

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

1 (215). 2021

СОДЕРЖАНИЕ

Науки о Земле

В.В. БОГАТОВ, П.Я. БАКЛАНОВ, С.А. ЛОЗОВСКАЯ, М.Б. ШТЕЦ. Изменение климата и здоровье человека на Дальнем Востоке России [На англ. яз.]	5
В.М. ИВШИН. Результаты геомеханических исследований на Камчатке	22
В.Д. КАНТЕМИРОВ, А.М. ЯКОВЛЕВ, Р.С. ТИТОВ. Геоинформационные технологии блочного моделирования для оценки качественных показателей полезных ископаемых в условиях переходных процессов горного производства	38
Н.А. МЕЛЬНИЧЕНКО, А.В. ТЮБЕЕВ, А.Ю. ЛАЗАРИУК, Е.В. КУСТОВА, А.С. АБРАМОВ. Пористость, проницаемость и структура морского льда в бухте Новик (остров Русский) по данным гидрологических измерений, МРТ и КТ	49
<u>В.В. ПЛОТНИКОВ</u> , В.А. ДУБИНА, С.И. КИСЛОВА. Оценка возможности долгосрочного моделирования состояния ледяного покрова (распределения сплоченности льда) в Японском море	58
А.И. ЗАЙЦЕВ, Е.Н. ПЕЛИНОВСКИЙ. Регистрация глубоководного землетрясения 13 февраля 2020 года около острова Итуруп	65
С.М. КИСЕЛЕВ, Ю.Н. ЗОЗУЛЬ, Т.Н. ЛАЩЕНОВА, В.В. ШЛЫГИН, Д.В. ИСАЕВ, С.В. АХРОМЕЕВ, А.Н. МАЛАХОВА. Оценка состояния морской акватории в районе ядерной аварии на атомной подводной лодке в бухте Чажма (Приморский край)	70
В.К. САРЬЯН, А.А. ЛЮБУШИН, А.П. НАЗАРЕНКО, Ю.Н. ЗАРЯНОВ. Перспективы снижения потерь от чрезвычайных ситуаций природного происхождения	83

Биологические науки

К.С. ВАЙНУТИС, А.Н. ВОРОНОВА. Исследование гельминтофауны реки Болотная и пойменного озера близ поселка Соловей-Ключ (Надеждинский район, Приморский край)	94
Г.И. ГУРАВСКАЯ, А.П. КАСАТКИНА. Новый морфологический признак эукодонтовых животных (ультрамикроскопические исследования)	102

Химические науки

А.Ю. МИРОНЕНКО, М.В. ТУТОВ, С.О. ГУРБАТОВ, А.А. КУЧМИЖАК. Детектирование нитроароматических соединений на функционализированных кремниевых нанотекстурах	105
--	-----

COVID-19: экономика, политика, безопасность Северной Пацифики в начале третьего десятилетия XXI в.

Л.Н. ГАРУСОВА. Угрозы и риски безопасности США на фоне пандемии COVID-19: рефлексия американского общества	111
Е.А. ГОРЯЧЕВА. Эпидемия коронавирусной инфекции в Японии как фактор дестабилизации режима Синдзо Абэ	120
В.Ю. МИШИН. Меры Республики Корея и КНДР по борьбе с COVID-19 как составная часть национальной и региональной безопасности	126
Е.А. РАЗУМОВ. Новые тенденции в системе социального рейтинга и информационной безопасности КНР в условиях обострения эпидемиологической ситуации	132
М.И. КОПЫЛОВ, Д.Г. ФЕДОСЕЕВ, А.Д. СНЫЧКОВ. Новые долговременные методы защиты от коронавируса COVID-19 с использованием цеолита	136
Какие уроки мир должен извлечь из пандемии. <i>В.Л. ЛАРИН</i>	147

Научная смена

А.П. ПАВЛЕНКО. Оптимизация условий экспрессии и выделения рекомбинантного аналога актинопорина Hst-A2 морской анемоны <i>Heteractis crispa</i>	149
--	-----

Правила для авторов	153
---------------------------	-----

Редакция журнала поздравляет члена редакционной коллегии академика РАН Ю.Н. Кульчина с присуждением ему Российской академией наук Золотой медали имени Н.Г. Басова 2020 года за цикл работ «Физические основы лазерных методов исследования океана и атмосферы».

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 | – главный научный сотрудник Федерального научного центра биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН, Владивосток |
| акад. РАН Е.И. ГОРДЕЕВ | – научный руководитель Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский |
| акад. РАН М.А. ГУЗЕВ | – директор Института прикладной математики ДВО РАН, Владивосток |
| акад. РАН Г.И. ДОЛГИХ | – зам. директора по научным вопросам Тихоокеанского океанологического института им. В.И. Ильичёва ДВО РАН, Владивосток |
| 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 | – главный научный сотрудник 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

1 (215). 2021

CONTENTS

Earth sciences

V.V. BOGATOV, P.Ya. BAKLANOV, S.A. LOZOVSKAYA, M.B. SHTETS. Climate change and health in the Russian Far East	5
V.M. IVSHIN. Results of geomechanical research in Kamchatka	22
V.D. KANTEMIROV, A.M. YAKOVLEV, R.S. TITOV. Geoinformation technologies of block modeling for assessing the quality indicators of minerals in the conditions of transient processes in mining	38
N.A. MEL'NICHENKO, A.V. TYUVEEV, A.Yu. LAZARYUK, E.V. KUSTOVA, A.S. ABRAMOV. Porosity, permeability and structure of sea ice in the Novik Bay (the Russian Island) on base of hydrological field research, MRT and CT	49
V.V. PLOTNIKOV, V.A. DUBINA, S.I. KISLOVA. Assessment of the possibility of a long-term modeling of the ice cover condition in the Sea of Japan	58
A.I. ZAYTSEV, E.N. PELINOVSKIY. Deep focus earthquake registration near the Iturup Island on February 13, 2020	65
S.M. KISELEV, Yu.N. ZOZUL, T.N. LASCHENOVA, V.V. SHLYGIN, D.V. ISAEV, S.V. AHROMEEV, A.N. MALAKHOVA. Environmental assessment of the marine area in the vicinity of a nuclear submarine accident in the Chazma Bay (Primorsky Krai)	70
V.K. SARIAN, A.A. LYUBUSHIN, A.P. NAZARENKO, Yu.N. ZARYANOV. Prospects for reducing losses from natural emergencies	83

Biological sciences

K.S. VAINUTIS, A.N. VORONOVA. Study of helminth fauna in the Bolotnaya River and floodplain lake near the Solovey-Klyuch village (Nadezhdinsky District, Primorsky Region)	94
G.I. GURAVSKAYA, A.P. KASSATKINA. New morphological character of euconodont animals (ultramicroscopic investigations)	102

Chemical sciences

A.Yu. MIRONENKO, M.V. TUTOV, S.O. GURBATOV, A.A. KUCHMIZHAK. Detection of nitroaromatic compounds on functionalized silicon nanotextures	105
--	-----

COVID-19: economics, politics and security of the North Pacific in the beginning of the third decade of XXI century

L.N. GARUSOVA. Threats and risks to the US security in the context of the COVID-19 pandemic: reflection on the American society	111
E.A. GORIACHEVA. Japan coronavirus outbreak as a factor of destabilization for Shinzo Abe regime	120
V.Yu. MISHIN. Measures of the Republic of Korea and the DPRK to combat COVID-19 as a component of the national and regional security	126
E.A. RAZUMOV. New trends in the system of social rating and information security of China in the face of escalation of epidemiological situation	132
M.I. KOPYLOV, D.G. FEDOSEYEV, A.D. SNYCHKOV. New long-term methods of protection from COVID-19 coronavirus using zeolite	136
What lessons must the world draw from the pandemic. <i>V.L. LARIN</i>	147

New scientific personnel

A.P. PAVLENKO. Expression and isolation optimization of recombinant analog of actinoporin Hct-A2 from sea anemone <i>Heteractis crispata</i>	149
--	-----

Rules for authors	153
-------------------------	-----

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

Deputy Chief Editor V.S. ZHERDEV

Executive Secretary L.A. RUSOVA

Editorial staff:

- | | |
|---|---|
| A.V. ADRIANOV, Academician of RAS | – Research Supervisor (President), A.V. Zhirmunsky National Scientific Center of Marine Biology, FEB RAS, Vladivostok |
| V.A. AKULICHEV, Academician of RAS | – Research Supervisor, V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute, FEB RAS, Vladivostok |
| D.L. AMININ, Corresponding Member of RAS | – Chief of Laboratory, G.B. Elyakov Pacific Institute of Bioorganic Chemistry, FEB RAS, Vladivostok |
| P.Ya. BAKLANOV, Academician of RAS | – Research Supervisor, Pacific Geographical Institute, FEB RAS, Vladivostok |
| V.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 | – Deputy Director for Research, 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 | – Chief Researcher, 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 | – Chief Researcher, Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity, FEB RAS, Vladivostok |
| E.I. GORDEEV, Academician of RAS | – Research Supervisor, Institute of Volcanology and Seismology, FEB RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky |
| M.A. GUZEV, Academician of RAS | – Director, Institute of Applied Mathematics, FEB RAS, Vladivostok |
| 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 |

V.V. BOGATOV, P.Ya. BAKLANOV, S.A. LOZOVSKAYA, M.B. SHTETS

Climate Change and Health in the Russian Far East

The article reviews the impact of climate change on the health of the population of the Russian Far East carried out within the framework of the project "Climate Change and Health" of the Association of Academies and Societies of Sciences in Asia. Problems of influence on human health of extreme temperatures, forest fires, floods, threats of infectious diseases, air and water pollution are considered. Measures are proposed for the adaptation to the consequences of climate change and reduction of their negative impact.

Key words: climate change, health, respiratory and infectious diseases, Russian Far East, adaptation, mitigation.

Изменение климата и здоровье человека на Дальнем Востоке России. В.В. БОГАТОВ (Дальневосточное отделение РАН, Владивосток), П.Я. БАКЛАНОВ, С.А. ЛОЗОВСКАЯ (Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Владивосток), М.Б. ШТЕЦ (Дальневосточное отделение РАН, Владивосток).

Представлен анализ материалов о влиянии климатических изменений на здоровье населения Дальнего Востока России, выполненный в рамках проекта «Изменения климата и здоровье» Ассоциации академий наук и научных сообществ Азии. Рассматривается влияние на здоровье людей экстремальных температур, лесных пожаров, наводнений, угрозы инфекционных заболеваний, загрязнений воды и воздуха. Предлагаются мероприятия по адаптации к последствиям изменения климата и снижению их негативного воздействия.

Ключевые слова: изменения климата, здоровье, респираторные и инфекционные заболевания, Дальний Восток России, адаптация, митигация.

In recent years, it was accumulated a huge amount of factual evidence indicating the impact of global climate change on human health. Climate variability and change have been found to lead to illness and death due to natural disasters such as heatwaves, floods and droughts. Moreover, many serious diseases are highly sensitive to changes in temperature and rainfall patterns. These diseases include vector-borne diseases such as malaria and dengue, as well as malnutrition and diarrhea, which are other leading causes of death. Climate change is contributing to an increase in the global burden of disease, and this trend is expected to worsen in the future.

It is considered that the impact of climate on human health will not be uniform around the world. Populations in developing countries, especially small island states, arid and high mountain areas, and densely populated coastal regions, will be particularly vulnerable to global warming.

Many health hazards can be avoided through existing national and international health programs and activities. In 2019, InterAcademy Partnership (IAP) has launched an inter-regional project focused on climate change adaptation and mitigation strategies that bring health co-benefits. Each regional network of IAP (NASAC – Africa, IANAS – Americas, AASSA –

Viktor BOGATOV – Academician RAS, Chief Scientific Secretary FEB RAS (Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok), Chief Researcher (Federal Scientific Center for Biodiversity of Terrestrial Biota of East Asia FEB RAS, Vladivostok), Petr BAKLANOV – Academician RAS, Scientific Adviser of Pacific Geographical Institute FEB RAS, Svetlana LOZOVSKAYA – PhD, Head of the Laboratory of Social and Medical Geography (Pacific Geographical Institute FEB RAS, Vladivostok), *Marina SHTETS – Head of International Department FEB RAS (Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok). *E-mail: uvs@hq.febras.ru

Asia, EASAC – Europe) has formed a regional expert group of scientists, policymakers and practitioners and held a workshop to draw together broader scientific and health expertise to sharpen the regional focus of each report. Considering the importance of the challenges facing humanity, the working group of the Association of Academies and Societies of Sciences in Asia (AASSA) in 2019 decided to join IAP initiative to formulate national reports on climate change and public health in Asian countries, including the Asian part of the Russian Federation, to develop general recommendations and a plan for further action. On behalf of the Russian Federation, specialists from the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences (FEB RAS) took part in the work under the leadership of member of the AASSA Executive Board, Academician RAS Viktor Bogatov.

In June 2020, the report on the climate change and health in the Russian Far East (RFE) was prepared by FEB RAS and submitted to AASSA. AASSA member countries reports were consolidated by working group and preliminary findings of the project were presented by AASSA working group Chair Academician of Academy of Sciences Malaysia, Prof. Dato' Dr. Khairul Anuar b. Abdullah at the online session on Climate Change and Health at the World Health Summit on 26th of October 2020. Regional reports from AASSA and other IAP regional associations will be published and launched in 2021, and then will be used to engage with regional policy-makers, the scientific community and other stakeholders. The global IAP synthesis report will be ready by the end of 2021, and will be presented to the World Health Organization and other global and regional stakeholders.

Considering the importance of the issues raised in the reports, the AASSA Executive Board recommended its member academies that the main provisions of the country reports be published in national scientific journals.

This article is a capsule version of the main positions of the Russian national report prepared by a group of specialists from the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences. The material of the article is divided into sections and subsections corresponding to the structure of the AASSA template report. The report was based on the results of comprehensive medical and geographical studies of changes in population health under the influence of various environmental factors (natural, ecological, socio-economic), which are carried out at the Pacific Geographical Institute FEB RAS in all regions of the RFE: from Primorsky Territory in the south to the Russian Arctic in the north. Moreover, the report included materials on the impact of climate on natural systems and human health, provided by the Federal Research Center of Biodiversity of Terrestrial Biota of East Asia FEB RAS, A.K. Chaika Federal Research Center of Agrobiotechnology, Institute for Complex Analysis of Regional Problems FEB RAS and the Far Eastern Scientific Center of Respiratory Physiology and Pathology, as well as data published in the following sources [1–29].

General Issues of Climate Change and Health

The course of climates change in Russia is characterized by prolonged heating accompanied by an increase in occurrence of dangerous meteorological phenomena. The growth rate of the average annual surface air temperature in the Russian Federation over the period of 1976–2019 equalled 0.47 °C per 10 years. This is 2.5 times higher than the growth rate of global temperature over the same period: 0.18 °C per 10 years. The temperature grew most rapidly in the North Polar Region, especially in recent decades: according to the Arctic and Antarctic Research Institute, over the past thirty years (1990–2019), the growth of average annual temperature here is 0.81 °C / 10 years, i.e. 2.43 °C for 30 years [24].

The territory of East Asian Russia is characterized by a large differentiation of climatic conditions – from Arctic ice deserts in the north to subtropics in cedar-broadleaved forests in the south. Many areas are categorized by extreme natural phenomena: earthquakes, tsunamis, floods, storms, low temperatures, permafrost, sharp fluctuations in weather conditions, etc. The region

is distinguished by vast spatial distribution (length from north to south is more than 5 thousand km, from east to west – more than 4 thousand km), low population density (slightly more than 1 person/km²) and poor connection of the territories (by railway lines and motor roads).

The main part of the RFE is located north of the ecological optimum zone, mainly in the Arctic region with a harsh climate, and therefore the region is characterized by high environmental vulnerability and discomfort [24, 27].

Against the background of global changes, there is a change in the demographic situation in the region, an increase in migration processes, and a decrease in the level of public health.

The economic exploration of the region is accompanied by an increase in anthropogenic impact on the natural environment and leads to an exacerbation of existing and the emergence of new ecological problems and diseases, especially its northern regions, requires the elaboration of measures aimed at improving the quality of life of the population, as well as enhancement of methods for predicting and preventing disastrous emergencies of a natural and man-made nature under the conditions of climate changes.

Climate Change and Environment

Permafrost Thawing

Permafrost occupies at least 25 % of the entire land area of the world. 1/3 of the world's permafrost is located in Russia. This is about 10–12 million km² or 65 % of the country's territory. It is most widespread in Eastern Siberia and the Far East. With global warming, the melting of permafrost is accelerating, which results in the release of greenhouse gases, the formation of giant sinkholes, such as the Batagai crater in Yakutia, and the likelihood of man-made disasters increases.

In the Arctic zone, with given increase in air temperature, thawing of permafrost and the release of greenhouse gases accelerates. The level of CO₂ concentration, according to the Russian background stations, is constantly growing (on average 2.2 ppm/year) and in 2018 reached its next maximum: more than 410 ppm. At the same time, in 2018, there was a significant slowdown in the growth of methane concentration observed compared to the period of a significant increase in 2014–2017 [24].

The indicator of the state of permafrost soils, reflecting the meteorological conditions of individual years, is the thickness of the seasonally thawed layer (STL). The results of objective observations available at the stations of Hydrometeorological Center in the Arctic zone of the Russian Federation show that at more than half of the stations (63 %), the STL values in 2019 exceed the long-term average. Despite a slight decrease in the growth rate of the STL power, the trends at almost all stations (35 out of 39 sites) retain positive values, which indicate that the trend towards an increase in the depth of permafrost thawing continues in the XXI century [24].

Permafrost degradation in the catchment areas of the Great Siberian Rivers (Ob, Yenisei, Lena, Indigirka, Kolyma) affects the inclusion in the modern biochemical cycle of a huge amount of ancient organic matter lying on the shallow shelf of the seas of the Eastern Arctic, where more than 80 % of underwater permafrost is concentrated. More than 80 % of the predicted Arctic hydrates occur in this area, the reserves of which, according to Russian scientists, range from 500 to 1000 billion tons of carbon. For comparison, the atmosphere contains about 5 billion tons. This means that on the Earth, in the event of destabilization of only 1 % of Arctic hydrates, the concentration of methane in the atmosphere may double. International scientific expeditions carried out in recent years aboard the research vessel “Akademik Mstislav Keldysh” have noted a sharp increase in the number of large jets of methane in the seas of the Eastern Arctic. In areas of such emissions, the concentration of methane in the atmosphere is many times higher than the average planetary values. Thus, obtained new data confirms the decisive role of the degradation of underwater permafrost and the destabilization of hydrates in the discharge of methane into the water column and the atmosphere [25, 26].

The most important influence on the degradation of underwater permafrost is exerted by the runoff of Siberian Rivers into the Arctic. In particular, compared to 1980–2000, in 2000–2020, it increased from 3900 cubic km per year to 4300 km, which had a serious impact on the formation of seasonal ice, which area has more than halved over the past 20 years. Thus, the Russian sector of the Arctic is the only region in the world where the river runoff affects global climatic processes, which indicates the need for more intensive study and control over the degradation of ground and underwater permafrost in this region.

Climate and Freshwater Ecosystems

Freshwater ecosystems of the RFE region historically are under the influence of extreme environmental phenomena (especially floods, droughts and riverbed freezing) that define the characteristics of their structure and functional organization. The highest water content of most rivers of the southeastern part of the RFE is observed during floods in the summer-autumn period, when up to 80 % of their annual runoff passes [9]. The most flood hazardous in the Far East may occur in Primorsky and Khabarovsk Territories, Amur and Sakhalin Regions.

Many large rivers in Arctic region (the territory of Yakutia, regions of the Magadan, Kamchatka, Chukotka, and north of the Khabarovsk Territory) during spring floods are characterized by mash floods that occur once every 2–3 years. Occasionally, congestion caused by ice accumulation during ice drift can cause a rise in water level to 10 % security marks.

During floods, massive accumulations of sediment damage or kill many organisms and setting them a drift, and during periods of strong floods, on some rivers mudflows can form – violent mud-stone streams with tremendous destructive power.

