctomaculata* (Motschulsky, 1857) (Coleoptera: Coccinellidae). № 3, с. 57.

- МАШТАЛЯР Д.В. См. Белов. Он же. См. Подгорбунский А.Б.
- МЕДКОВ М.А., Крысенко Г.Ф., Эпов Д.Г., Дмитриева Е.Э., Ситник П.В. Очистка флотационных графитовых концентратов с использованием бифторида и сульфата аммония. № 5, с. 144. Он же. См. Стеблевская Н.И. Он же. См. Грищенко Д.Н.
- МЕЛЬНИЧЕНКО Н.А., Тювеев А.В., Лазарюк А.Ю., Кустова Е.В., Абрамов А.С. Пористость, проницаемость и структура морского льда в бухте Новик (остров Русский) по данным гидрологических измерений, МРТ и КТ. № 1, с. 49.
- МЕРКУЛОВ Е.Б. См. Давидович Р.Л.
- МИЛЛЕР Т.В. См. Дикунина С.С.
- МИРОНЕНКО А.Ю., Тутов М.В., Гурбатов С.О., Кучмижак А.А. Детектирование нитроароматических соединений на функционализированных кремниевых нанотекстурах. № 1, с. 105.
- МИШИН В.Ю. Меры Республики Корея и КНДР по борьбе с COVID-19 как составная часть национальной и региональной безопасности. № 1, с. 126.
- МОРОЗ В.В., Шагилина Т.А., Рудых Н.И. Формирование аномальных термических режимов в северной части Татарского пролива и Амурском лимане под воздействием атмосферных процессов. № 6, с. 101.
- МОРОЗОВ М.А. См. Бобков В.А.
- МОРОХОВЕЦ В.Н. См. Мороховец Т.В.
- МОРОХОВЕЦ Т.В., Мороховец В.Н., Штерболова Т.В., Басай З.В., Вострикова С.С., Скорик Н.С. Видовая чувствительность сорных растений на ранних стадиях развития к гербициду Флекс, КЭ 70. № 3, с. 70.
- МОХАНЬ О.В. Приморский научно-исследовательский институт сельского хозяйства: развитие и достижения. № 3, с. 5.
- МУЗЫЧЕНКО А.А. См. Степнова Ю.А.
- МУЗЫЧЕНКО Л.Е. См. Степнова Ю.А.
- МУРУГОВА Г.А. См. Клыкков А.Г.
- НАДАРАИЯ К.В. См. Белов.
- НАЗАРЕНКО А.П. См. Сарьян В.К.
- НАКОНЕЧНАЯ О.В. См. Кульчин Ю.Н.
- НЕВСКИЙ В.Н. Заметки о некоторых физико-географических науках в культуре постмодерна, синтезе и парадигмах. № 6, с. 64.
- НЕРОВ И.О., Краснопеов С.М., Бугаец А.Н., Беликов В.В., Глотко А.В., Борисова Н.М., Васильева Е.С., Кролевецкая Ю.В. Опыт создания цифровой модели рельефа для гидродинамических расчетов в бассейне р. Амур. № 6, с. 45.
- НЕЧАЕВ В.А., Горовой П.Г. Миграции и особенности зимнего питания фазана (*Phasianus colchicus* L.) на юге Приморского края. № 6, с. 72.
- НИКИТИН А.И. См. Кульчин Ю.Н.
- ОПРА Д.П., Цветников А.К., Синебрюхов С.Л., Сергиенко В.И., Гнеденков С.В. Электродные материалы с улучшенными характеристиками для литиевых и натриевых электрохимических источников тока: результаты и перспективы (Обзор). № 5, с. 65.
- ОРЕХОВ А.А. См. Степнова Ю.А.
- ОРЛОВСКАЯ И.Ю. См. Кульчин Ю.Н.
- ПАВЛЕНКО А.П. Оптимизация условий экспрессии и выделения рекомбинантного аналога актинопорина Hct-A2 морской анемоны *Heteractis crispa*. № 1, с. 149.
- ПАВЛОВ А.Н. См. Кульчин Ю.Н.
- ПАРХАТОВА В.С. См. Чувилина В.А.
- ПЕЛИНОВСКИЙ Е.Н. См. Зайцев А.И.
- ПЕТРУНЬКО Н.Н. См. Киншт Н.В.
- ПИВОВАРОВ Д.С. См. Кульчин Ю.Н.
- ПИСКУНОВ К.С. См. Тимошинов Р.В.