A characteristic feature of rivers of the southeastern part of the RFE is the eutrophication process (massive development of algae and cyanobacteria) during in a prolonged period of low water. Eutrophication occurs even in low snow winters under the ice cover. After the winters with little snow, the spring floods are very small and the eutrophication process get the further extension. Intensive algal and cyanobacteria proliferation has an adverse impact on populations of many aquatic invertebrates and fish fry. During this period, in the riverbed we observed a growth of periphyton or formation of metaphyton communities. In floodplain lowland lakes, the rapid bloom of algae and cyanobacteria causes fish deaths, as well as poisoning of animals and people [6].

In head water of the rivers of forest zone, riparian canopies partially or fully cover the channels and eutrophication processes do not develop due to low illumination. At the same time, during periods of low flow, in areas that have lost the forest canopy (the result of felling or fires) you can observe the intensive development of algal-bacterial fouling of the soil [6, 9].

In general, prolonged droughts increase the likelihood of forest fires, which lead to a huge loss of forest resources and desertification of territories, provoke shallowing of streams and rivers, freezing of Pacific salmon spawning grounds in winter, and, as a result, have a negative impact on fisheries. These changes can be especially dangerous against the background of other types of human impact on forests: felling, mining, water pollution, etc.

It is now generally accepted that global warming will significantly alter the effects of monsoons on natural flood cycles: flood severity is expected to increase, but the likelihood of dry season showers decreases (i.e. more extremes are expected).

Definitely, in the Far East region in the last years, both an abnormal high-water and low-water years and seasons has been observed. Among them: an abnormal low-water of 2007 and 2008 and extraordinary flood of the Middle and Lower Amur in the autumn of 2013; and extremely high water levels in the Khanka Lake during 2013–2017. Extremely high floods on the rivers of Primorsky Territory in late autumn 2012, as a result of which many rivers went under the ice with a large filling of their channels, which had not happened before, also belong to anomalous phenomena.

In the context of global climate change, increased anthropogenic load and in the absence of preventive measures in the freshwater ecosystems of the Far East, it is expected:

- significant degradation of biodiversity;
- decrease in the quality of drinking water and the fishery importance of water bodies;
- increased infestation of commercial fish species with helminths;
- displacement to the North of the southern boundaries of the Pacific salmon ranges;
- intensification of invasions of alien species into aquatic ecosystems;
- changes in the physiology and pathogenicity of microorganisms, which will contribute to the spread of previously unknown diseases of both humans and commercial aquatic organisms [7].

Strategic provision of the productive potential of fresh waters and the preservation of their quality should primarily be achieved by optimizing the use of water resources. At the same time, special attention should be paid to the layouts of hydraulic structures and water-intensive enterprises. It is necessary to intensify activities to protect forest resources, reduce the level of freshwater pollution, including transnational, and preserve favorable hydrological, hydrochemical and hydrobiological regimes in rivers and lakes of fishery and recreational importance [7].

Forest Fires

The huge forest resources of the RFE have led to the creation of one of the largest forest complexes, which plays a significant role in the region's economy. The total timber reserves here are 20.6 billion m³ (27.1 % of the reserves of the Russian Federation [14]), which makes the Far East region one of the leading timber producers in Russia.

More than 40 % of the area of all Russian forests is occupied by larch forests. Moreover, in the permafrost zone, characterized by permafrost and shallow seasonal thawed layer, up to 80 % of taiga forests are formed by larch. In the southern part of the Far East, dark coniferous forests of cedar, fir and spruce prevail. The forest ecosystems of the mountainous country Sikhote-Alin, located in the extreme southeast of the mainland of the Russian Federation, in terms of the diversity of forest-forming species, the richness and originality of flora and fauna, significantly surpass all others in Russia.

Forest vegetation acts as the most powerful geological factor that renders exclusive influence on the water flow of the rivers, the quality of water as well as physical properties of the soil and the atmosphere. While maintaining of the total amount of precipitation, global warming leads to a more intense loss of natural moisture in the forests, an increase in the duration of the fire-hazardous season and consequently to an increase in the burning of forests. In the Far Eastern Federal District of Russia, this is reflected in the form of an increase in the number of forest fires and an increase in the total area of forest fires in recent decades. Thus, from 2000 to 2018 the annual number of recorded forest fires in the Far Eastern Federal District increased 1.79 times (from 1960 to 3526), and the area of burned-out forests per year increased 8.31 times (from 653 to 5428 thousand ha), respectively. As we move to high latitudes, the number of fires decreases, but the area covered by fire increases up to the latitude of the Arctic Circle [4].

Generally, three types of forest fires are distinguished: upper (covers the entire crown of trees), grass-roots (forest litter, lichens, mosses, fallen branches, etc.) and underground (peat). In the harsh ecological and climatic conditions of the permafrost zone, forest stands are usually sparse; therefore, ground fires prevail here. In larch, living tissues of the trunk are protected from such fires by a thick crust, therefore, under certain conditions, ground fires contribute to the renewal and rejuvenation of the ecosystem of larch forests. Unlike larch, the trunks of dark coniferous species are poorly protected by a crust from ground fires, and a dense crown, often sinking to the ground, saturated with essential oils, contributes to the transition of ground fires into devastating crown fires [16].

Forest fires cause significant damage to the natural environment: they interrupt the natural process of reforestation and soil formation; the products of combustion are washed off into the rivers, polluting them, and valuable wood species perish. During combustion, the concentration of carbon monoxide (sweetdamp) in the air increases, as well as nitrogen oxides, phenols and suspended solids. Fumes and dust from fires cause severe breathing discomfort and can

significantly affect the health of people with allergies and respiratory diseases. Smoky smog is especially dangerous for children (especially newborns and infants), the elderly and those who suffer from chronic diseases of the respiratory system, cardiovascular system, and allergy sufferers.

Under the conditions of climate warming, the damage from fires will increase, and the possibility of their complete suppression will decrease. In this regard, significant changes are required in the strategy and tactics of fighting fires in forests, including zoning of forest areas according to the level of preference for extinguishing fires. It is necessary to identify priority areas, focus on the protection of areas with high social, natural and economic value, taking into account the importance of endangered forests, including their off-market value, the presence of industrial infrastructure and settlements, the impact of smoke on human health, as well as the cost of fire suppression work.

Environment and Health

Low Temperatures: Northern Territories

The area of the northern territories around the world equals 22 million km². About 12 million people live on it. In the Russian North, the area of which exceeds 11 million km², a bit more than 11 million people reside – 93 % of all the world northerners. January temperatures over almost the entire territory of the Far East are below – 16 °C, which corresponds to the 2nd and 3rd degree of harmfulness for outdoors work in calm weather according to the hygienic classification of labor. In North America, the population density to the north of this isotherm normally equals less than one person per km², while in Russia such harsh areas overlap with the main settlement zone of the country and include such cities with a million-plus population as Omsk and Novosibirsk, as well as many other major cities.

Low-comfort and uncomfortable living conditions of the population formed a chronic pathology of the population, leading to temporary and permanent incapacity to work and forming high mortality rates. In the mechanism of this effect, it is not so much the absolute discomfort values of the physical parameters of the environment (temperature, humidity, etc.) that count for, but their sharp changes in a short period of time. These weather changes, typical of the Far East, disrupt the dynamic balance between the body and the environment, leading to various functional disorders and subsequently to diseases.

Low temperatures provoking the pituitary gland to stimulate the endocrine sphere, lack of insolation and pronounced seasonal asymmetry of the light regime, in combination, contribute to desynchronization of biorhythms and chronic stress of psychophysiological adaptive mechanisms, gradual depletion of the body's compensatory capabilities, dysadaptive failures, immunodeficiency, increased life expectancy and reduction in the incidence. In the Arctic, especially among the indigenous population, the likelihood of injury, drowning, frostbite and other external causes of illness and death is increased, and the risk of contracting infectious and parasitic diseases transmitted through local food, water and contact is increased. Additional health risk factors for northerners are associated with limited and imbalanced diet, vitamin and vegetable fiber deficiency, low water mineralization, combined with increased exposure of the population to pollutants of global, regional and local origin. Contamination of the natural food of the aborigines, which is an important element of physical survival and the preservation of ethnocultural traditions, against the background of a violation of the usual way of life, devaluation of life values, decreased social activity, lack of money, alcoholism, leads to an increase in morbidity and mortality among indigenous peoples [12, 13].

Climatic risk factors affecting the health of the population of the Far East form two types of response of the body – immediate, within hours, days and prolonged – for weeks, months (seasons). Throughout the entire territory of the Far East, mortality in the winter months is higher than in the summer by an average of 2 %. These differences are mainly determined by

an increase in the level of respiratory diseases in the cold season. They range quite significantly: from 48.8 % in September to 145.6 % in January. The mortality rate from diseases of the circulatory system coincides with the general seasonal fluctuation in mortality: a maximum of cases is observed in winter (29 %) and spring (26 %), and a minimum – in summer (19 %). These differences should be considered when conducting bioclimatic predictions and working on prevention of meteorotropic reactions in patients.

Pollution of the atmosphere, water and landscapes with wastes from the chemical and metallurgical industries against the background of modern climatic changes significantly changes the nature of human interaction with the environment, placing additional requirements on the adaptive capabilities of the human body in northern conditions. The nature of adaptation under such prolonged stress is not only quantitatively, but also qualitatively different from the adaptive responses to acute stress.

It was revealed that the structure of adaptive psychoemotional states of the indigenous and newcomers of the individual regions of the Arctic and subarctic zones differs from each other. The percentage of the indigenous population in prenosological and premorbid conditions, directly leading to impaired adaptation and disease, was significantly higher than that of the newcomer population.

In addition, under the influence of changing environmental factors, the psycho-emotional background of a person's state (maladaptation processes) first of all changes, which leads to a violation of certain physiological health indicators, and then to the formation of diseases [13].

Water and Air Pollution and the Health

The level of health of the population in Pacific Russia continues to decline. It is connected with the prevailing unstable socio-economic conditions, pollution of the environment (mainly water and air) and to the natural dynamics of natural processes [3, 7, 8, 13, 18, 20–22].

Drinking water pollution from mineral extraction waste in the Arctic regions of the Far East of Russia negatively affects the immunity of the local population – the number of oncological diseases in the population of uluses receiving drinking water from the region's large rivers is increasing. From 2001 to 2015, the increase in incidence in the Anabar region was 3 %, in Eveno-Bytansky – 8 %. The largest increase in the incidence was observed in the Ust-Yansky district – 45 %. About 40 % of the increase was in the Upper, Middle and Lower Kolyma regions. In the southern regions of the RFE (Amur Region, Jewish Autonomous Region, Khabarovsk and Primorsky Territories), natural waters are used as the last link for sewerage systems and industrial pollution discharges, which also negatively affects the health of the population and causes an increase in the cost of drinking water preparation. In recent years, the problem of surface water pollution in the south of the RFE has acquired a transnational character.

When analyzing the territorial differentiation of the long-term rate of primary morbidity of respiratory organs of the adult population of the RFE, it was noted that the morbidity of the population of the northern regions is higher than the average for the southern regions and the city of Vladivostok due to more severe climatic conditions in these areas. In the Far Eastern region, the most common respiratory diseases, the share of which in the structure of the general and primary incidence in the Russian Federation was 24.1 and 43.4 %, and in the Far Eastern Federal District – 26.1 and 45.5 % (2015), respectively. In addition, in the Far Eastern region, the average annual growth rate of primary incidence was higher (+ 2.0 %) than in the Russian Federation (+ 1.5 %) as a whole. Here, the level of the primary incidence of respiratory diseases in the Far Eastern Federal District (336.0 ‰ – the average annual indicator for the period from 2005 to 2015) was 4.2 % higher than the Russian Federation as a whole (322.0 ‰).

Chronic obstructive lung disease (COLD) is one of the most notable nosoforms of the class of respiratory diseases and a serious public health problem worldwide. This pathology of the lung tissue arises and progresses under the harmful influence of external factors. The constant increase in the incidence of COLD over the recent years caused great concern in connection with

early disability and high mortality due to this pathology. Deterioration of air quality represents one of the factors contributing to this trend. It was established that the effect of air pollutants on the respiratory system is manifested in the suppression of the local defense system, the damaging effect on the respiratory epithelium and the formation of a wide range of severe respiratory diseases. In various regions and cities of the region (Vladivostok, Nakhodka, Ussuriysk, etc.), significant technogenic pollution atmospheric air is recorded. Here, the average long-term level (2000–2016) of the incidence of the adult population of Vladivostok was 14.4 % higher than the regional value. Against the general background of an increase in the incidence of respiratory diseases in the Primorsky Territory, the incidence of COLD took 3rd place after acute respiratory infections and pneumonia. In general, during this period the incidence of COLD increased by 31.8 %. It was established that the marine monsoon climate of Vladivostok had the most negative effect on the COLD patients. The function of external respiration, as the body's most open system, was affected by air pollution by solid suspended particles, which was introduced to the atmosphere of the city of Vladivostok due to the high level of motorization.

The natural, ecological, socio-economic components of the living environment of the population of certain regions of the region, interacting with each other, give different spectra and levels of respiratory diseases, enhancing or weakening the manifestations of individual pathologies, which implies a comprehensive approach to studying changes in the health status of the population, allowing more accurately predict the risks and opportunities for reducing the danger to public health.

Based on the developed method of time-factor prediction, a study was conducted on the possibility of predicting critical incidence rates in 10 districts of the Primorsky Territory of respiratory diseases for the next year based on 5 environmental factors: 4 climatic (winter and summer indicators of temperature and humidity) and 1 ecological (air pollution by industrial emissions). It was shown that the quality of a positive prediction, accepted as a probability of exceeding critical incidence rates for this set of indicators, depended on the type of the impact factors and their combinations. Prediction by one or two climatic factors separately showed a low prediction quality, while when combined (1–4) provided more significant results. The prediction by one environmental factor (No. 5) was also quite low. At the same time, climatic indicators combined with ecological ones provided significantly higher prediction results than individual factors. Therefore, the forecast level increased significantly as a result of the total impact of factors of various nature (1–5), and climatic factors can intensify the impact of some ecological factors (the phenomenon of synergism) and lead to increased levels of incidence in certain territories.

In the context of global climate change, an increase in the growing season is expected in plants, the pollen of which can cause an allergic reaction, as well as the deliberate or accidental introduction of plants from various botanical and geographical regions of the world, which will undoubtedly affect the increase in the frequency of pollinosis among the population.

The connection between the incidence of pollinosis and other diseases of allergic origin is obvious. In particular, among patients with bronchial asthma, a combined disease – pollinosis – is detected in 40 % of cases. Of those who suffer from pollinosis, there are people who are allergic to certain foods, house dust and medicines, tobacco smoke and car exhaust fumes. Pollinosis as a seasonal allergic disease caused by pollen of flowering plants is most common in the southern regions of the Far East. For the Primorsky Territory, there are three periods of peak pollinosis registration, depending on the pollen maturation of various plants. The first period falls in April and May. At this time, allergies to pollen of woody plants prevailed: oak, birch, walnut, alder, poplar, maple. In the second period of the rise of allergic reactions among the population (June and July), cereal plants begin to bloom: rye, bluegrass, bonfire, fescue, orach, sunflower and others. The third period of an increase in the incidence of pollinosis occurs in the second half of the summer – beginning of autumn (August, September), which is very characteristic of the Primorsky Territory. During this period, an increased concentration of pollen from various weeds prevails in the air – ragweed, wormwood, orach [15].

In order to identify pollinosis, among the residents of the city of Vladivostok (children 0–14 years old, adults of 18 years and older), the results of skin scarification tests (1200 tests) were analyzed, 67.7 % of which were with pollen allergens (32 plants). Sensitivity sensitization test results were scored from one to five. The results of the study allowed us to conclude that the percentage of sensitization to plants – allergens among boys and girls aged 0–14 years was almost the same – about 15 %. However, the high level of sensitization for boys was almost two times higher than for girls. Allergens were a mixture of herbs and plantain, unlike other regions (a mixture of trees, a mixture of herbs and ragweed). Adult sensitization level was much higher – about 52 %. Half of them showed a high level of sensitization to many allergens (multiple allergy). After 50 years of age, sensitization with plant allergens was quite rare.

Infectious Disease Threats

Infectious diseases, which belong to the category of acute threats, under the conditions of global climate changes can create an emergency situation in the field of biological safety of the RFE [10, 23]. This situation is characterized by such patterns as abruptness, an explosive growth in the incidence of disease, the unpreparedness of society to perform countermeasures, severe socio-economic consequences, and a real threat to the biological safety of the entire world community.

Infectious diseases dangerous for humans which able to cause public health emergency situations, can be divided into three groups.

1. Diseases that form the external epidemiological risk – dangerous infectious diseases requiring measures for sanitary protection of the territory of the Russian Federation:

- COVID-19
- Smallpox
- Poliomyelitis due to wild poliovirus
- Human influenza caused by a new subtype
- Severe Acute Respiratory Syndrome
- Cholera
- Plague
- Yellow fever
- Lassa fever
- Marburg Virus Disease
- Ebola Disease
- Malaria
- West Nile Fever
- Crimean hemorrhagic fever
- Dengue fever
- Rift Valley Fever (Rift Valley)
- Meningococcal disease.

2. Diseases that form the internal epidemiological risk – dangerous infectious diseases, registration both single and mass indigenous events requires emergency response and using of additional forces and means of public health of the Region:

– Natural focal infectious diseases: plague, Crimean hemorrhagic fever, rabies, West Nile fever

- Diseases common to humans and animals: brucellosis, anthrax
- Cholera
- Malaria

– The risk of intralaboratory infection when working with PBA I-IV pathogenicity groups at biologically hazardous facilities

3. Infectious diseases of importance in regional pathology, prevention of which is to implement long-term programs: Natural focal infectious diseases: tularemia, leptospirosis, hemorrhagic

fever with renal syndrome, tick-borne viral encephalitis, tick-borne tick-borne borreliosis, tick-borne rickettsiosis, Q fever, parasitic diseases and others [12].

Spreading of infectious diseases is accelerating as a result of global warming. Particular danger can be infections from permafrost common for the Arctic zone of the Far East, corpses of animals that died in epidemics dozens and hundreds of years ago are preserved. Intensive thawing of permafrost can release prehistoric diseases, and in the last decade, cases of infection of domestic animals and people with anthrax were observed in the Arctic zone. Furthermore, previously unknown microorganisms, including giant viruses potentially hazardous to public health, were discovered in permafrost [19].

The thawing of permafrost opens up new, previously inaccessible areas for mining. Extraction of ancient soil layers to the surface during their development can also lead to the spread of infections.

Over the last 2–3 decades, there was a significant expansion in the range of mosquitoes and ticks, as well as other carriers of infectious diseases in Russia, including in the Arctic regions. Over the same time a sharp increase in the number of species of dangerous trematodes and other parasites was recorded in the fresh and brackish waters south of the RFE, which is apparently due to their expansion from the southern regions of East Asia [5].

Changing climate creates favorable habitat conditions for species previously unable to survive in the area. Accidental introduction into an ecosystem as a result of human activities may also result in spreading of alien species in the new ecosystem. For example, some alien species were brought to RFE with ballast water of ships. Arrival of alien species or new diseases may become a catastrophe for fishers and local residents.

Another cause of possible expansion of ranges of infectious diseases is changes in migratory routes of bird species that used to follow the same routes for generations. For example, some exotic Asian bird species, which potentially can be vectors of tropical fevers, began to visit Russian North annually.

Dangerous biohazards can be observed in reservoirs and in marine ecosystems during the flowering of harmful algae or the mass reproduction of toxic invertebrates, or the extraction of deep-sea bioresources.

Special risks are exposed to enterprises (and their surroundings) of mass reproduction of single-breed animals and birds, which requires special expertise in their planning and constant monitoring.

Systematic biohazards observations carried out in scientific institutions of the Far East made it possible to obtain unique databases on the distribution of pathogens of dangerous infectious diseases and foci of parasitosis, the risk of infection or damage to people and animals, to study the influence of various factors on the epidemiological situation, to identify unusual dangerous biotic factors that require deep study.