- ПЛОТНИКОВ В.В., Дубина В.А., Кислова С.И. Оценка возможности долгосрочного моделирования состояния ледяного покрова (распределения сплоченности льда) в Японском море. № 1, с. 58.
- ПОДГОРБУНСКИЙ А.Б., Имшинецкий И.М., Машталяр Д.В., Гнеденков А.С., Синябрюхов С.Л., Гнеденков С.В. Использование синтетического наноразмерного гидроксипатита для формирования биоактивных антикоррозионных покрытий на магнии. № 5, с. 43.
- ПОЛЯКОВА Н.В. См. Суховерхов С.В.
- ПОЛЯНЦЕВ М.М. См. Слободюк А.Б.
- ПОПОВА О.Ю. См. Куликова Н.Е. Она же . См. Чернобровина А.Г.
- ПРЫТКОВ А.С. См. Веселов О.В.
- ПУНИНА Т.А., Мальшева Е.Н. Литолого-палеоэкологическая характеристика верхнепермской органогенной постройки горы Голубиная, южное Приморье. № 2, с. 20.
- РАГОЗИНА В.Е. См. Дудко О.В.
- РАЗУМОВ Е.А. Новые тенденции в системе социального рейтинга и информационной безопасности КНР в условиях обострения эпидемиологической ситуации. № 1, с. 132.
- РОЕВА Н.Н. См. Куликова Н.Е. Она же. См. Чернобровина А.Г.
- РОМАНЮК В.А. См. Лексин В.К.
- РОМАШКО Р.В. Адаптивная голографическая интерферометрия: техника, прогресс и приложения. № 4, с. 40. Он же. См. Кульчин Ю.Н.
- РУДЫХ Н.И. См. Мороз В.В.
- САБИРОВ Р.Н. См. Веселов О.В.
- САМОТЬЛОВА С.А., Климченко В.В., Торгашов А.Ю. Применение адаптивных моделей в системах усовершенствованного управления массообменными технологическими объектами. № 4, с. 48.
- САМУТЕНКО Л.В. Лабильное органическое вещество аллювиальной серогумусовой почвы с разными агрохимическими фонами (остров Сахалин). № 3, с. 106.
- САРЬЯН В.К., Любушин А.А., Назаренко А.П., Зарянов Ю.Н. Перспективы снижения потерь от чрезвычайных ситуаций природного происхождения. № 1, с. 83.
- САХНО В.Г. См. Кузьмин Ю.Д.
- САЯНКИНА К.А. См. Диденко Н.А.
- СЕЛЕЗНЕВА Н.А., Тишкова А.Г., Федорова Т.Н., Асеева Т.А. Влияние антропогенной нагрузки на изменение агробиологических свойств почвы, урожайность и качество зерна яровой пшеницы. № 3, с. 113.
- СЕРГИЕНКО В.И., Бутенко Т.Ю. На первое место он ставил человеческие отношения. (К 85-летию со дня рождения Виктора Юрьевича Глущенко). № 5, с. 152. Он же. См. Гнеденков А.С. Он же. См. Опра Д.П.
- СИБИРИНА Л.А., Гладкова Г.А. Тис-долгожитель (*Taxus cuspidata*) в национальном парке «Удэгейская легенда». № 2, с. 28.
- СИНЕБРЮХОВ С.Л. См. Белов. Он же. См. Гнеденков А.С. Он же. См. Опра Д.П. Он же. См. Подгорбунский А.Б.
- СИТНИК П.В. См. Медков М.А.
- СКАЛОЗУБ О.М., Ключкова Н.Л. Оценка основных хозяйственно полезных признаков тимфеевки луговой в коллекционном питомнике. № 3, с. 52.
- СКОРИК Н.С. См. Мороховец Т.В.
- СЛОБОДЮК А.Б., Полянцев М.М., Гончарук В.К., Кавун В.Я. Функциональные материалы с высокой ионной проводимостью на основе трифторида висмута. № 5, с. 95. Он же. См. Диденко Н.А.
- СМИРНОВ С.В. См. Луценко Н.А.
- СНЫЧКОВ А.Д. См. Копылов М.И.

- СОБКО О.А. См. Мацишина Н.В.
- СОЛОВЬЕВА И.А. См. Бондаренко Г.А.
- СОРОКИНА А.И., Якименко М.В., Бегун С.А. Динамика роста титра микробных клеток штаммов *Bradyrhizobium japonicum* и *Sinorhizobium fredii* при глубинном культивировании в лабораторном ферментере. № 3, с. 92.
- СТЕБЛЕВСКАЯ Н.И., Белобелецкая М.В., Медков М.А. Экстракционно-пиролитический метод получения функциональных материалов на основе оксидов металлов: возможности и перспективы. № 5, с. 123.
- СТЕПНОВ А.А. См. Степнова Ю.А.
- СТЕПНОВА Ю.А., Генсировский Ю.В., Лобкина В.А., Музыченко Л.Е., Музыченко А.А., Орехов А.А., Степнов А.А., Коновалов А.В. Активизация экзогенных геодинамических процессов на юге Приморского края 27–28 августа 2019 г. № 2, с. 42.
- СУББОТИН Е.П. См. Кульчин Ю.Н.
- СУББОТИНА Н.И. См. Кульчин Ю.Н.
- СУХОВЕРХОВ С.В., Задорожный П.А., Полякова Н.В. Применение инструментальных методов для анализа объектов нефтепромысловых химии. № 5, с. 134.
- СУЩЕНКО А.А. Об актуальности исследования задач акустической томографии методами теории переноса излучения. № 2, с. 104.
- ТЕЛИЧКО О.Н. Показатели хозяйственно ценных признаков гибридов (F3–F4) вики яровой и их корреляционные взаимосвязи. № 3, с. 40.
- ТИМОШИНОВ Р.В., Кушаева Е.Ж., Марчук Л.Е., Дубков А.А., Пискунов К.С., Клыков А.Г. Влияние различных систем удобрений на урожайность сои и пшеницы в севообороте длительного опыта на агрохимическом стационаре ФНЦ агроботехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки. № 3, с. 75.
- ТИМОШИНОВА О.А. См. Клыков А.Г.
- ТИТОВ С.А. См. Фокина Е.М. См. Титов Р.С. См. Кантемиров В.Д.
- ТИШКОВА А.Г. См. Селезнева Н.А.
- ТОРГАШОВ А.Ю. См. Самогылова С.А.
- ТРУХИНА Т.И. См. Бондаренко Г.А.
- ТУТОВ М.В. См. Мироненко А.Ю.
- ТЮВЕЕВ А.В. См. Мельниченко Н.А.
- ТЮНЯТКИН Д.Г. См. Егидарев Е.Г.
- ФЕДОРОВА Т.Н. См. Селезнева Н.А.
- ФЕДОСЕЕВ Д.Г. См. Копылов М.И.
- ФЕЦОВ С.С. См. Луценко Н.А.
- ФИЛАРЕТОВ В.Ф. Новый принцип построения следящих систем управления многосвязными динамическими объектами. № 4, с. 53.
- ФИЛОНИНА В.С. См. Гнеденков А.С.
- ФИСЕНКО П.В. См. Мацишина Н.В.
- ФОКИНА Е.М., Титов С.А. Новые сорта сои амурской селекции. № 3, с. 85.
- ХАЛИУЛИН Р.Р. См. Каменев П.А.
- ХАМАГАНОВА Т.Н. Фазы переменного состава $Cd_{1-x}M_xV_4O_7$ ($0 \leq x \leq 0,07$), $M = Tb, Eu$. № 6, с. 118.
- ХАРИТОНОВ Д.И. Эволюция высокопроизводительных ресурсов в ИАПУ ДВО РАН. № 4, с. 99.
- ХИСАМУТДИНОВ А.А. В.К. Арсеньев и его связи с деятелями Российской академии наук. № 2, с. 136.
- ХМАРИН Э.К. См. Каменев П.А.
- ХОЛИН А.С. См. Кульчин Ю.Н.
- ХРОЛЕНКО Ю.А. См. Кульчин Ю.Н.
- ЦВЕТНИКОВ А.К. Энерго- и ресурсосберегающие материалы на основе ультрадисперсного низкомолекулярного политетрафторэтилена. № 5, с. 79. Он же. См. Опра Д.П.