Mitigation

National Policy on Climate and Health

By the Decree of the President of the Russian Federation dated December 17, 2009 No. 861-rp, «The Climate Doctrine of the Russian Federation» was approved – a document that represented a system of views on the purpose, principles, content and ways of implementing the unified state policy of the Russian Federation within the country and in the international arena on issues related with climate change and its consequences. Given the strategic guidelines of the Russian Federation, the Doctrine is the basis for the formation and implementation of climate policy.

On December 1, 2016, the President of the Russian Federation signed a decree by which the head of state approved the Strategy for Scientific and Technological Development of Russia until 2035. According to the Strategy, the country's scientific potential in the coming decades will focus on solving a number of tasks, including the main risks associated with the anthropogenic

load on nature; exhaustion of economic development opportunities due to extensive resource exploitation; requirements for increasing energy capacities, etc. Among the priority areas of development of Russian science, the transition to environmentally friendly and resource-saving sources of energy, personalized medicine were also highlighted.

Certain issues in the field of healthcare are regulated by the Federal Law of November 21, 2011 No. 323-FZ “On the Basics of Protecting the Health of Citizens of the Russian Federation”, by the Decree of the President of the Russian Federation of 05.07.2012 No. 598 “On Improving the State Policy in the Field of Health” and others legal acts.

Each year, the Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring (Roshydromet) submits official reports on the climate in the country to the Government of the Russian Federation. The reports represent a source of objective information on the state and trends of climate change in the Russian Federation, summarizing the results of climate research and operational climate monitoring conducted by scientific institutions of Roshydromet. The materials of the reports were based on the tested long-term data series of the state observational network of Roshydromet and the approved methods for processing and analyzing climate data. The reports contain information on the main features of climatic conditions on the territory of the Russian Federation and its regions and on current trends in their changes.

Sustainability and Health Gains under Discomfort Conditions

The RFE lags far behind the Russian average in terms of key social indicators. Thus, with an increase in life expectancy at birth to 70.2 years from 2013, in 2019 the RFE remains 3.1 years behind the national average. With a decrease in the mortality rate of the population of working age for the same period to 588 cases per 100 thousand people, the excess of the average values for the Russian Federation is 121.1 cases per 100 thousand people. With a decrease in infant mortality to 5.4 cases per 1,000 children born alive, this indicator on the RFE is 0.4 cases higher than the average for the Russian Federation.

The highest mortality rate was recorded in areas with severe discomfort, which is caused not only (and perhaps not so much) by the harsh climatic conditions, but also largely by demographic characteristics and lack of medical care.

These territories have a small-focal character of settlement; there is the highest concentration of the indigenous people of the North who have low health indicators that are not directly related to extreme living conditions, and the state of medical care due to extremely low transport accessibility.

Such territories are characterized by a low level of education, services of cultural and sports institutions, especially in remote settlements, there is no access to high-speed Internet. In the northern regions of the RFE, a significant decline in the population continues as a result of the migration outflow. In general, over the past 27 years, the population in the RFE has decreased by 1.3 times – from 10.5 million people in 1991 to 8.2 million people in 2019. Despite the decrease in the migration outflow of the population observed in recent years, the number of residents of the Far Eastern Federal District is decreasing by 0.3–0.5 percent annually. According to demographic predictions, the problem with the growth of the population of the North of the Far East will remain long-term. According to some forecasts, in 2010–2050, the total population of the RFE may decrease by 21.1 %, and the working-age population by 42.5 %.

Thus, on the RFE a significant deterioration of living conditions at higher latitudes is clearly visible compared to the southern regions. This well-known pattern, perhaps, would not be subject to such a detailed study, if not for positive examples of compensatory “social deterrence” of the adverse effects of natural factors on the population of Alaska. Of course, the natural conditions of Alaska are less extreme than those of the Magadan Region, however, in principle, they are comparable, while the differences in the health indicators of the population of these territories are very significant. In this regard, the main directions of future studies of the living conditions of the population of the Far East should be more focused on studying the experience of other countries and the possibility of its application in the RFE conditions.

Medical-Geographical Assessment and Environmental Medicine

The beginning of the XXI century was characterized by a tendency of researchers towards holistic, integrated, interdisciplinary study of a human and their relationship with the environment; however, there were very few targeted comprehensive medical and geographical research on the territory of the RFE. Therefore, the study of the medical and geographical situation of the northern regions and the analysis of the relations between the health of the population and the geographical features of the territory are of high relevance [20, 27, 29].

The methodological basis for the development of the research model consisted of the processes of health formation and adaptation of the population living in various regions of the RFE in the context of environmental transformation in referring to two interdependent sources of information on the processes of human adaptation to conditions of an environment [18]:

- 1) registered quantitative indicators of common and individual health of the population;
- 2) fundamental developments of neurophysiology – the theory of stress and the general adaptation syndrome by H. Selye in a modern interpretation.

The study of adaptation (maladaptation) of the population, especially of the northern territories, within the considered methodological approach included the assessment of mainly populational (grouped) and to a lesser degree individual adaptation reactions of the population in response to the impact of adverse environmental factors of varying degrees of intensity and duration.

The conceptual model of population adaptation included 5 blocks of indicators:

- 1 – public health, 2 – individual health, 3 – socio-economic factors, 4 – ecological factors, 5 – natural factors.

The component-by-component analysis of the options for the functioning of the model allowed one to identify previously unknown features of the interrelation in the system “human – the natural and social environment.”

When considering the adaptation of the population as a complex system, it seemed important to determine the ratio of social and biological aspects of the study. There was a methodological problem related to the assessment of the adaptation levels during prolonged exposure of a body to adverse factors of low intensity or along with the use of protective equipment, technical solutions, etc.

A special feature of the suggested methodological approach is the following:

1. Representation of the environmental impact factors on the widest possible range of indicators of public health.
2. Assessment of the adaptation levels of various groups of the population that form the further state of health of the population living in various regions of the Eastern Asian Russia.
3. Assessment of the health state of the both territorial groups of the population as a whole and the most characteristic subgroups that differed in their reaction to environmental conditions.
4. Differentiation of the territory “from below”, from elementary sections that were isolated, and consolidated only by those geographical characteristics that were reliably associated with biomedical phenomena.

Assessment of population adaptation on the basis of the stated methodological principles allowed to simulate situations that occurred in the process of climate change and economic activity in varied territories of the Far East and throughout Russia. Due to its complexity, medical-geographical assessment represented an integral and extremely important part of the regional management strategy, since no economic benefits that followed by a deterioration in the population health can be justified.

Over the recent years, a new thread of medical activity has emerged – environmental medicine, which required new methods of rapid diagnostics and monitoring the health status of residents of ecologically disadvantaged territories. The issues of express diagnostics of the intensity of adaptation processes, quantitative assessment of the effectiveness of human adaptation to the environment concerned not only medical professionals of various specialties, but also ecologists, geographers, teachers and psychologists. Studying the specific characteristics of adaptation among

residents of ecologically disadvantaged territories is now becoming an important component of environmental monitoring, and typing of adaptive portraits of residents of extreme regions is considered as one of the urgent tasks of medical geography and environmental medicine.

Reducing the impact of global climate and environmental changes on the health of northerners through various socio-economic compensation mechanisms will lead to [28, 29]:

- a change in the balance of migration processes towards a new influx of migrants into the northern territories,
- improving the health of the indigenous and alien population,
- the growth of the economy of the strategically important northern territories of Russia,
- development of a new type of activity in the Arctic territories – Arctic tourism,
- development of the national culture of the indigenous population.

Sustainable Development and Climate Change

Economic Prospects

In recent years, at the government level to improve the current socio-economic situation programs are being developed to improve the quality of life, ensure security and sustainable development of Pacific Russia.

In 2013, the Russian President declared the development of Siberia and the Far East as the top priority for the country's development in the XXI century.

By order of the Government of the Russian Federation of September 24, 2020 N 2464-r, the National Program for the Socio-Economic Development of the Far East for the period until 2024 and for the future until 2035 was approved. The main goals of the program are to accelerate the development of the regional economy, improve the demographic situation, and stop the migration outflow. The program provides for improving the quality of life in the Far East to a level above the national average, including the development of human capital, human resources and the formation of a comfortable living environment, the development of the health care system, education and culture.

Sustainable Development and Green Economy

The economy of the RFE regions is mainly of a resource-based nature. Over 30 % of Russia's natural resource potential is concentrated on the territories and the sea shelf of the RFE, which, along with its geographical location, makes the region promising in terms of economic development and advancement of international relations. These factors indicate great opportunities and prospects for the successful development of the Far Eastern regions, which will inevitably increase the technogenic impact on the natural environment and lead to the exacerbation of existing and the emergence of new environmental and medical problems. Due to the vast territories and, consequently, various climatic conditions in the region, including seasonal and permanent frost, etc. natural ecosystems of the Far East are much less resistant to anthropogenic impacts, compared to the European part of Russia. Global climate change can only exacerbate existing environmental and economic imbalances in the future [1, 2].

This means that the rational, efficient use of natural resources, without which sustainable development is impossible, ought to be improved. Far Eastern regions with preserved natural resources and natural ecosystems, with their human resources, industrial, economic and scientific potential, can become a good testing ground for the implementation of a green economy. This requires sufficient economic support for environmental management both at the regional level and at the level of individual industries [3].

The successful development of the Far Eastern territories on the principles of a green economy and their implementation depend on the active position of state and regional authorities, the development of tax benefits and other preferences for a green business, and most importantly, on strict control and adoption of effective sanctions provided for by legislation.

This requires sufficient economic support for environmental management both at the regional level and at the level of certain types of industries, and strengthening environmental protection. This is one of the main factors in preventing and eliminating the risk of the occurrence and development of environmental problems, ensuring the sustainable development of industrial and natural relations. For realization of green economy principles, the following measures should be implemented:

1) targeted investment in this sector, with consideration of the existing regional and industrial problems;

2) the structure of investments in environmental protection and rational nature management should be determined by the current and predicted estimates;

3) the use of funds (from all sources) for environmental protection should be monitored by the relevant authorities and reporting should be available to both interested parties and the public;

4) it is necessary to make changes and additions to environmental legislation (significantly increase the amount of fines for violation or non-compliance with environmental laws, late payment of fines; toughen penalties for environmental offenses, false environmental information, etc.);

5) when forming a package of documents for starting any production, an environmental review should be mandatory for any type of activity, and for productions of I and II hazard classes, a public environmental review must be added as well;

6) it is necessary to increase the level of medical care for the population, especially those living in extreme territories, and medical institutions should have the adequate number of medical personnel, especially narrow specialists and modern diagnostic and medical equipment;

7) annual medical examination of the population, taking into account professional, age and national characteristics;

8) to predict possible changes in indicators of public health and the development of pre-nosological conditions that lead to diseases, constant monitoring of the processes of adaptation and maladaptation of the population under the influence of changing environmental factors using modern express methods and hardware-instrument complexes is required [1–3].

Food and Nutrition Security and Agriculture

The geographical location and soil and climatic conditions of the Southern part of RFE made it possible to grow a wide range of agricultural crops in this territory: soybeans, spring crops, fodder crops, corn, potatoes, rice, as well as vegetables and fruit, although for many cultures there was a northern distribution border located. The development of dairy and beef cattle breeding, pig and poultry farming is quite promising in the region, as well as horse breeding and reindeer husbandry in the northern regions. In addition, there is development of mariculture in the coastal areas of the seas of the southern Far East [17].

Climate warming could present new opportunities for agriculture, and new lands may become suitable for crops and profitable agricultural technologies. At the same time, climate warming and agricultural practices can increase water consumption, erosion and degradation of soil, agroecological risks associated with the emergence of new weeds, pests and pathogens. Agriculture will not only be altered by climate changes, but will also significantly increase its impact on the regional climate through increasing greenhouse gas emissions.

The problem of food self-sufficiency is characteristic of RFE for 1.5 centuries of its existence. During the period of industrial development of the RFE in the 1960–1985s, the crop area of agricultural land crops in the region was approaching 3 million hectares. During the crisis of 1990–2005, a significant part of the cultivated land was withdrawn from circulation and only in 2005 began to return to the agricultural sector turnover. To date, in main agricultural arable land are used in the Far Eastern Federal District area (Amur Region, Khabarovsk Territory, Primorsky Territory) of 2.5 million ha. This is about 2 % of the arable land of the Russian Federation and 10 % of Northeast China. That means that it is a resource of regional scale. That is important in its modern form for the Russian Federation and Northeast Asia (NEA). If it is socio-economic necessary, the natural and technological conditions of the south of the RFE allow increasing the

area of arable land: a) up to 3 million hectares – through the reclamation of land that has been abandoned, b) up to 4–4.5 million hectares – through the new land melioration development. The realism of the option, which is based on the “new” development, is largely determined by the trends of climate change.

Agricultural land area used in RFE does not allow achieving food self-sufficiency in the region (except for potatoes, soybeans, some vegetables). The latter is maintained at an acceptable social level, mainly due to the import of products from other Russian regions (Siberia), adjacent provinces of China and other suppliers. In the strategic planning of actions to strengthen the RFE food base, along with other factors, it is necessary to take into account the options (trends) of climate change in the NEA region, namely:

- the impact of climate change will differ depending on geographic location,
- in the RFE, the agroecological significance of climatic changes will be maximum in the forest area (Prikhankaiskaya lowland, south of the Zeya-Bureya plain), where in spring and early summer aridization is likely to increase,
- in Northeast Asia, the agroecological significance of climate change will be maximum in the western part of Heilongjiang and Jilin provinces in the steppe zone, where aridization is likely to increase,
- in the structure of changes, the most agroecologically significant may be the instability of climatic parameters, rather than general trends.

The most reliable sources to date reveal that climate change will increase production risk as measured by yield variability of the main crops in Russia. In south of the Far East the evidence varies with some crops showing increased production risk and others showing reduced risk. There are strong links between risk management policies adaptation and government responses to protect farmers from climate change risks will affect their strategies. For example, support for insurance schemes and for ex post payments may reduce the incentive to diversify farm production away from more climate sensitive crops and farm practices. In this sense, these government-supported instruments can potentially crowd out appropriate adaptation strategies by farmers.

Predicted scenarios of agricultural development in a changing climate are necessary to provide strategies and decision-making tools to improve agriculture, food security and, at the same time, reduce the negative impact of agriculture on the environment [11, 17].

Conclusions and Recommendations

Natural and socio-economic potential of the Far East is significant and can be converted not only into the acceleration of its own development, but also the sustainable economic growth of the Russian Federation as a whole.

The prospects for the development of the Far Eastern region outlined by the Government of the Russian Federation will inevitably increase the technogenic impact on the natural environment, which in the context of global climate change will lead to an aggravation of existing problems in environmental management and health care, and the emergence of new environmental challenges.

To control the situation it is necessary to form a regional system of medical-geographical monitoring – tracking the state of health of various population groups and the state of climate and the environment in various systems of division (zoning) of the territory. It is important to identify in advance various forms of the impact of climate change on public health.

To develop an effective management system for the medico-geographical situation, it is necessary on the basis of scientific research to develop a model of the medical-geographical effect of various variants of climate change on the health of various population groups living in different regions of Eurasia. The formation of appropriate spatial databases is essential.

The application of the scientific and experimental base should be aimed at development of measures related to improving the quality of life of the population, as well as improving

methods for predicting and preventing disaster emergencies of a natural and man-made nature in a changing climate:

1. The formation of evidence-based activities aimed at improving the quality of life of the population of the Far East, which will reduce the impact of global changes:

1.1. Development of measures to ensure the availability of comfortable housing, high-quality and safe goods and services, improving the quality of housing and public utilities.

1.2. Diversification of agricultural production, aimed at sustainable development of the industry for providing the population with high-quality food.

1.3. A comprehensive medical and geographical assessment of the state of health and development of recommendations for reducing the incidence of the population, creating conditions for a healthy lifestyle, stimulating fertility and reducing mortality, development of personalized and environmental medicine.

1.4. Development of effective measures to maintain environmental quality (pollution reduction, resource conservation, environmentally friendly energy sources, etc.).

1.5. Development of measures to ensure the preservation and development of the cultural and spiritual heritage of indigenous peoples, balancing the interests of indigenous people and labor migrants taking into account their ethnic, linguistic, cultural and religious differences, developing the education system as a factor in the socio-cultural adaptation of the population of the north-eastern territories of the Russian Federation.

2. Development of measures aimed at improving methods for predicting and preventing disaster emergencies of a natural and man-made nature in a changing climate:

2.1. Assessment of the current state of the environment and the risks of natural and man-made disasters.

2.2. Improving the methods for predicting and preventing natural and man-made emergencies resulting from natural processes (changing permafrost boundaries, seismotectonic and volcanic activity, tsunamis, etc.) and economic activity.

2.3. Improving the safety of vehicle operation and the safety of the transport of passengers and goods, ensuring transport accessibility of medical care.

2.4. Assessment and forecasting of biological safety in the RFE, implementation of breakthrough directions in the fight against respiratory and infectious diseases.

2.5. Studies of the dynamics of living systems, development of measures to improve the system of state environmental monitoring.

2.6. Development of new types of technologies in the field of environmental management, eliminating the possibility of destruction and degradation of the natural environment, including from destructive fires.

2.7. Development of measures for the rehabilitation of territories and water areas affected by natural disasters and man-caused environmental impacts.

BIBLIOGRAPHY

1. Baklanov P.Ya. The Far Eastern region of Russia: Problems and preconditions of sustainable development. Vladivostok: Dalnauka. 2001. P. 1–144. (In Russian).

2. Baklanov P.Ya., Moshkov A.V., Romanov M.T. Pacific Russia: Main Factors and Directions of Long-Term Development // Problems of Geography. 2016. Vol. 141. P. 595–618. (In Russian).

3. Baklanov P.Ya., Romanov M.T., Moshkov A.V., Stepanko N.G., Lozovskaya S.A., Tkachenko G.G., Kornienko O.S., Churzina A.A., Pogorelov A.R. On National Security and the Social – Economic, Ecological Position in the Far Eastern Region // Journal of Advance Research in Dynamical & Control Systems. 2018. Vol. 10, 02 – Special Issue. P. 1187–1195. (In Russian).

4. Bartalev S.A., Stytsenko F.V., Egorov V.A. et al. Satellite-based assessment of Russian forests fire mortality // Lesovedenie. 2015. N 2. P. 83–94. (In Russian).

5. Bogatov V.V., Besprozvannykh V.V., Prozorova L.A. Harmful Parasitoses on the Russian Southern Far East under Climatic and Demographic Changes // Doklady Biological Sciences. 2019. Vol. 487. P. 108–111. DOI: 10.1134/S0012496619040033.

6. Bogatov V.V., Fedorovskiy A.S. Freshwater ecosystems of the southern region of the Russian far east are undergoing extreme environmental change // Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems. 2016. Vol. 417, (34), P. 1–10. DOI: 10.1051/kmae/2016021.

7. Bogatov V.V., Fedorovskiy A.S. Basics of River Hydrology and Hydrobiology. Vladivostok: Dalnauka. 2017. P. 1–384. (In Russian).
8. Bogatov V.V., Prozorova L.A., Chernova E.N., Lysenko E.V., Ngo Q., Tran T., Hoang S. Bioaccumulation of Heavy Metals in Soft Tissues of Bivalve Mollusks from Natural Lakes in Eastern Sikhote Alin (Russia) and the Mekong Delta (Vietnam) // *Doklady Earth Sciences*. 2019. Vol. 484. Pt 1. P. 76–78. DOI: 10.1134/S1028334X19010094
9. Bogatov V., Sirotsky S., Yuriev D. The ecosystem of the Amur River. In: *Ecosystems of the world*. Vol. 22. River and stream ecosystems / ed. by C.E. Cushing, K.W. Cummins, G.W. Minshall // Amsterdam-Lausanne-New York-Oxford-Shannon-Tokyo: Elsevier. 1995. P. 601–613.
10. Bolotin E.I., Fedorova S.Yu. Spatial-temporal organization of the infectious morbidity of the population of the south of the Russian Far East. Vladivostok: Dalnauka, 2008. P. 1–223. (In Russian).
11. Chaika A.K., Klykov A.G. Priority directions in the development of agro-industrial complex in the Far East of Russia // *Vestnik of the Far East Branch of the Russian Academy of Sciences*. 2016. N 2 (186). P. 24–30. (In Russian).
12. Dudarev A.A., Gorbanev S.A., Fridman K.B. Partnership of the Northwest Public Health Research Center in the international projects in the field of Arctic environmental health // *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2017. N 96 (7). P. 601–606. (In Russian). DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-7-601-606>.
13. Egorova A.I., Davydova V.Ya. Analysis of the mental state of specialists working in the Arctic // *Russian Journal of Education and Psychology*. 2018. Vol. 9, N 10. P. 20–36. (In Russian).
14. Forestry complex of the Russian Far East: an analytical review / ed. A.S. Sheingauz // Vladivostok; Khabarovsk: FEB RAS, 2005. P. 1–160. (In Russian).
15. Izerina E.V., Lozovskaya S.A. Morbidity in pollinosis of the population of Vladivostok // *Geosystems of North-East Asia: the peculiarities of their spatiotemporal structures, zoning of land and waters. Collection of Scientific Articles* // Vladivostok: PGI FEB RAS, 2019. P. 386–388. (In Russian).
16. Kharuk V.I., Ponomarev E.I. Fires and burns of the Siberian taiga // *Science First Hand*. 2020. N 2 (87). P. 56–71. (In Russian).
17. Klykov A.G., Kim I.V., Potenko T.A. Food security and the role of agricultural science in sustainable agricultural development in the Far East // *Vestnik of the Far East Branch of the Russian Academy of Sciences*. 2018. N 3 (199). P. 5–11. (In Russian).
18. Kosolapov A.B., Lozovskaya S.A., Izergina E.V., Tsitsiashvili G.Sh., Veremchuk L.V., Vitkina T.I., Mineeva E.E., Sidletskaia K.A., Golohvast K.S. Methodological approaches to assessing the health of the population of the regions of the Russian Far East // *Health. Medical Ecology*. 2019. Nauka. N 3 (79). P. 14–22. DOI: 10.5281/zenodo.3559636. (In Russian).
19. Legendre M., Bartoli J., Shmakova L., Jeudy S. et al. Thirty-thousand year old distant relative of giant icosahedral DNA viruses with a pandoravirus morphology // *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 2014. Vol. 111 (11). P. 4274–4279.
20. Lozovskaya S.A., Kosolapov A.B., Pogorelov A.R. The Health of the Population of the Regions of the Eastern Arctic of Russia. // *Scientific Research of the SCO Countries: Synergy and Integration*. Beijing. 2019. P. 70–77. (In Russian).
21. Lozovskaya S.A., Tsitsiashvili G.Sh., Stepanko N.G., Bolotin E.I., Izergina E.V., Pogorelov A.R. Factor temporary forecast of socially significant morbidity in Primorsky Krai // *Regional Problems*. 2018. Vol. 21, N 3 (1). 2008. P. 17–21. DOI: 10.31433 / 1605-220X-2018-21-3 (1)-17-21.
22. Lozovskaya S.A., Pogorelov A.R., Tsitsiashvili G.Sh., Radchenkova T.V., Izergina E.V., Veremchuk, L.V., Mineeva E.E., Vitkina T.I., Gvozdenko T.A., Sidletskaia K.A., Golokhvast K.S. Regional special features of the formation of respiratory diseases in the conditions of the south of the Russian Far East (Primorsky Territory) // *Health. Medical Ecology*. Nauka. 2018. N 3. P. 77–84. DOI: 10.5281/zenodo.1488042. (In Russian).
23. Noskov A.K., Vishnyakov V.A., Chesnokova M.V. Current issues of anti-epidemic readiness of a Russian Federation region for emergency situations associated with infectious diseases dangerous for humans. Report 1. Concepts, terms, definitions // *Irkutsk Antiplague Research Institute of Siberia and Far East. Bulletin VSNTS SB RAMS*. 2013. N 2 (90), pt 2. P. 202–205. (In Russian).
24. Report on Climate Features on the Territory of the Russian Federation in 2019 // Moscow: Roshydromet. 2020. P. 1–97. (In Russian).
25. Semiletov I.P., Shakhova N.E., Sergienko V.I., Lobkovsky L.I. et al. Permafrost degradation and imbalance in the carbon cycle in the seas of the Eastern Arctic (Greenhouse gas flows, extreme acidification, georiski) // *Comprehensive Research of the Natural Environment of the Arctic and Antarctic. Abstracts of the international scientific conference*. St. Petersburg: Arctic and Antarctic Research Institute. 2020. P. 81–84.
26. Shakhova N., Semiletov I., Salyuk A., Yusupov V., Kosmach D., Gustafsson O. Extensive methane venting to the atmosphere from sediments of the East Siberian Arctic Shelf // *Science*. 2010. Vol. 327, N 5970. P. 1246–1250.
27. Solonin Yu.G., Bojko E.R. Medical and Physiological Problems of the Arctic // *Syktuykar: Institute of Physiology, Komi Scientific Center, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences*. 2017. P. 3–40. (In Russian).
28. Stepanko N.A., Lozovskaya S.A. Ecological aspect of the tourism development in the Chukotka Autonomous Region // *Arctic: History and Modernity: Works of the Annual International Scientific Conference*. St. Petersburg: Politich-Press. 2019. P. 181–193. (In Russian).
29. Stepanko N.G., Stepanko A.A., Tkachenko G.G. Possible environmental consequences of the economic development of the Northern territories of the Russian Far East // *Arctic: ecology and economy*. 2017. N 4 (29). P. 26–36. DOI: 10.25283 / 2223-4594-2018-1-26-36. (In Russian).

В.М. ИВШИН

Результаты геомеханических исследований на Камчатке

Обсуждаются геомеханические исследования Курило-Камчатской дуги, направленные на решение задачи прогноза сильных мелкофокусных землетрясений.

Ключевые слова: вулканический пояс, упругое основание, Курило-Камчатская призма, изгиб призмы, геомеханический метод прогноза землетрясений, запредельное деформирование, механизм возникновения глубокофокусных землетрясений.

Results of geomechanical research in Kamchatka. V.M. IVSHIN (Moscow).

Discussed the geomechanical research of the Kurilo-Kamchatsky arc, which were directed towards task solution on the forecast of strong small-focus earthquakes.

Key words: volcanic belt, elastic foundation, Kurilo-Kamchatsky prism, bend of prism, the geomechanical method of forecast earthquakes, exorbitant warping, mechanism of formation of deep-focus earthquakes.

1. Введение

Для прогноза землетрясений, базирующегося на представлении о землетрясениях как хрупком разрушении больших массивов горных пород, необходимо знание о структурно-вещественном строении сейсмогенных участков земной коры, физических процессах в сейсмофокальных зонах и напряжениях в них.

В настоящей статье обсуждаются геомеханические исследования, которые были направлены на решение указанных задач в зоне субдукции Курило-Камчатской дуги.

Обосновывается изгиб Курило-Камчатской призмы (фронтальной части Курило-Камчатской дуги, расположенной между вулканическим поясом и субдуцирующей Тихоокеанской плитой) на вулканическом поясе как на упругом основании под действием поперечных сил и ее изгиб под действием продольных сил.

Рассматриваются геомеханические способы наблюдения за изменением во времени тектонических напряжений.

Приводятся опытные свидетельства изгибов Курило-Камчатской призмы.

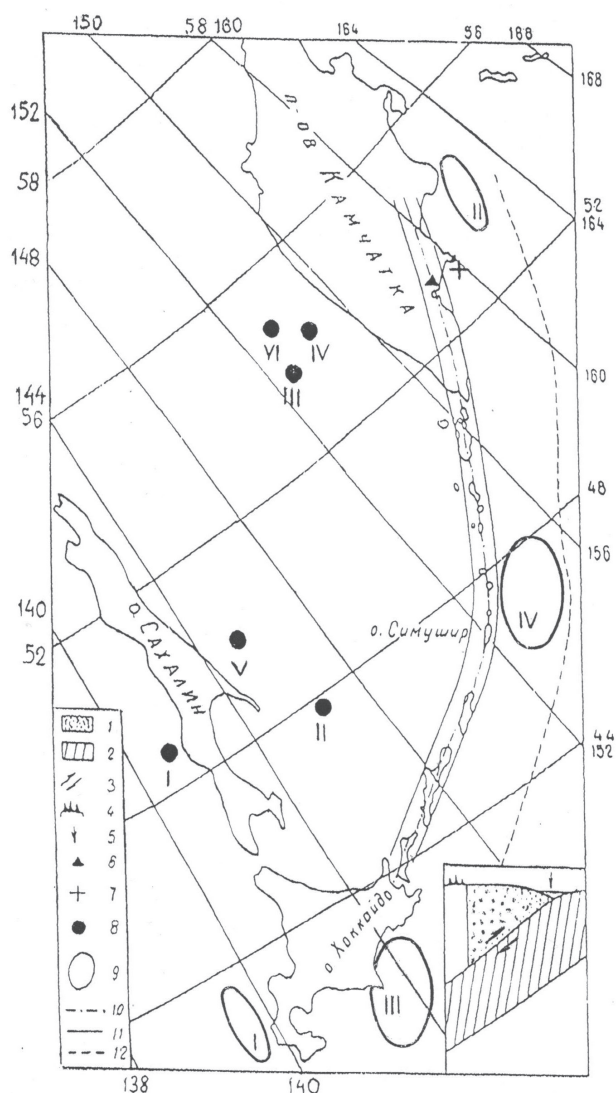
Предлагается геомеханический метод прогноза сильных ($M_w > 7,0$) мелкофокусных землетрясений в зоне субдукции.

Показывается, что упругая неустойчивость Эйлера может быть причиной сильных ($M_w > 7,0$) глубокофокусных землетрясений в зоне субдукции.

2. Изгибы Курило-Камчатской призмы на вулканическом поясе как на упругом основании

Геофизические исследования структуры вулканов на Камчатке показали, что под вулканами существуют локальные неоднородности, отличающиеся от вмещающей среды пониженными скоростями сейсмических волн. Вертикальные размеры этих аномальных тел достигают ста километров, а горизонтальные варьируют в пределах от нескольких километров до нескольких десятков километров. Расстояние между вулканами равно первым десяткам километров [13]. Локальные неоднородности делают вулканический пояс с его глубинными корнями протяженным упругим геологическим телом. В этой связи Курило-Камчатскую призму можно считать балкой, сопряженной с упругим основанием (рис. 1).

Рис. 1. Карта-схема района геомеханических исследований. 1 – Курило-Камчатская призма; 2 – Тихоокеанская плита; 3 – усилия сдвига между океанской плитой и призмой; 4 – вулканический пояс; 5 – указатель глубоководного желоба; 6 – геомеханические датчики в Петропавловске-Камчатском, созданные в рыхлых отложениях и скальном массиве; 7 – эпицентр землетрясения в Авачинском заливе 2 марта 1992 г. с $M_w = 7,1$; 8 – очаги сильных глубоководных землетрясений в хронологическом порядке: I – землетрясения 12 мая 1990 г. с $M_w = 7,2$ западнее о-ва Сахалин; II – землетрясения 17 ноября 2002 г. с $M_w = 7,3$ в Охотском море в районе Южных Курильских островов; III – землетрясения 5 июля 2008 г. с $M_w = 7,7$ в Охотском море западнее Камчатки; IV – землетрясения 24 ноября 2008 г. с $M_w = 7,3$ в Охотском море западнее Камчатки; V – землетрясения 14 августа 2012 г. с $M_w = 7,7$ в Охотском море восточнее о-ва Сахалин; VI – землетрясения 24 мая 2013 г. с $M_w = 8,3$ в Охотском море западнее Камчатки; 9 – очаги сильных мелкофокусных землетрясений в хронологическом порядке: I – землетрясения 12 июля 1993 г. с $M_w = 7,7$ западнее о-ва Хоккайдо; II – Кроноцкого землетрясения 5 декабря 1997 г. с $M_w = 7,8$; III – землетрясения 25 сентября 2003 г. с $M_w = 8,2$ южнее о-ва Хоккайдо; IV – симуширских землетрясений 15 ноября 2006 г. с $M_w = 8,3$ и 13 января 2007 г. с $M_w = 8,1$; 10 – ось Курило-Камчатского вулканического пояса; 11 – примерные границы Курило-Камчатского вулканического пояса; 12 – ось Курило-Камчатского глубоководного желоба. На врезке изображена схема субдукции Тихоокеанской плиты



Если упругое основание оказывает сопротивление вдоль оси X как сжатию, так и растяжению, то изгиб на нем балки под действием поперечной силы P , приложенной в точке $x = 0$, удовлетворяет уравнению [10]:

$$EJ \frac{d^4 y}{dx^4} = -ky, \quad (2.1)$$

где y – прогиб, E – модуль упругости, J – момент инерции поперечного сечения балки, k – коэффициент упругого основания.

Когда $x \geq 0$, решение уравнения (2.1) имеет вид

$$y = \frac{P}{8\beta^3 EJ} e^{-\beta x} (\cos \beta x + \sin \beta x), \quad (2.2)$$

где $\beta = \sqrt[4]{\frac{k}{4EJ}}$.

Когда $x < 0$, решение уравнения (2.1) симметрично решению уравнения (2.2).

Из соотношения (2.2) следует, что при изгибе балка приобретает волнообразную форму (рис. 2, а). С удалением от точки $x = 0$ прогиб балки постепенно уменьшается. Если $\beta x = \pi$, то $e^{-\beta x} \approx \frac{1}{20}$. Это значит, что амплитуда прогиба балки с каждой полуволной падает примерно в 20 раз. В интервале $0 < x < \frac{3\pi}{4\beta}$ (первая полуволна) балка прогибается в направлении силы, а в интервале $\frac{3\pi}{4\beta} < x < \frac{7\pi}{4\beta}$ (вторая полуволна) – в противоположном направлении.

На основании изложенного естественно предположить, что в процессе подготовки сильного мелкофокусного землетрясения в зоне субдукции Курило-Камчатская призма под нагрузкой Тихоокеанской плиты, которую в первом приближении можно считать сосредоточенной в центре очага, подобно балке изгибается на вулканическом поясе как на упругом основании. В интервале первой полуволны она прогибается в сторону вулканического пояса, а в интервале второй полуволны – в сторону океана. Прогиб призмы в сторону вулканического пояса создает в нем область сжатия, а прогиб в сторону океана – область растяжения.

Когда при землетрясении происходит взброс Курило-Камчатской призмы по границе с Тихоокеанской плитой со смещением в направлении к океану, нагрузка океанской плиты на призму в момент взброса резко падает, и призма мгновенно оказывается под нагрузкой упруго сжатого вулканического пояса. Быстро приложенная сила вызывает перемещение, которое в два раза превышает перемещение, создаваемое той же силой при постепенном ее приложении [9]. Значит, под нагрузкой стремительно разжимающегося вулканического пояса (которую, как и нагрузку Тихоокеанской плиты, в первом приближении можно считать сосредоточенной в центре очага) призма во время землетрясения надвигается на океанскую плиту, а после землетрясения начинает изгибаться на вулканическом поясе как на упругом основании. В интервале первой полуволны она прогибается в сторону океана и создает в вулканическом поясе область растяжения. В интервале второй полуволны призма прогибается в сторону вулканического пояса и создает там область сжатия.

В питающей системе вулканов на Камчатке предполагается наличие нижнего корового магматического очага, корового промежуточного очага, возникающего при плавлении гранитных или осадочных пород основными магмами, и верхнего периферического очага [13]. Значит, величина β при растяжении вулканического пояса меньше, чем при сжатии. На основании этого и соотношения (2.2) можно заключить, что длина первой полуволны изгиба Курило-Камчатской призмы после сильного землетрясения существенно больше, чем перед ним.

Поперечное сечение Курило-Камчатской призмы не имеет осей симметрии, поэтому ее изгиб всегда сопровождается кручением. На участках прогиба в сторону вулканического

пояса при кручении призма вращается по часовой стрелке (если смотреть на нее со стороны Курильских островов), а на участках прогиба в сторону океана – против часовой стрелки.

На северо-востоке Курило-Камчатская призма испытывает воздействие Северо-Американской плиты, на юго-западе – Евразийской плиты. При этом на концах Курило-Камчатской призмы могут возникать продольные силы. Если призма является балкой, то как балка, кривизна которой не равна нулю, она должна изгибаться и под действием этих продольных сил.

Представим Курило-Камчатскую призму в виде изогнутой балки с радиусом R и длиной $\frac{\pi R}{2}$. Допустим, что в районе сопряжения с Алеутской дугой призма закреплена, а в районе сопряжения с Японской дугой нагружена силой P (рис. 2, б). Проведем сечение в некоторой точке призмы. Положение сечения определим углом φ . Будем считать положительными: изгибающий момент M , если он увеличивает кривизну призмы; нормальную силу N , если она вызывает растяжение (направление от сечения); поперечную силу Q , если она стремится повернуть вырезанный из балки элемент бесконечно малой длины по ходу часовой стрелки.

Изгибающий момент в выбранном сечении равен моменту силы P относительно этого сечения:

$$M = -PR(1 - \cos \varphi). \quad (2.3)$$

Проектируя силу P на нормаль к сечению и на само сечение, получаем:

$$N = -P \cos \varphi, \quad (2.4)$$

$$Q = -P \sin \varphi.$$

Из соотношений (2.3) и (2.4) следует, что Курило-Камчатская призма под действием продольной силы P на Камчатке изгибается наиболее сильно. Поэтому в вулканическом поясе Камчатки при достаточно большой величине силы P могут возникнуть заметные сдвиговые деформации.

Рассмотрим теперь радиальное перемещение w Курило-Камчатской призмы в районе действия силы P . Положительным будем считать перемещение, если оно направлено к центру дуги призмы. Это перемещение, как следует из работы [10], описывается уравнением

$$\frac{d^2 w}{d\varphi^2} + w = \frac{MR^2}{EJ}. \quad (2.5)$$

После подстановки в уравнение (2.5) значения M из уравнения (2.3) получаем

$$\frac{d^2 w}{d\varphi^2} + w = -\frac{PR^3}{EJ}(1 - \cos \varphi). \quad (2.6)$$

Интеграл этого уравнения запишем так:

$$w = A \cdot \cos \varphi + B \sin \varphi + w_1,$$

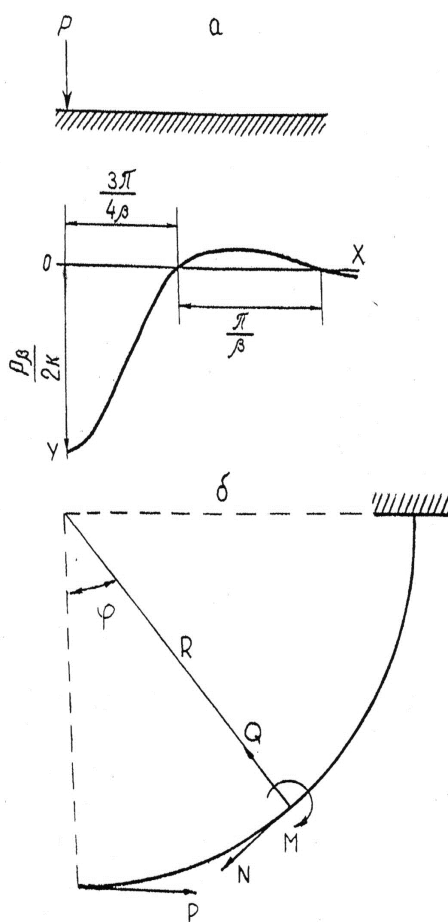


Рис. 2. Эпюра изгиба Курило-Камчатской призмы на вулканическом поясе как на упругом основании под действием поперечной силы P (а); схема для вычисления изгибающего момента M , поперечной Q и продольной N сил, возникающих в Курило-Камчатской призме под действием продольной силы P (б)

где w_1 – частный интеграл, А и В – произвольные константы.