ЦВЕТНИКОВ А.К.. См. Белов.
ЧЕКУШКИНА Т.Н. См. Барсукова Е.Н.
ЧЕРНОБРОВИНА А.Г., Куликова Н.Е., Роева Н.Н., Попова О.Ю. Она же. См. Куликова Н.Е. Влияние предварительной обработки ягод красной смородины на выход фитоингредиентов и комплексообразующие свойства сока. № 6, с. 145.
ЧИБИЗОВА А.С., Барсукова Е.Н., Гуков Г.В. Поверхностное культивирование мицелия гриба шиитаке (*Lentinula edodes* (Berk.) Pegler) на питательных средах с биостимуляторами. № 3, с. 29.
ЧИПУЛИС В.П. См. Виноградов А.Н.
ЧУВИЛИНА В.А., Пархатова В.С. Влияние сроков посева на кормовую и зерновую продуктивность ячменя в условиях острова Сахалин. № 3, с. 119.
ШАРОВ М.А. Ройливость и роение медоносной пчелы дальневосточной породы в условиях Приморского края. № 3, с. 81.
ШАРОВА Е.А. См. Кульчин Ю.Н.
ШАТИЛИНА Т.А. См. Мороз В.В.
ШЛЫГИН В.В. См. Киселев С.М.
ШТЕРБОЛОВА Т.В. См. Мороховец Т.В.
ШТЕЦ М.Б. См. Богатов В.В.
ШУЛЬГА Н.Н. См. Дикунина С.С.
ЩЕГЛОВА И.П., Ван В.М. Сосудистые растения заказника «Ольджиканский». № 6, с. 77.
ЭПОВ Д.Г. См. Медков М.А.
ЯКИМЕНКО М.В. См. Сорокина А.И.
ЯКОВЛЕВ А.М. См. Кантемиров В.Д.
ЯЦКО Д.С. См. Кульчин Ю.Н.

Авторский указатель статей, опубликованных в 2021 году. № 6, с. 145.
Академику РАН Виктору Всеволодовичу Богатову – 70 лет. № 4, с. 155.
От Отдела химии ДВФ СО АН СССР до Института химии ДВО РАН. № 5, с. 5.
Правила для авторов. № 1, с. 153.

*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 П.Я. Бакланов
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 П.Э. Кирпичев

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

ИП Сердюк Оксана Александровна
690065 Владивосток, ул. Стрельникова, 12-87.
Тел. +79147102232. E-mail: oksanaserdiuk62@gmail.com

Отпечатано в ООО «ПСИ95»
Владивосток, ул. Русская, 65, корпус 10

Выход в свет 23.12.2021 г.
Формат 70 × 108/16
Печать офсетная
Усл. печ. л. 13,7
Уч.-изд. л. 12,64
Тираж 300 экз. Заказ ИВ212116
Цена свободная

Свидетельство Роскомнадзора о регистрации ПИ № ФС77-75560 от 12.04.2019 г.