Частный интеграл будем искать в виде

$$w_1 = C (\varphi \sin \varphi - 2),$$

где C – константа.

Подстановка данного значения w в уравнение (2.6) дает

$$-2C(1 - \cos \varphi) = -\frac{PR^3}{EJ}(1 - \cos \varphi).$$

Следовательно, $C = \frac{PR^3}{2EJ}$.

Отсюда решение уравнения (2.6) приобретает вид

$$w = A \cdot \cos \varphi + B \cdot \sin \varphi + \frac{PR^3}{2EJ}(\varphi \cdot \sin \varphi - 2). \quad (2.7)$$

При $\varphi = \frac{\pi}{2}$ имеем:

$$1) w = 0,$$

$$2) \frac{dw}{d\varphi} = 0.$$

Первое условие дает $B = 0$.

Второе условие приводит к соотношению $A = \frac{PR^3}{2EJ}$.

Таким образом,

$$w = \frac{PR^3}{2EJ} \cdot \cos \varphi + \frac{PR^3}{2EJ}(\varphi \cdot \sin \varphi - 2). \quad (2.8)$$

Если положить $\varphi = 0$, получим:

$$w = -\frac{PR^3}{2EJ}. \quad (2.9).$$

Из (2.9) следует, что реальное перемещение w Курило-Камчатской призмы в районе действия силы P направлено от центра дуги призмы. Вследствие этого в указанном районе возникает поперечная сила растяжения, под действием которой призма изгибается на вулканическом поясе как на упругом основании.

3. Геомеханический способ наблюдения за изменением во времени тектонических напряжений

Поверхностный слой Земли сложен трещиноватыми и пористыми породами. С глубиной трещиноватость и пористость пород уменьшаются, а их модуль упругости и коэффициент вязкости заметно возрастают [8]. На этом основании можно предположить, что в каждой точке поверхностного слоя вне оползневых зон под действием веса вышележащих горных пород развивается медленное горизонтальное смещение, направление которого зависит от рельефа местности. Очевидно, что смещение u за время t будет тем значительнее, чем больше давление горных пород и чем меньше их вязкость λ . Следовательно, имеем

$$u = k \frac{P}{\lambda} t, \quad (3.1)$$

где k – коэффициент пропорциональности.

Поскольку p и λ зависят от глубины z , получим

$$\frac{\partial u}{\partial z} = \left(\frac{\partial p}{\partial z} - \frac{1}{\lambda} \frac{\partial \lambda}{\partial z} p \right) \frac{k}{\lambda} t. \quad (3.2)$$

В скальном массиве коэффициент вязкости весьма значителен и медленно меняется с глубиной. Поэтому в нем на глубинах до нескольких десятков метров может выполняться неравенство

$$\frac{1}{\lambda} \frac{\partial \lambda}{\partial z} p \ll \frac{\partial p}{\partial z}. \quad (3.3)$$

На основании выражений (3.2) и (3.3) приходим к выводу, что в поверхностном слое скального массива градиент смещения имеет вид

$$\frac{\partial u}{\partial z} \approx \frac{k}{\lambda} \frac{\partial p}{\partial z} t. \quad (3.4)$$

В рыхлых отложениях с увеличением глубины осуществляется переход от разрушенных структур к неразрушенным, вследствие чего производная коэффициента вязкости по глубине имеет значительную величину. Поэтому в них на глубинах нескольких десятков метров может выполняться неравенство

$$\frac{1}{\lambda} \frac{\partial \lambda}{\partial z} p \gg \frac{\partial p}{\partial z}. \quad (3.5)$$

На основании выражений (3.2) и (3.5) заключаем, что градиент смещения в поверхностном слое рыхлых отложений описывается соотношением

$$\frac{\partial u}{\partial z} \approx -\frac{k}{\lambda^2} \frac{\partial \lambda}{\partial z} p t. \quad (3.6)$$

Из выражений (3.4) и (3.6) следует, что каждая точка поверхностного слоя Земли вне оползневых зон на глубине нескольких десятков метров под действием веса вышележащих пород медленно горизонтально смещается в направлении возможного деформирования с постоянной скоростью, причем в рыхлых отложениях эта скорость с глубиной уменьшается, а в скальном массиве увеличивается. Справедливость полученных выражений на глубине 50 м показали опытные наблюдения, которые обсуждаются в работе [5].

Главные тектонические напряжения, возникающие в поверхностном слое земной коры перед землетрясением, в системе координат XYZ (ось Z вертикальна) можно описать следующими соотношениями [11]:

$$\begin{aligned} \sigma_x &= \lambda \Delta + 2G \varepsilon_x, \\ \sigma_y &= \lambda \Delta + 2G \varepsilon_y, \\ \sigma_z &= \lambda \Delta + 2G \varepsilon_z, \end{aligned} \quad (3.7)$$

где σ – напряжение, ε – деформация, $\Delta = \varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z$ – объемная деформация.

Коэффициенты λ и G равны:

$$\lambda = \frac{\nu E}{(1+\nu)(1-2\nu)}, \quad G = \frac{E}{2(1+\nu)},$$

где E – модуль Юнга, ν – коэффициент Пуассона.

Тектонические напряжения можно считать однородными на довольно больших вертикальных площадках. Поэтому в некоторой точке из-за невозможности бокового расширения они вызывают одноосную горизонтальную деформацию. Для деформации, которая около земной поверхности направлена вдоль произвольной оси X, на основании (3.7) имеем:

$$\begin{aligned} \sigma_x &= (\lambda + 2G) \varepsilon_x, \\ \sigma_y &= \lambda \varepsilon_x, \\ \sigma_z &= \lambda \varepsilon_x. \end{aligned} \quad (3.8)$$

Из (3.8) получаем:

$$\varepsilon_x = \frac{p}{K}, \quad (3.9)$$

где $p = (\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z) / 3$ – тектоническое давление,
 $K = (3\lambda + 2G) / 3 = E / 3 (1 - 2\nu)$ – объемный модуль.

Деформация (3.9) на отрезке деформирования l от точки нулевой деформации до точки наблюдения создает смещение:

$$u_x = \int_0^l \varepsilon_x dx = \int_0^l \frac{p}{K} dx = \frac{\bar{p}}{\bar{K}} l, \quad (3.10)$$

где \bar{p} и \bar{K} – средние на отрезке l значения давления p и объемного модуля K .

Так как с ростом глубины от 0 до 50 м \bar{K} увеличивается в разы, а \bar{p} при этом практически не меняется, на основании (3.10) можно заключить, что при смещении u_x возникает градиент смещения:

$$\frac{\partial u_x}{\partial z} = -\frac{\bar{p}}{\bar{K}^2} \frac{\partial \bar{K}}{\partial z} l. \quad (3.11)$$

Чистый сдвиг возникает под действием напряжения $\sigma_x = -\sigma_0$, $\sigma_y = \sigma_0$, $\sigma_z = 0$.

В этом случае давление равно $p = 0$. Из (3.7) следует, что напряжение σ_x создает одноосную горизонтальную деформацию сжатия

$$\varepsilon_x = \frac{\sigma_x}{2G_x} = \frac{\sigma_x}{E_x}, \quad (3.12)$$

а напряжение σ_y – одноосную горизонтальную деформацию растяжения

$$\varepsilon_y = \frac{\sigma_y}{2G_y} = \frac{\sigma_y}{E_y}. \quad (3.13)$$

Деформация (3.12) на отрезке деформирования m в направлении x от точки нулевой деформации до точки наблюдения создает смещение:

$$u_x = \int_0^m \varepsilon_x dx = \int_0^m \frac{\sigma_x}{E_x} dx = \frac{\bar{\sigma}_x}{\bar{E}_x} m, \quad (3.14)$$

где $\bar{\sigma}_x$ и \bar{E}_x – среднее на отрезке m значение напряжения σ_x и модуля упругости E_x .

Деформация (3.13) на отрезке деформирования n в направлении y от точки нулевой деформации до точки наблюдения создает смещение:

$$u_y = \int_0^n \varepsilon_y dy = \int_0^n \frac{\sigma_y}{E_y} dy = \frac{\bar{\sigma}_y}{\bar{E}_y} n, \quad (3.15)$$

где $\bar{\sigma}_y$ и \bar{E}_y – среднее на отрезке n значение напряжения σ_y и модуля упругости E_y .

При смещении u_x возникает градиент смещения

$$\frac{du_x}{dz} = -\frac{\bar{\sigma}_x}{\bar{E}_x^2} \frac{d\bar{E}_x}{dz} m, \quad (3.16)$$

а при смещении u_y – градиент смещения

$$\frac{du_y}{dz} = -\frac{\bar{\sigma}_y}{\bar{E}_y^2} \frac{d\bar{E}_y}{dz} n. \quad (3.17)$$

Соотношения (3.4) и (3.11) свидетельствуют, что в скальном массиве градиент смещения, создаваемый тектоническим давлением, и градиент смещения, создаваемый весом

вышележащих горных пород, не влияют друг на друга. Поэтому, наблюдая за изменением градиента смещения в поверхностном слое скального массива, можно оперативно следить за изменением во времени тектонического давления.

В рыхлых отложениях, как следует из соотношения (3.6), давлением определяется не градиент смещения, а его производная по времени. Следовательно, для оперативного наблюдения за изменением во времени тектонического давления рыхлые отложения не подходят. Но поскольку даже линейное изменение давления в них приводит к нелинейному изменению градиента смещения, наблюдение за последним можно использовать для обнаружения тектонического давления. Так как объемный модуль рыхлых отложений мал, наблюдения в них позволят обнаружить появление весьма слабого давления.

Градиенты смещения (3.4) и (3.6) и градиенты смещения (3.16) и (3.17) не влияют друг на друга. Поэтому следить за изменением во времени тектонического напряжения чистого сдвига (тектонических напряжений $\bar{\sigma}_x$ и $\bar{\sigma}_y$) можно путем наблюдения за изменением градиентов смещения $\frac{du_x}{dz}$ и $\frac{du_y}{dz}$. Эти наблюдения можно проводить как в рыхлых отложениях, так и в скальном массиве. Но поскольку модуль упругости в рыхлых отложениях значительно меньше, чем в скальном массиве, указанные наблюдения целесообразнее проводить в рыхлых отложениях.

Для наблюдения за изменением во времени вертикальных градиентов горизонтального смещения на Камчатке в Петропавловске-Камчатском были созданы два геомеханических датчика: один – в скальном массиве, другой – в рыхлых отложениях. Геомеханические датчики представляют собой прочно связанные со средой на глубине 50 м вертикальные гильзы длиной 2 м с внутренним диаметром ≥ 20 см, в которых для преобразования механического сигнала в электрический закреплены скважинные уровневые электролитические наклонометры модели НИВ-1 [3].

4. Опытные свидетельства изгибов Курило-Камчатской призмы

4.1. Обнаружение изгиба призмы под действием продольной силы перед Хоккайдским землетрясением 12 июля 1993 г.

12 июля 1993 г. западнее о-ва Хоккайдо в зоне столкновения Евразийской континентальной плиты с Охотской произошло землетрясение с $M_w = 7,7$ (рис. 1). Координаты его гипоцентра: $\varphi = 42,84^\circ \text{ N}$, $\lambda = 139,25^\circ \text{ E}$, $h = 17$ км. Механизм очага – ось сжатия P: AZM = 270° , PL = 10° ; ось растяжения T: AZM = 88° , PL = 80° ; нодальная плоскость NP1 : STK = 0° , DP = 35° , SLIP = 91° ; нодальная плоскость NP2 : STK = 179° , DP = 55° , SLIP = 90° [9]. Такой механизм очага землетрясения однозначно свидетельствует о том, что в процессе его формирования на Курило-Камчатскую призму действовала продольная сила сжатия.

В это время геомеханический датчик, созданный в Петропавловске-Камчатском в рыхлых отложениях, записал временные ряды, которые приведены на рис. 3. Под действием веса вышележащих горных пород верхняя часть датчика в направлении С–Ю смещается на юг, а в направлении З–В – на восток. Сигнал датчика при этом в направлении С–Ю увеличивается, а в направлении З–В уменьшается. Под действием тектонических сил сжатия сигнал датчика в направлении С–Ю уменьшается, а в направлении З–В увеличивается. Под действием тектонических сил растяжения изменение сигналов датчика противоположное.

На рис. 3 видно, что линейные сигналы датчика с мая 1993 г. начали изменяться практически нелинейно. И в направлении С–Ю, и в направлении З–В относительно линейного хода они уменьшались. А это означает, что датчик в направлении С–Ю зафиксировал сжатие, а в направлении З–В – растяжение. 12 июля 1993 г. произошли скачки сигналов. За скачками последовали колебания, которые продлились до августа 1993 г. После этого

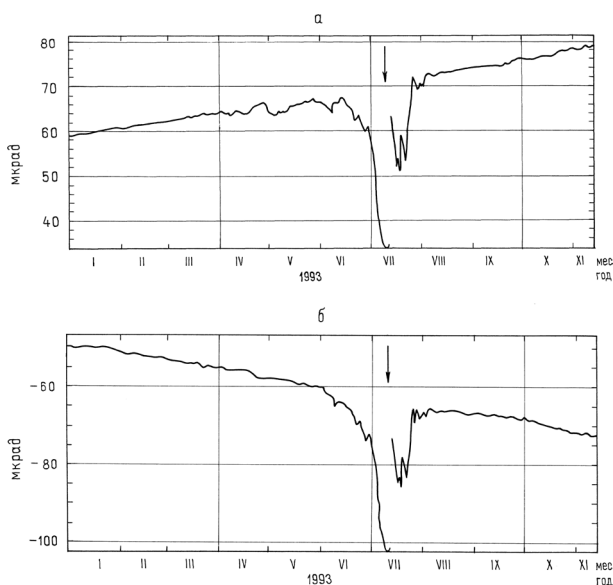


Рис. 3. Временные ряды углов отклонения продольной оси геомеханического датчика от отвесной линии в направлениях С–Ю (а) и Э–В (б), характеризующие градиент смещения в рыхлых отложениях в районе Петропавловска-Камчатского. Стрелками указан момент Хоккайдского землетрясения 12 июля 1993 г. с $M_w = 7,7$

4.2. Оценка длины первой полуволны изгиба призмы, возникающей под действием поперечной силы сжатия

На рис. 4 представлены временные ряды углов отклонения от отвесной линии продольной оси датчика, созданного в рыхлых отложениях, в направлениях С–Ю (а) и Э–В (б) в период с 1993 по 2001 г., характеризующие градиент смещения.

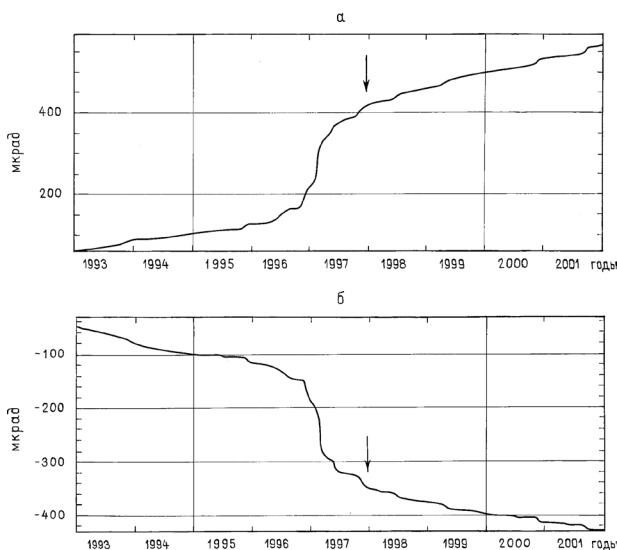


Рис. 4. Временные ряды геомеханического датчика, созданного в Петропавловске-Камчатском в рыхлых отложениях в направлениях С–Ю (а) и Э–В (б) в период с 1993 по 2001 г. Стрелками указан момент сильного землетрясения с $M_w = 7,8$, которое произошло 5 декабря 1997 г. у Тихоокеанского побережья Камчатки недалеко от Кроноцкого полуострова

сигналы датчика снова стали линейными. Изменение сигналов по абсолютной величине было практически одинаковым. Следовательно, в вулканическом поясе в районе Петропавловска-Камчатского с мая по август 1993 г. происходили деформации чистого сдвига в северо-восточном направлении.

Из сказанного выше и рассмотренного в разд. 2 воздействия на Курило-Камчатскую призму силы Р следует, что перед Хоккайдским землетрясением 1993 г. юго-западный конец призмы из-за ее изгиба под действием продольной силы смещался в сторону Тихого океана. Вследствие этого на призму стала действовать поперечная сила растяжения, вызывая ее изгиб на вулканическом поясе как на упругом основании.

Во время записи этих рядов 5 декабря 1997 г. у Тихоокеанского побережья Камчатки недалеко от Кроноцкого полуострова произошло землетрясение с $M_w = 7,8$ (рис. 1). Координаты его гипоцентра: 84°E , $162,04^\circ\text{E}$, 33 км . Механизм очага – ось сжатия Р: $AZM = 124^\circ$, $PL = 23^\circ$; ось растяжения Т: $AZM = 321^\circ$, $PL = 66^\circ$; нодальная плоскость NP1: $STK = 202^\circ$, $DP = 23^\circ$, $SLIP = 74^\circ$; нодальная плоскость NP2: $STK = 39^\circ$, $DP = 68^\circ$, $SLIP = 97^\circ$ [7]. Эпицентр землетрясения находился на расстоянии 300 км от Петропавловска-Камчатского. В плане очаг землетрясения имел размеры 200 x 110 км. Его нижняя

граница располагалась на глубине 40 км. Подвижка в очаге равнялась примерно 2 м. Механизм землетрясения сейсмологами оценивается как типичный субдукционный взброс [1]. Момент Кроноцкого землетрясения на рис. 4 отмечен стрелками. На рисунке видно, что перед землетрясением сигналы датчика менялись нелинейно. При этом характер их изменения дает основание утверждать, что в вулканическом поясе Камчатки в районе Петропавловска-Камчатского перед Кроноцким землетрясением возникли силы растяжения. Следовательно, геомеханический датчик зафиксировал появление второй полуволны изгиба Курило-Камчатской призмы. Данный факт позволяет приблизительно оценить длину первой полуволны изгиба Курило-Камчатской призмы, возникающей под действием поперечной силы сжатия. Допустим, что величина при сжатии и растяжении вулканического пояса примерно одинакова, что нагрузка Тихоокеанской плиты сосредоточена в центре очага землетрясения и что датчик находится в середине второй полуволны изгиба призмы.

Тогда длина первой полуволны $x = \frac{3\pi}{4\beta}$ равна примерно 200 км.

4.3. Оценка длины первой полуволны изгиба призмы, возникающей под действием поперечной силы растяжения

Примерная длина первой полуволны изгиба Курило-Камчатской призмы, возникающей под действием силы растяжения, была определена по временным рядам геомеханического датчика, созданного в районе Петропавловска-Камчатского в скальном массиве (рис. 1). Под действием веса вышележащих горных пород сигнал датчика в направлении С–Ю линейно (если не учитывать влияние атмосферных и гидросферных воздействий) увеличивается, а в направлении З–В линейно уменьшается. Увеличение сигналов датчика и в направлении С–Ю, и в направлении З–В означает рост тектонического давления. Одновременное уменьшение сигналов означает падение тектонического давления. Незначительное уменьшение сигнала датчика в направлении С–Ю и незначительное увеличение его в направлении З–В свидетельствуют о сжатии, а противоположное изменение сигналов датчика свидетельствует о растяжениях, при которых поперечные напряжения в поверхностном слое скального массива близки к нулю.

Во время наблюдения с помощью этого датчика восточнее о-ва Симушир на расстоянии 800 км от Петропавловска-Камчатского возникли два землетрясения (рис. 1). Первое землетрясение произошло 15 ноября 2006 г. с $M_w = 8,3$. Координаты его гипоцентра: $\varphi = 46,6^\circ \text{ N}$, $\lambda = 153,2^\circ \text{ E}$, $h = 28$ км. Механизм очага – ось сжатия P: $AZM = 123^\circ$, $PL = 30^\circ$; ось растяжения T: $AZM = 302^\circ$, $PL = 60^\circ$; нодальная плоскость NP1: $STK = 214^\circ$, $DP = 15^\circ$, $SLIP = 92^\circ$; нодальная плоскость NP2: $STK = 33^\circ$, $DP = 75^\circ$, $SLIP = 90^\circ$ (Информационное сообщение ГС РАН о сильном землетрясении в центральной части Курильской гряды 15 ноября 2006 г.). Землетрясение было вызвано надвигом вдоль полого падающей на запад поверхности. Общая протяженность сейсморазрыва – 300 км, ширина – 60 км. При надвиге произошла подвижка величиной 6,7 м [12]. Второе землетрясение произошло 13 января 2007 г. с $M_w = 8,2$. Координаты его гипоцентра: $\varphi = 46,29^\circ \text{ N}$, $\lambda = 154,45^\circ \text{ E}$, $h = 10$ км. Механизм землетрясения – ось сжатия P: $AZM = 264^\circ$, $PL = 67^\circ$; ось растяжения T: $AZM = 150^\circ$, $PL = 10^\circ$; нодальная плоскость NP1: $STK = 42^\circ$, $DP = 58^\circ$, $SLIP = -114^\circ$; нодальная плоскость NP2: $STK = 263^\circ$, $DP = 40^\circ$, $SLIP = -57^\circ$ (Информационное сообщение ГС РАН о сильном землетрясении в центральной части Курильской гряды 13 января 2007 г.). Землетрясение было вызвано сбросом по плоскости разрыва юго-западного простирания, падающей на северо-запад. Параметры сейсморазрыва: длина – 180 км, ширина – 40 км. При сбросе произошла подвижка величиной 5,1 м [12].

На рис. 5 видно, что сигнал датчика в 2007 г. в направлении С–Ю относительно линейного хода под действием веса вышележащих горных пород незначительно уменьшался, а в направлении З–В незначительно увеличивался. Это означает, что в вулканическом поясе в точке наблюдения возникло напряжение сжатия. А это, в свою очередь, свидетельствует

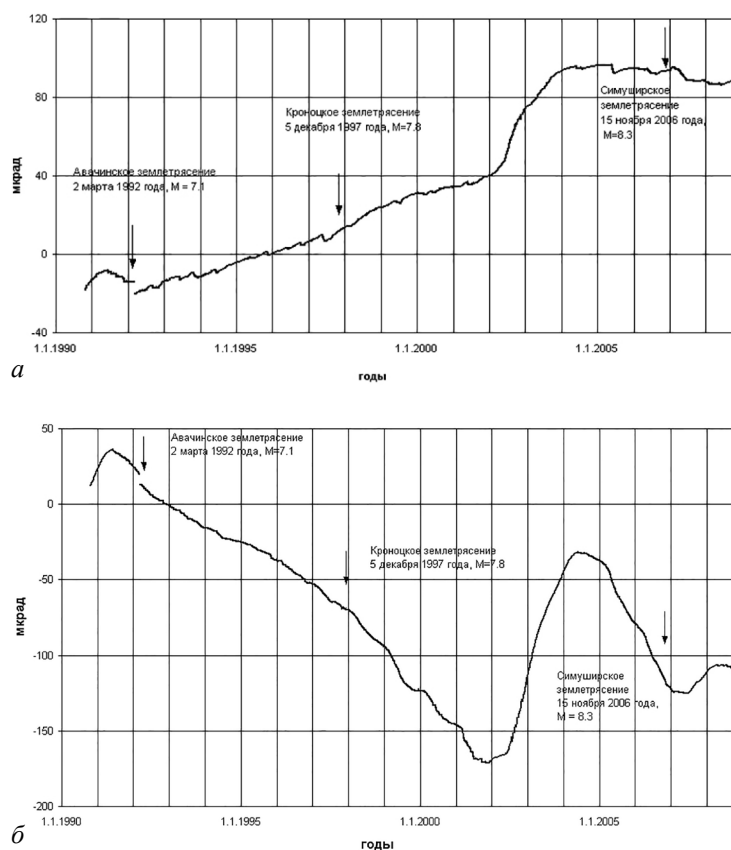


Рис. 5. Временные ряды геомеханического датчика, созданного в скальном массиве в Петропавловске-Камчатском в направлениях С–Ю (а) и З–В (б). Характеризуют изменения тектонического давления в вулканическом поясе. Стрелками указаны моменты землетрясений: Авачинского с $M = 7,1$, Кроноцкого с $M_w = 7,8$ и первого Симуширского с $M_w = 8,3$, характеризующие изменения тектонического давления в вулканическом поясе

о том, что призма смещалась в сторону вулканического пояса. Следовательно, можно утверждать, что после Симуширского землетрясения в районе Авачинского залива развивалась вторая полуволна изгиба Курило-Камчатской призмы, что позволяет оценить длину первой полуволны изгиба Курило-Камчатской призмы, возникающей под действием поперечной силы растяжения. При предположениях, подобных сделанным в разд. 4.2, найдем, что длина первой полуволны изгиба $x = \frac{3\pi}{4\beta}$ равна примерно 500 км.

5. Геомеханический метод прогноза сильных ($M_w > 7,0$) мелкофокусных землетрясений в зоне субдукции

В зоне субдукции на Камчатке область наибольшей сейсмичности находится на глубинах 0–40 км [13]. Сильные землетрясения обусловлены здесь сцеплением Тихоокеанской плиты с Курило-Камчатской призмой, так как фокальные механизмы указывают на усилия сдвига, направление которых соответствует направлению субдукции [14]. Поэтому можно предположить, что подготовка сильных землетрясений в зоне субдукции на указанных глубинах происходит следующим образом. Когда сцепление океанской плиты с призмой начинает препятствовать движению плиты, амплитуда краевого океанического вала увеличивается. Подобным же образом меняется и нагрузка океанской плиты на участке сцепления. Когда нагрузка на участке сцепления достигает предела прочности и там начинаются квазипластические деформации, энергия, накопленная океанской плитой, порождает лавинообразный разрыв, вызывающий землетрясение. Следовательно, чтобы предсказать землетрясение, необходимо знать, как меняется во времени нагрузка океанской плиты на участке сцепления. Участки сцепления в зоне субдукции Камчатки

находятся в акватории Тихого океана, и наблюдение за изменением нагрузки там является весьма сложной технической задачей. Изгиб Курило-Камчатской призмы позволяет решить данную задачу.

При изгибе призмы под нагрузкой Тихоокеанской плиты в вулканическом поясе возникают области сжатия и растяжения. Поэтому если использовать в вулканическом поясе предложенный выше способ наблюдения за изменением во времени тектонического давления, то можно проследить за изменением нагрузки Тихоокеанской плиты в акватории Тихого океана.

Наблюдения с помощью созданного в скальном массиве геомеханического датчика начались осенью 1990 г. Во время наблюдений, а именно 2 марта 1992 г., на расстоянии примерно 110 км от Петропавловска-Камчатского в Авачинском заливе произошло землетрясение с $M = 7,1$ (рис. 1). Очаг землетрясения занимал диапазон глубин от 10 до 40 км. В вертикальной плоскости очаг имел эллипсообразную форму, большая ось была наклонена на восток. В горизонтальной плоскости очаг также имел эллипсообразную форму с осями 25 и 20 км. В очаге отмечена взбросовая подвижка по поверхности, падающей под по-ов Камчатка [2].

Из полученных временных рядов (рис. 5) следует, что перед данным землетрясением давление в вулканическом поясе росло. Достигнув максимума, оно стало падать, сначала плавно, а в момент землетрясения – скачком. Рост и последовавший затем плавный спад давления означают, что нагрузка Тихоокеанской плиты увеличивала напряжения в очаге, пока последние не достигли предела прочности очага и там не начались квазипластические деформации. Скачок давления свидетельствует, что энергия, накопленная Тихоокеанской плитой в рассматриваемом процессе, в определенный момент времени породила лавинообразный разрыв очага, который и вызвал землетрясение.

Найденное на опыте изменение тектонического давления в вулканическом поясе перед землетрясением 2 марта 1992 г. позволило сформулировать [4] геомеханический метод прогноза сильных землетрясений. Суть его заключается в том, что, наблюдая с помощью геомеханического датчика за изменением во времени тектонического давления в вулканическом поясе, можно следить за подготовкой сильного мелкофокусного землетрясения в зоне субдукции и осуществить его прогноз. Основанием для прогноза является уменьшение давления в вулканическом поясе после достижения им наибольшей величины.

После Кроноцкого землетрясения 5 декабря 1997 г. сигнал геомеханического датчика относительно линейного хода до землетрясения в направлении С–Ю незначительно нелинейно увеличивался, а в направлении З–В незначительно нелинейно уменьшался. Так продолжалось вплоть до 2002 г. (рис. 5). Данное изменение сигналов датчика свидетельствует об изгибе Курило-Камчатской призмы на вулканическом поясе как на упругом основании под действием поперечной силы растяжения. В районе Авачинского залива призма прогибалась в сторону Тихого океана, испытывая кручение против часовой стрелки. На больших глубинах призма смещалась в сторону океанской плиты, а вблизи земной поверхности, наоборот, океанская плита смещалась в сторону призмы. Поэтому когда сцепление призмы с океанской плитой стало препятствовать субдукции, рост океанской нагрузки вызвал рост тектонического давления в вулканическом поясе. Об этом свидетельствуют сигналы геомеханического датчика, которые с 2002 по 2004 г. увеличивались и в направлении С–Ю, и в направлении З–В (рис. 5).

Смещение океанской плиты в сторону призмы обеспечивало рост океанской нагрузки без роста амплитуды краевого океанического вала. И когда эта нагрузка на участке сцепления призмы с океанской плитой достигла предела прочности, энергия океанской плиты не смогла породить лавинообразный разрыв, вызывающий землетрясение. Поэтому там началось запредельное деформирование. Сигналы геомеханического датчика, записанные им с 2004 по 2006 г., подтверждают это (рис. 5).

Обнаружение после Кроноцкого землетрясения запредельного деформирования в районе Авачинского залива дает основание утверждать, что если при сильном мелкофокусном

землетрясении произошел взброс по границе между океанской плитой и призмой, то новые сильные мелкофокусные землетрясения на смежных с очагом участках зоны субдукции в период изгиба Курило-Камчатской призмы происходить не могут. Новые сильные землетрясения в этот период возможны только на значительном расстоянии от случившегося, величина которого определяется длиной первой полуволны изгиба Курило-Камчатской призмы. Данное обстоятельство необходимо учитывать при прогнозе землетрясений.

6. Механизм возникновения сильных ($M_w > 7,0$) глубокофокусных землетрясений в зоне субдукции

Тихоокеанской плите в зоне субдукции на Камчатке свойственна сегментация. Отчетливо выражены сегменты шириной порядка 100 км, но в их пределах обычно улавливается и более дробное деление [14]. На основании сказанного наиболее жесткую часть сегментов океанской плиты глубже зоны перегиба, т.е. глубже 50 км, можно представить в виде сегментов-стержней.

Методами сейсмической томографии обнаружено, что на Камчатке океанская плита пересекает кровлю нижней мантии на глубине 670 км, где вязкость горных пород возрастает в 10–30 раз [14]. Поэтому можно утверждать, что сегменты-стержни на глубине 670 км не имеют возможности ни перемещаться в поперечном направлении, ни поворачиваться. Это означает, что нижние концы сегментов-стержней имеют жесткую заделку. При отсутствии изгиба Курило-Камчатской призмы и верхние концы сегментов-стержней не испытывают ни перемещения в поперечном направлении, ни поворота. Следовательно, их также можно считать жестко заделанными. В этом случае в системе координат XYZ, в которой ось Z направлена вдоль сегмента-стержня от его нижнего конца, а ось Y нормальна к нему в вертикальной плоскости, изгиб сегмента-стержня под действием продольной силы в плоскости YZ происходит при следующих граничных условиях:

$$y(0) = 0, \quad \frac{dy(0)}{dz} = 0, \quad y(l) = 0, \quad \frac{dy(l)}{dz} = 0. \quad (6.1)$$

Как известно [10], при данных граничных условиях критическое значение продольной силы, при котором возникает неустойчивость Эйлера, равно

$$N_{cr} = \frac{4\pi^2 EJ_x}{l^2}, \quad (6.2)$$

где l – длина, E – модуль упругости, J_x – момент инерции поперечного сечения относительно оси X сегмента-стержня.

При изгибе Курило-Камчатской призмы после сильного землетрясения верхний конец сегмента-стержня океанской плиты в районе второй полуволны изгиба призмы может заметно смещаться практически без поворота в сторону вулканического пояса. В этом случае заделку верхнего конца сегмента-стержня можно считать плавающей. Если один конец сегмента-стержня имеет жесткую заделку, а другой – плавающую, то граничные условия характеризуются соотношениями

$$y(0) = 0, \quad \frac{dy(0)}{dz} = 0, \quad \frac{dy(l)}{dz} = 0, \quad \frac{d^2 y(l)}{dz^2} = -\frac{y(l)}{2} \lambda^2. \quad (6.3)$$

Изгиб сегмента-стержня, возникающий под действием продольной силы при данных граничных условиях, характеризует уравнение

$$\frac{d^2 y(z)}{dz^2} + \lambda^2 y(z) = \lambda^2 \frac{y(l)}{2}, \quad (6.4)$$

$$\text{где } \lambda^2 = \frac{N}{EJ_x}. \quad (6.5)$$

Решая уравнение (6.4), получаем:

$$y(z) = \frac{y(l)}{2}(1 - \cos \lambda z). \quad (6.6)$$

При $y(z) > 0$ функция (6.6) имеет вид штриховой кривой на рис. 6. При $z = l$ равенство (6.6) сохраняется, если $\cos \lambda l = -1$, т.е. если $\lambda = \frac{\pi}{l}$. Подставляя это значение λ в (6.5), найдем значение критической силы N_{cr} :

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 EJ_x}{l^2}. \quad (6.7)$$

Из соотношений (6.2) и (6.7) следует, что воздействие Курило-Камчатской призмы при изгибе на сегменты-стержни Тихоокеанской плиты приводит к уменьшению критического значения продольной силы в 4 раза. При этом в районе второй полуволны изгиба Курило-Камчатской призмы, вызванного поперечной силой растяжения, заметно увеличивается продольная нагрузка. Значит, здесь возможна потеря устойчивости сегментов-стержней и их изгиб в соответствии с (6.4), который порождает разрыв, вызывающий землетрясение. Разрыв происходит там, где жесткость сегментов-стержней EJ_x имеет наименьшее значение, т.е. вблизи кровли нижней мантии.

Изложенные представления о механизме возникновения сильных ($M_w > 7,0$) глубоководных землетрясений в зоне субдукции Курило-Камчатской дуги подтверждаются на опыте. Покажем, что гипоцентры всех сильных глубоководных землетрясений, которые произошли в период с 1990 по 2013 г. [6], располагались в районе второй полуволны изгиба Курило-Камчатской призмы.

1. Перед Хоккайдским землетрясением 12 июля 1993 г. юго-западная часть Курило-Камчатской призмы изгибалась на вулканическом поясе как на упругом основании под действием поперечной силы растяжения. Следовательно, перед Хоккайдским землетрясением в районе о-ва Кунашир, расположенного на расстоянии около 500 км от эпицентра Хоккайдского землетрясения, развивалась вторая полуволна изгиба Курило-Камчатской призмы. Гипоцентр глубоководного землетрясения 12 мая 1990 г. с $M_w = 7,2$ имел такие координаты: $\varphi = 48,80^\circ$ N; $\lambda = 141,40^\circ$ E; $h = 610$ км. Следовательно, он был расположен на траверсе глубоководного желоба примерно в середине о-ва Кунашир (рис. 1).

2. 25 сентября 2003 г. южнее о-ва Хоккайдо в зоне сопряжения Курило-Камчатской дуги с Японской произошло землетрясение с $M_w = 8,3$. Координаты его гипоцентра: $\varphi = 41,81^\circ$ E; $\lambda = 143,91^\circ$ E, $h = 27$ км. Механизм очага – ось сжатия P : AZM = 124° , PL = 36° ; ось растяжения T : AZM = 289° , PL = 53° ; нодальная плоскость NP1 : STK = 250° , DP = 11° , SLIP = 132° ; нодальная плоскость NP2 : STK = 28° , DP = 82° , SLIP = 83° . Плоскостью разрыва, вызвавшего данное землетрясение, является нодальная плоскость NP2 [7]. Ее простирание близко к простиранию плоскости разрыва, вызвавшего землетрясение 12 июля 1993 г. западнее о-ва Хоккайдо. На этом основании с учетом того, что при взбросе по плоскости разрыва произошел и левосторонний сдвиг, можно утверждать: перед землетрясением 25 сентября 2003 г. юго-западная часть Курило-Камчатской призмы изгибалась на вулканическом поясе как на упругом основании под действием поперечной силы растяжения. При данном изгибе призмы в районе о-ва Итуруп, расположенного на расстоянии примерно 500 км от эпицентра рассматриваемого землетрясения, развивалась вторая полуволна изгиба. Гипоцентр глубоководного землетрясения 17 ноября 2002 г.

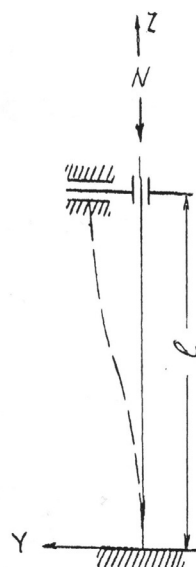


Рис. 6. Форма изгиба сегментов-стержней Тихоокеанской плиты при потере устойчивости

с $M_w = 7,3$ имел следующие координаты: $\varphi = 47,90^\circ \text{ N}$; $\lambda = 146,35^\circ \text{ E}$; $h = 480 \text{ км}$, т.е. был расположен на траверзе глубоководного желоба на северо-востоке о-ва Итуруп (рис. 1).

3. После симуширских землетрясений на юге Камчатки начала развиваться вторая полуволна изгиба Курило-Камчатской призмы. Поэтому призма стала смещаться в сторону вулканического пояса – об этом свидетельствуют сигналы геомеханического датчика. В направлении С–Ю сигнал датчика относительно линейного хода под действием веса вышележащих пород стал уменьшаться, а в направлении З–В – увеличиваться (рис. 5). Гипоцентр глубоководного землетрясения 5 июля 2008 года с $M_w = 7,7$ имел следующие координаты: $\varphi = 53,87^\circ \text{ N}$; $\lambda = 152,99^\circ \text{ E}$; $h = 630 \text{ км}$. Значит, он находился на траверзе глубоководного желоба на юге Камчатки на расстоянии примерно 500 км от центра общего очага симуширских землетрясений (рис. 1).

4. Гипоцентр глубоководного землетрясения 24 ноября 2008 г. с $M_w = 7,3$ имел координаты $\varphi = 54,19^\circ \text{ N}$, $\lambda = 154,44^\circ \text{ E}$; $h = 490 \text{ км}$, т.е. был расположен, как и эпицентр землетрясения 5 июля 2008 г., на траверзе глубоководного желоба на юге Камчатки в районе второй полуволны изгиба Курило-Камчатской призмы, только на удалении от последнего вдоль глубоководного желоба примерно на 100 км (рис. 1).

5. После Кроноцкого землетрясения изгиб Курило-Камчатской призмы продолжался, как видно на рис. 5, не менее 10 лет. Очевидно, что после симуширских землетрясений в 2006 и 2007 гг. призма изгибалась не меньше время. Следовательно, в 2012 г. в районе о-ва Уруп на расстоянии примерно 500 км от центра очага симуширских землетрясений, развивалась вторая полуволна изгиба призмы. Гипоцентр глубоководного землетрясения 14 августа 2012 г. с $M_w = 7,7$ имел такие координаты: $\varphi = 49,82^\circ \text{ N}$; $\lambda = 145,26^\circ \text{ E}$; $h = 600 \text{ км}$. Следовательно, он находился на траверзе глубоководного желоба на юго-западе о-ва Уруп (рис. 1).

6. Гипоцентр глубоководного землетрясения 24 мая 2013 года с $M_w = 8,3$ имел следующие координаты: $\varphi = 54,89^\circ \text{ N}$; $\lambda = 153,34^\circ \text{ E}$; $h = 610 \text{ км}$ и, значит, находился на траверзе глубоководного желоба на юге Камчатки, где все еще развивалась вторая полуволна изгиба Курило-Камчатской призмы, возникшего после симуширских землетрясений (рис. 1).

Свидетельством справедливости изложенных представлений о механизме возникновения сильных глубоководных землетрясений в зоне субдукции Курило-Камчатской дуги является также следующее.

Изгибающий момент сегмента-стержня при изгибе (6.4) имеет вид

$$M_x = -EJ_x \cdot \frac{y(l)}{2} \cdot \lambda^2 \cos \lambda z \quad (6.8)$$

при $z = \frac{l}{2} M_x = 0$.

Следовательно, в середине сегмента-стержня, т.е. на глубине 360 км, землетрясения должны отсутствовать. Данный вывод подтверждается экспериментальными сейсмологическими данными [13].

7. Выводы

1. Изгиб Курило-Камчатской призмы под действием поперечных сил сжатия позволяет путем наблюдения за изменением во времени тектонического давления в вулканическом поясе с помощью геомеханического датчика, созданного в скальном массиве, следить за изменением нагрузки Тихоокеанской плиты на Курило-Камчатскую призму в акватории Тихого океана и осуществлять таким образом прогноз сильных ($M_w > 7,0$) мелкофокусных землетрясений.

2. В настоящее время с целью прогноза землетрясений широко ведутся наблюдения за их предвестниками – аномалиями различных природных явлений, которые предвещают землетрясения. Попытки прогноза на основе данных наблюдений до сих пор трудно

назвать успешными. Однако если учитывать возможность возникновения запредельного деформирования вследствие изгиба Курило-Камчатской призмы после сильного землетрясения, то прогноз сильных мелкофокусных землетрясений в зоне субдукции на основе наблюдений за предвестниками может стать достаточно надежным.

3. В зоне коллизии, т.е. на протяжении многих тысяч километров Средиземноморско-Гималайского складчатого пояса, условий для возникновения запредельного деформирования нет. Здесь перед сильными землетрясениями возникают локализованные упругодеформированные области земной коры. Когда напряжения в этих областях достигают предела их прочности, энергия, накопленная в земной коре, порождает лавинообразные разрывы, вызывающие землетрясения. Эти землетрясения, как известно, случаются обычно на глубинах до 10–15 км, где разрыв происходит почти сразу же после достижения напряжением предела прочности. Поэтому в зоне коллизии наблюдения за изменением во времени тектонического давления в поверхностном слое скального массива с помощью геомеханического датчика позволят делать оперативный, т.е. непосредственно, практически осуществляемый, краткосрочный прогноз близких сильных землетрясений.

4. С помощью геомеханического датчика можно следить за изменением во времени тектонического напряжения чистого сдвига. Следовательно, в зоне трансформных разломов, например в зоне разлома Сан-Андреас, геомеханические наблюдения позволят осуществить прогноз сильных землетрясений.

5. При изгибе Курило-Камчатской призмы после сильного землетрясения на внутренних участках призмы в районе второй полуволны изгиба могут возникнуть условия для упругой неустойчивости сегментов-стержней Тихоокеанской плиты. Вследствие этого в зоне субдукции указанных участков происходят глубокофокусные землетрясения. На концах Курило-Камчатской призмы условия для упругой неустойчивости сегментов-стержней Тихоокеанской плиты и, следовательно, условия для глубокофокусных землетрясений в зоне субдукции возникают перед сильными мелкофокусными землетрясениями.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гусев А.А., Левина В.И., Салтыков В.А., Гордеев Е.И. Кронцкое землетрясение 5 декабря 1997 года: основные данные, сейсмичность очаговой зоны, механизм очага, макросейсмический эффект // Кронцкое землетрясение на Камчатке 5 декабря 1997 года / под ред. Е.И. Гордеева, Б.В. Иванова, А.В. Викулина. Петропавловск-Камчатский: Изд-во Камчатской госакадемии рыбопромыслового флота, 1998. С. 32–49.
2. Зобин В.М., Гордеев Е.И., Левина В.И. и др. Камчатское землетрясение 2 марта 1992 г. (магнитуда $M_LH = 7,1$) в Авачинском заливе и связанные с ним явления // Вулканология и сейсмология. 1996. № 6. С. 48–61.
3. Ившин В.М. Скважинный наклонномер НИВ-1 // Вулканология и сейсмология. 1993. № 5. С. 105–112.
4. Ившин В.М., Ившина Е.В. Геомеханический метод прогноза сильных землетрясений // Вулканология и сейсмология. 2005. № 6. С. 61–67.
5. Ившин В.М., Ившина Е.В. Способ непрерывного наблюдения за изменением тектонического давления в вулканическом поясе с целью прогноза сильных землетрясений // Материалы ежегодной конф., посвящ. Дню вулканолога. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2010. С. 89–91.
6. Полец А.Ю. Глубокофокусные землетрясения и тектоническое поле современных напряжений в Курило-Охотском регионе // Вестн. ДВО РАН. 2017. № 1. С. 26–37.
7. Рогожин Е.А., Захарова А.И. Сеймотектоника очаговых зон цунамигенных землетрясений // Геофиз. исследование. 2006. Вып.6. С. 3–12.
8. Сергеев Е.М., Голодковская Г.А., Зиангиров Р.С. и др. Грунтоведение. М.: Изд-во МГУ, 1973. 386 с.
9. Тимошенко С.П. Сопrotивление материалов. Т. 1. М.: Гос. изд-во физ.-мат. литературы, 1960. 380 с.
10. Тимошенко С.П. Сопrotивление материалов. Т. 2. М.: Изд-во АН СССР, 1965. 480 с.
11. Тимошенко С.П. Теория упругости. Л.; М.: ОНТИ, 1937. 451 с.
12. Тихонов И.Н., Василенко Н.Ф., Прытков А.С. и др. Катастрофические Симуширские землетрясения 15 ноября 2006 г. и 13 января 2007 г. // Проблемы сейсmobезопасности Дальнего Востока и Восточной Сибири: Междунар. науч. симпозиум, Россия, Южно-Сахалинск, 27–30 сентября 2007 г. / отв. ред. И.Н. Тихонов, А.В. Коновалов. Южно-Сахалинск: Ин-т морской геологии и геофизики ДВО РАН, 2007. 166 с.
13. Федотов С.А. О механизме вулканической деятельности на Камчатке, Курило-Камчатской дуге и в сходных структурах // Действующие вулканы Камчатки. Т. 1. М.: Наука, 1991. С. 18–29.
14. Хаин В.Е., Ломизе М.Г. Геотектоника с основами геодинамики. М.: Изд-во МГУ, 1995. 480 с.

В.Д. КАНТЕМИРОВ, А.М. ЯКОВЛЕВ, Р.С. ТИТОВ

Геоинформационные технологии блочного моделирования для оценки качественных показателей полезных ископаемых в условиях переходных процессов горного производства

Представлены результаты разработки методики оценки качественных показателей полезных ископаемых на основе технологий блочного моделирования с использованием современных горно-геологических информационных систем (ГИИС). Разработана блок-схема моделирования качественных показателей полезного ископаемого и приведены результаты ее практического применения на примере комплексных руд Серовского месторождения и каменного угля участка Одегельдей Ак-Тальского месторождения (Республика Тыва). Представленная методика блочного моделирования позволяет в экспресс-режиме с высокой достоверностью районировать в карьерном пространстве технологические типы и сорта руд, что упрощает решение задач проектирования, планирования и управления производством в условиях экономической неопределенности, ухудшающихся горно-геологических и горно-технологических условий разработки месторождений.

Ключевые слова: горно-геологическая информационная система (ГИИС), качественные характеристики руд, блочное моделирование, геометризация, геологическая база данных.

Geoinformation technologies of block modeling for assessing the quality indicators of minerals in the conditions of transient processes in mining. V.D. KANTEMIROV, A.M. YAKOVLEV, R.S. TITOV (Institute of Mining, Ural Branch of RAS, Yekaterinburg).

The article presents the results of the development of a methodology for evaluating the quality indicators of minerals based on block modeling technologies using modern Geological and Mining Information Systems (GMIS). A block diagram of modeling the quality indicators of mineral resources has been developed and the results of its practical application at the following fields: Serov complex ores and coal of the Odegeldey section of the AK-Tal field (Republic of Tyva) are reported. The presented method of block modeling makes it possible to zone technological types and grades of ores in the quarry space with high reliability in express mode, which simplifies the solution of problems of design, planning and production management in the conditions of economic uncertainty, deteriorating mining-geological and mining-technological conditions of field development.

Key words: Geological and Mining Information Systems (GMIS), quality characteristics of ores, block modeling, geometrization, geological database.

Введение

При планировании разработки месторождений твердых полезных ископаемых (ПИ) с целью их рационального использования большое значение имеет комплексная

*КАНТЕМИРОВ Валерий Данилович – кандидат технических наук, заведующий сектором управления качеством минерального сырья, ЯКОВЛЕВ Андрей Михайлович – старший научный сотрудник, ТИТОВ Роман Сергеевич – старший научный сотрудник (Институт горного дела УрО РАН, Екатеринбург). *E-mail: ukrkant@mail.ru

оценка и геометризация в карьерном пространстве качественных характеристик ПИ, включая распределение содержания в рудном массиве основных и сопутствующих ценных компонентов и вредных примесей [1]. Для решения этих задач используются моделирование горно-геологических объектов и оценка запасов месторождений на основе распространенных в РФ программных продуктов (SURPAC, DATAMINE, MINEFRAME и др.). С их помощью создается геометрическая модель месторождения, которая служит основой для решения многих задач: подсчета запасов, проектирования предприятия, планирования горных работ, обоснования кондиций ПИ, нормирования потерь ПИ, комплексного использования недр, выбора технологического оборудования и др.

У истоков создания информационной базы горно-геометрических расчетов при планировании и проектировании горных работ стоит коллективный труд под редакцией проф. В.С. Хохрякова [5], на основе которого впоследствии сформулированы основные принципы геоинформационного метода моделирования горных предприятий [6–9]. В соответствии с этим методом горно-добывающее предприятие как объект моделирования представляет собой сложный природно-технологический комплекс, в котором на системном уровне взаимодействуют природные, технологические добывающие и перерабатывающие объекты, объекты инфраструктуры, объекты вспомогательного назначения, защитные и опасные зоны, объекты правовой защиты (горный и земельный отводы и др.). Главным системным свойством горно-добывающего предприятия является развитие во времени и пространстве всех его структурных составляющих.

В современных экономических условиях проектирование горных предприятий должно осуществляться в кратчайшие сроки и с сохранением при этом высокой точности и достоверности результатов, с глубокой, зачастую многовариантной проработкой проектных решений.

Наиболее трудоемкий этап построения модели месторождения – интерполяция неизвестных значений качественных показателей ПИ для достоверного анализа эффективности технологических решений в области управления рудопотоками и качеством сырья.

Для решения задач определения значений атрибутивных данных в произвольных точках в n -мерном пространстве моделируемого объекта применяются следующие основные методы:

- детерминистические (линейная интерполяция, методы обратных расстояний, триангуляции, радиально-базисных функций и т.п.);

- геостатистические, основанные на методах математической статистики и учитывающие пространственную корреляцию данных;

- методы нейронных сетей и самообучающихся алгоритмов.

Точность оценки качественных показателей ПИ зависит от заданного шага сгущения сети опробования. Чем гуще сеть и меньше расстояние между точками опробования, тем лучше можно проследить закономерность изменения качественных характеристик в пространстве. При увеличении количества наблюдений возрастает доля неслучайной изменчивости и уменьшается размах колебаний случайных величин. На оценку качественных показателей ПИ в недрах, получаемую геостатистическими методами, большое влияние оказывает анизотропия – различие в интенсивности размещения элементов геологической структуры по различным направлениям в недрах.

Основным этапом геостатистической оценки является анализ структуры месторождения на предмет установления закономерностей распределения оцениваемых качественных признаков ПИ по заданным пространственным направлениям его разработки (анизотропное или изотропное строение). В большинстве случаев анализ выполняют по трем главным направлениям анизотропии природных скоплений полезных ископаемых: истинная мощность, ширина и длина рудного тела.

Анализ литературных источников показывает, что при моделировании строения рудных тел полезных ископаемых можно использовать три типа анизотропии:

- трехосную анизотропию – вытянутые рудные тела пластообразной формы;

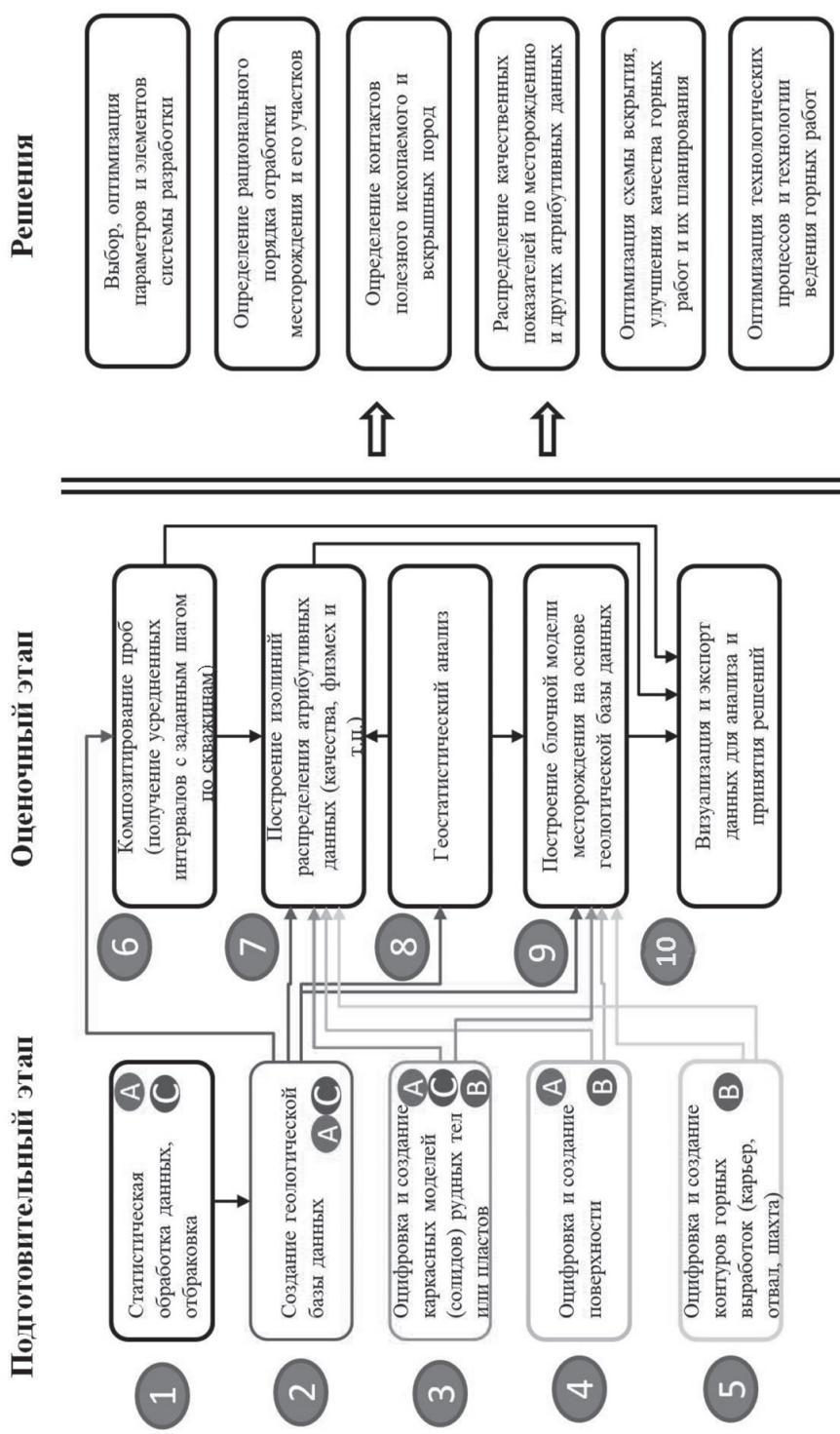


Рис. 1. Блок-схема методики моделирования качественных характеристик полезного ископаемого. Используемые исходные данные: А – данные детальной разведки (запасы, планы, контуры, интервал, колонки скважин, качество и др.), В – проскты, ГЭО и иные материалы (контуры выработок, рельеф, параметры системы разработки и др.), С – эксплуатационная разведка и оперативное опробование (детализация качества)

двухосную анизотропию – вытянутые и весьма вытянутые тела веретено- и трубообразных форм;

одноосную анизотропию – форма тела в целом изометричная, в котором выделяется только мощность рудного тела.

Для описания изменчивости качества и других параметров ПИ применяется математический аппарат, в котором определяются такие статистические характеристики, как коэффициент вариации, дисперсия, закономерности изменения свойств в пространстве, степень прерывистости – вариограмма, тренд, характеризующий изменчивость показателей. Вариограмма – это аналитическая модель пространственной корреляции, отражающая изменения значений в зависимости от расстояния между данными и трендом.

Целью исследований была разработка методики блочного моделирования, которая позволит создавать наиболее точную модель месторождения ПИ при минимальном числе исходных данных с получением практических решений в интересах горно-добывающих предприятий (рис. 1).

Результаты и обсуждение

На начальном этапе формируется модель месторождения и создается геологическая база данных (позиции 1 и 2 на рис. 1), в которой хранятся данные разведки скважинных интервалов и результаты опробования керна. Геологические данные должны быть представлены в оцифрованном табличном виде унифицированного формата горно-геологической информационной системы (ГГИС). В таблицах содержится следующая информация: название (номер) скважин, их координаты, высотная отметка устьев скважин, номер геологического профиля, данные интервального опробования по содержаниям ценных компонентов и вредных примесей, информация о глубинах скважин и данные инклинометрии (наклон и азимут).

Далее производится обработка исходных данных и их анализ, отсечка ураганных проб и ошибок заполнения таблиц с последующим импортом и созданием геологической базы данных средствами ГГИС (пример геологической базы данных на плоскости представлен на рис. 2).

Геологическая база данных является основой для геостатистического анализа и построения моделей вероятностных распределений качественных показателей в пространстве на основе кригинга, метода обратных расстояний, радиально-базисных функций и других методов интер- и экстраполяции [1–3]. Она позволяет произвести первичную оценку месторождения для выработки стратегии его разработки с условием стабильного по качественным показателям

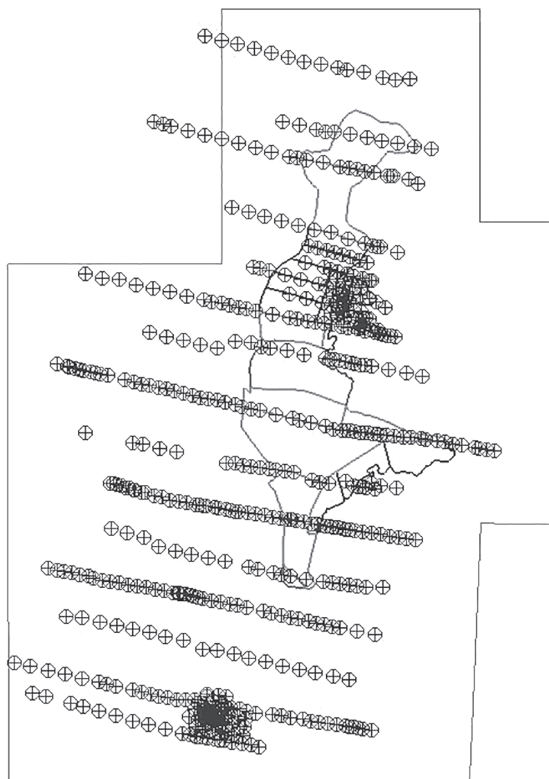


Рис. 2. План геологической базы данных в форме массива скважин на фоне блоков подсчета запасов Серовского месторождения комплексных руд

Таблица 1

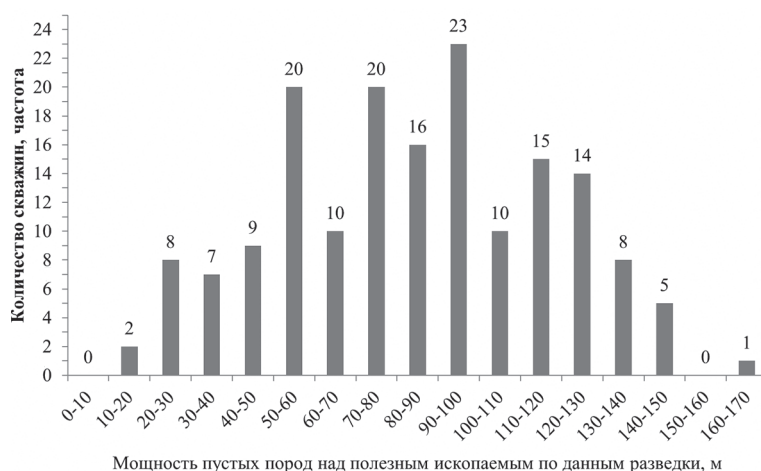
Статистические показатели залегания руд Серовского месторождения комплексных руд

Элемент	Кол-во данных	Статистические показатели						
		Мин.	Макс.	Ср.	Станд. откл.	Размах	Медиана	К _{вар.}
Мощность вскрыши	168	3	156	74,8	32,8	153	76,6	43,8
Мощность рудного тела	168	2	38,1	11,5	7,7	36,1	9,5	66,9

Таблица 2

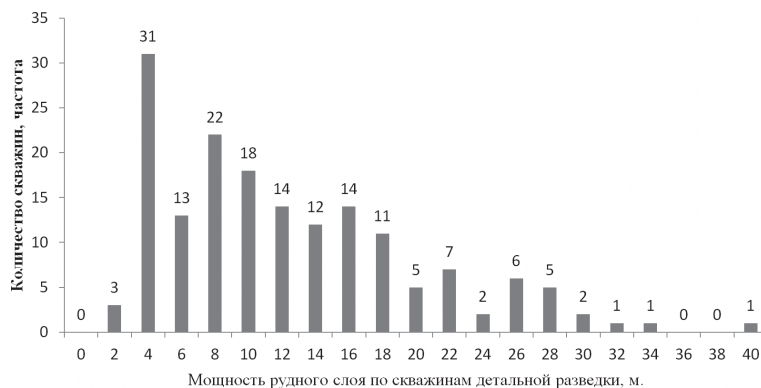
Статистические показатели содержания полезных компонентов Серовского месторождения комплексных руд

Элемент	Кол-во данных	Статистические показатели						
		Мин.	Макс.	Ср.	Станд. откл.	Размах	Медиана	К _{вар.}
Железо	2236	3,28	57,07	35,89	9,78	53,79	37,17	27,3
Никель	2236	0,01	2,2	0,20	0,15	2,19	0,16	75,7
Кобальт	2236	0,001	0,41	0,029	0,025	0,409	0,023	87,1
Хром	2236	0,01	7,456	1,68	0,74	7,446	1,64	44,3



Мощность пустых пород над полезным ископаемым по данным разведки, м

Рис. 3. Распределение мощностей пустых пород по данным разведки на Серовском месторождении комплексных руд



Мощность рудного слоя по скважинам детальной разведки, м.

Рис. 4. Распределение мощностей рудных интервалов по данным разведки на Серовском месторождении комплексных руд

рудопотока. Пример использования геологической базы данных для первичного анализа месторождения, выбора технологии отработки и схемы вскрытия приведен в табл. 1, 2 и на рис. 3 и 4 [1].

Следующий этап методики (см. пункт 3 рис. 1) – построение каркасных моделей рудных тел или угольных пластов на основании оцифрованных сечений с продольных и поперечных разрезов, погоризонтных планов, планов кровли и почвы пластов. Часто возникающей при моделировании задачей является создание сечений по разведочным профилям геологической базы данных при подсчете и переоценке запасов. Для решения такой задачи необходимо выделение в модели кондиционных интервалов с учетом содержаний полезных или вредных компонентов с распределением по высоте, т.е. композитирование. Сечения представляют собой замкнутые контуры, из которых методами триангуляции Делоне и полигонами Воронова–Тиссена формируется трехмерная модель ПИ, обладающая объемом и линейными характеристиками трехмерного тела [10, 14]. Каркасная модель ПИ – это также физическая граница, ограничивающая интер- и экстраполяцию при построении блочной модели (рис. 5). Ее предназначение – экспресс-оценка вариантов вскрытия, динамики развития рабочей зоны для месторождений с простыми горно-геологическими условиями и качественными показателями, характеризуемыми низкой дисперсией.

Цифровая топографическая модель (ЦТМ) поверхности и открытых горных выработок формируется на основе топографической маркшейдерской съемки объекта ведения горных работ, графических материалов детальной разведки, разработанных ТЭО и проектов освоения месторождения. ЦТМ представляет собой массив пространственных координат объектов местности, сопряженных в виде триангуляционных или сеточных моделей. Для их построения используются те же методы оценки пространственного распределения данных: геостатистики, обратного расстояния, радиально-базисных функций и др. [12, 13]. Предназначение топографических моделей – горно-геометрические расчеты, планирование горных работ и использование как базы для построения блочных моделей.

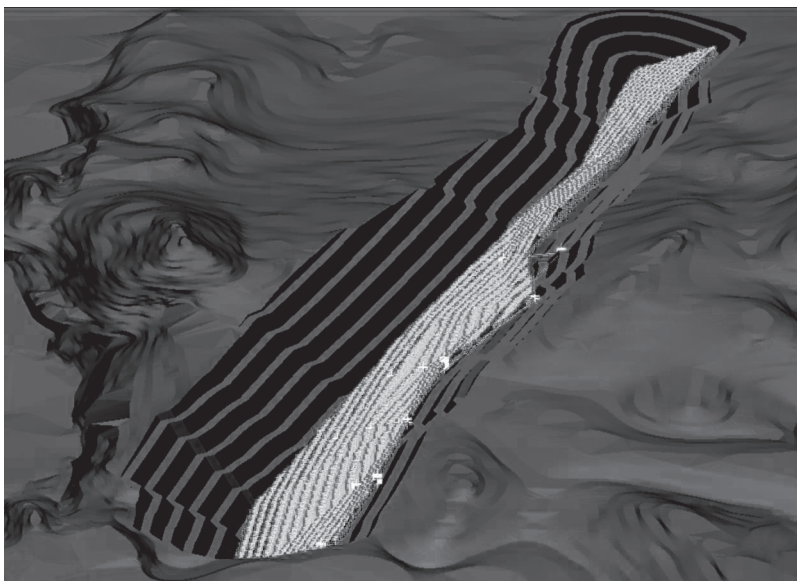


Рис. 5. Каркасная модель угольного пласта и цифровая топографическая модель рельефа в проектном контуре на конец отработки угольного разреза Одегельдей

На рис. 6 представлена карта изоощностей вскрышных пород в виде изолиний на Серовском месторождении комплексных руд, построенная на основе анализа геологической базы данных. Выделены перспективные с точки зрения рельефа и качества ПИ места проходки капитальных и заложения разрезных траншей.

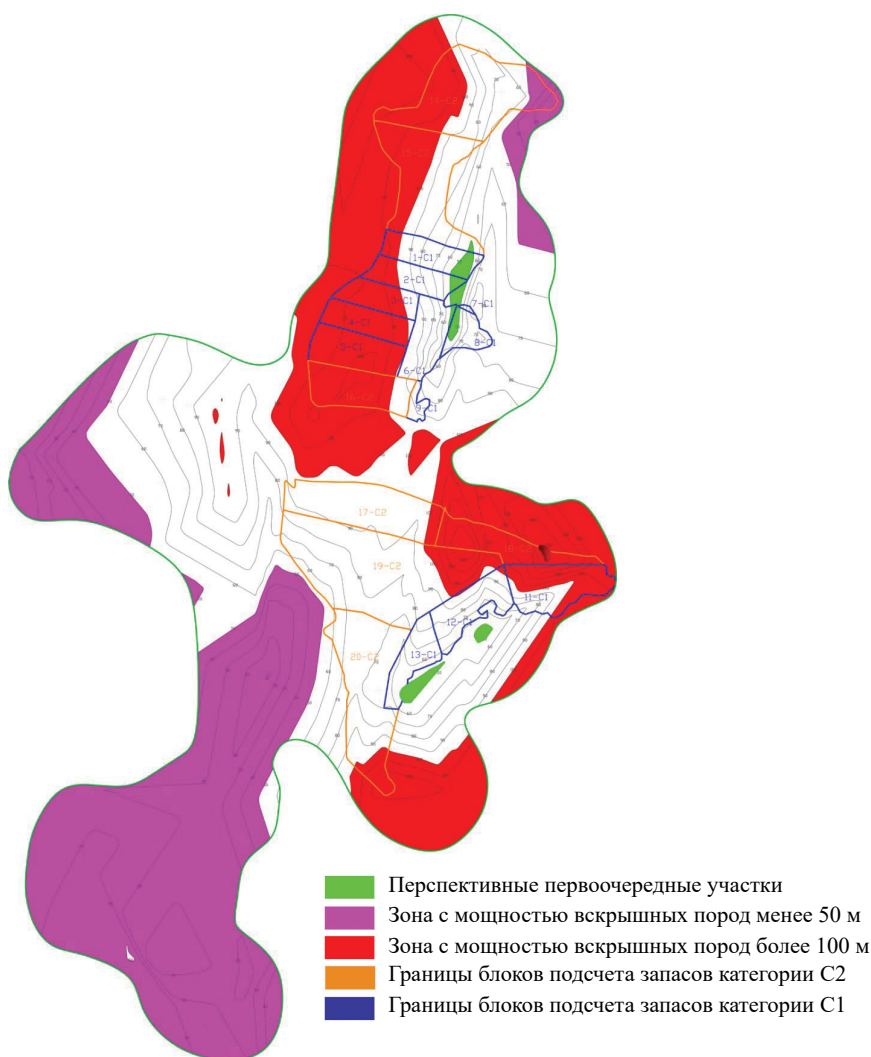


Рис. 6. Карта изо мощностей вскрышных пород Серовского месторождения комплексных руд в зоне прогноза с выделением перспективных (по качественным характеристикам и мощности вскрыши) участков первоочередной отработки (выделено зеленым цветом)

Анализ геологической базы данных необходим, так как позволяет определить тип распределения минерализации (нормальный, логнормальный и др.) и неоднородность массива данных, что может быть связано с несколькими генерациями минерализации полезного компонента. Полигенетические разнородные множества желательно обрабатывать и рассматривать раздельно. Если пробы исследованы на содержание нескольких компонентов или разными аналитическими методами, то необходимо выполнить для них корреляционный анализ с построением линии регрессии внутри программ 3-мерного моделирования или на базе другого пакета программ, имеющего функции статистической обработки данных. Корреляционный анализ позволяет предварительно выявить экстремальные значения проб, не укладывающиеся в общую линию регрессии, и отсеять их.

При анализе необходимо учесть декластеризацию данных, если геолого-разведочная сеть имеет нерегулярный порядок, что приводит к смещению оценки среднего. Это достигается разбиением данных на элементарные единицы пространства на основании среднего расстояния между скважинами, предельными координатами, при этом внутри них вычисляется вес проб в каждом узле сети [17].

Геостатистический анализ позволяет сделать выводы о степени неоднородности месторождений, обосновывается необходимость деления его на участки однородного строения. Анализ заключается в построении гистограмм, построении и заверке модели вариограмм в пространстве, оценке анизотропии, кластеризации данных. В зависимости от вида распределения качественных показателей ПИ в рудном массиве обосновывается выбор метода интерполяции данных (индикаторный кригинг, кригинг с внешним дрейфом или др.) [11, 12, 15–17].

Таким образом в результате геостатистического анализа выполняется основная задача по определению параметров и выбору алгоритма построения блочной модели месторождения.

Кроме алгоритма и параметров интерполяции данных, ограничивающих каркасные и цифровые топографические модели месторождения, необходимо определить размеры структурных единиц блоков.

Факторы, влияющие на размеры блоков модели:

плотность разведочной сети и горно-геологические условия разработки месторождения, конфигурация границ рудных тел;

пространственная изменчивость содержания полезных компонентов и параметров системы отработки месторождения;

размеры блоков модели и их соответствие параметрам выемочной единицы (на открытых горных работах высота блока модели принимается кратной высоте уступа в карьере).

При блочном моделировании качества ПИ следует учитывать следующее:

пространственную изменчивость качества ПИ выбором модели вариограммы;

размеры блока модели должны отражать анизотропию качественных показателей (генеральное направление изменчивости);

размер основных блоков (ячеек) модели не должен быть меньше половины среднего расстояния между пробами в анализируемом направлении;

при детализации блочной модели в случаях сложных рудных тел (тонкие линзы, выклинивание рудных тел на флангах, отсутствие четких контактов и т.п.) основные блоки блочной модели разделяются на подъячейки (субблоки).

При построении вариограмм необходимо учитывать следующие их основные параметры:

порог – величину дисперсии проб, при достижении которой рост вариограммы ограничивается;

зону влияния – максимальное расстояние между точками данных, между которыми существует корреляция;

эффект самородка – долю случайной составляющей вариации, которая не изменяется при сгущении сетки скважин.

Для достоверного интерполирования данных важно выбрать правильную модель (функцию) экспериментальной вариограммы. Наибольшее распространение на практике получили следующие виды функций вариограммы: сферическая, линейная, экспоненциальная, модель эффекта включений, модель эффекта самородков. Другим вариантом выбора модели вариограммы является построение аппроксимирующего полинома и оценка значимости выявленных закономерностей с помощью дисперсионного анализа.

На рис. 7 представлена реализованная в программных продуктах Geovia Surpac блочная модель планируемого угольного разреза Одегельдей (Республика Тыва). В результате проведенных исследований и моделирования участка месторождения каменного угля Одегельдей установлено следующее:

- 1) 66 % запасов участка характеризуется зольностью от 20 до 30 %;
- 2) 21 % запасов участка составляют высококачественные низкозольные угли с высокой теплотой сгорания;
- 3) 13 % запасов представлено углями с повышенной зольностью (30–35 %) (рис. 8).

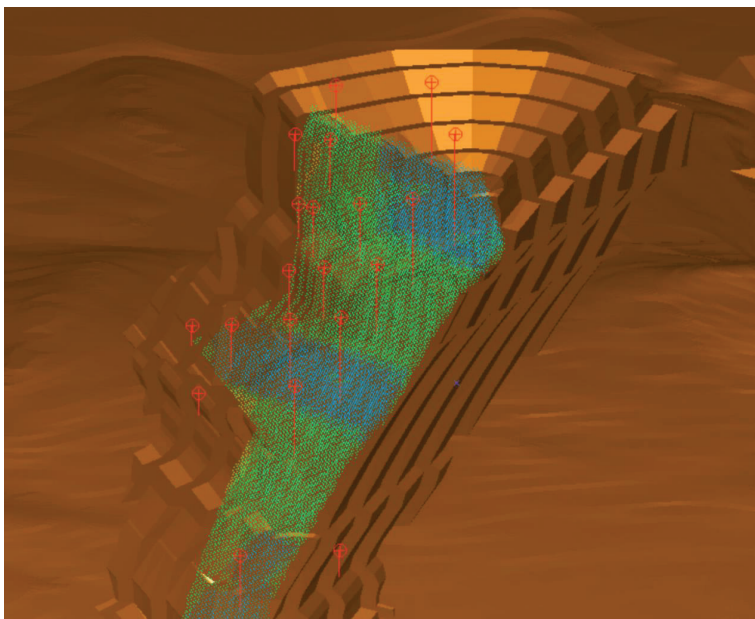


Рис. 7. Облако точек, характеризующее блочную модель с качественными характеристиками угля разреза Одегельдей (зольность, теплота сгорания, выход летучих веществ и др.).

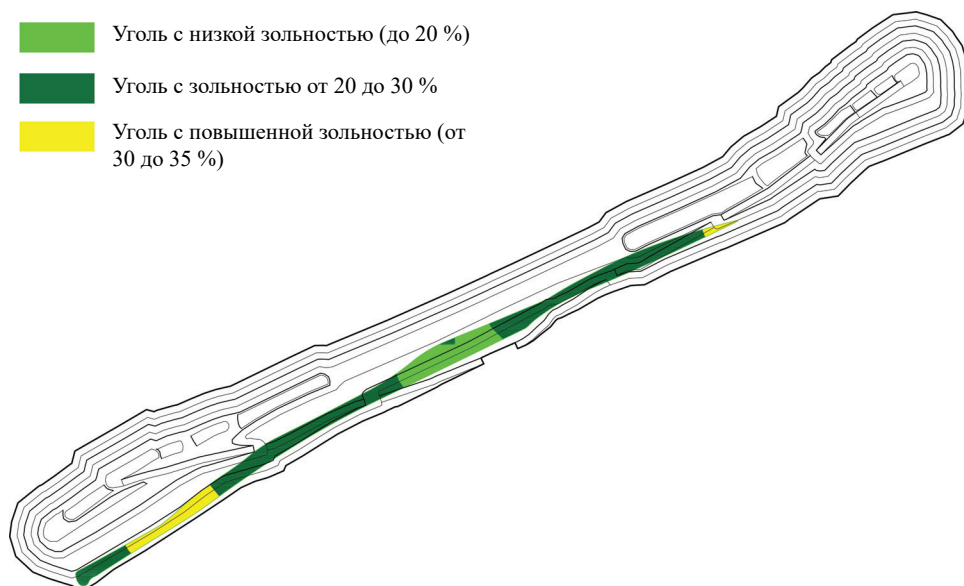


Рис. 8. План горизонта +1260 м разреза Одегельдей в конечном положении с указанием зон высокозольного и низкозольного угля

Выводы

1. Разработана методика блочного моделирования качественных показателей ПИ в карьерном пространстве (в плане и по глубине). В основу методики заложены принципы создания блочной модели геологического объекта и интерпретации полученных данных программными средствами ГИС. Результаты блочного моделирования

позволяют в экспресс-режиме производить геометризацию качественных характеристик ПИ, способствуют выявлению сортовых закономерностей в недрах для последующего использования при планировании горных работ, а также при разработке более эффективных технологий рудоподготовки и управления качеством сырья на горном предприятии.

2. Этапы построения блочной модели месторождения состоят из следующих операций: преобразование подготовленных данных в нормализованную геологическую базу данных;

анализ особенностей моделируемого объекта и определения оптимальных условий для его моделирования;

обоснование и выбор метода пространственной интерполяции данных (метод обратных расстояний или др.);

композимирование данных по скважинам с заданным интервалом;

создание блочной модели.

3. Основные этапы создания блочной модели горно-геологического объекта (месторождения):

обоснование размеров блоков и их пространственного положения;

создание геометрической модели (при сложной конфигурации рудного тела рекомендуется уточнение ее каркаса на основе индикаторного кригинга);

интерполяция и экстраполяция данных на основании принятого в результате геостатистической оценки алгоритма;

заполнение блоков модели полученными в результате анализа геоданными.

4. В результате апробирования предложенной методики (см. рис. 1) построены блочные модели, разрезы и погоризонтные планы по группе месторождений (комплексных руд, каменного угля и др.), при этом для интерполяции геоданных использовались методы триангуляции Д. Шепарда, кригинг и радиально-базисный метод.

Результаты исследований на примере планируемых к разработке месторождений позволили установить:

рациональные места заложения разрезных траншей при проектировании вскрытия Серовского месторождения комплексных руд;

высокую изменчивость качественных показателей ПИ на Серовском месторождении и необходимость тщательного погоризонтного анализа распределений полезных компонентов при проектировании и отработке месторождения.

Предложенная методика моделирования позволила выбрать оптимальный порядок вскрытия, составить рациональный календарный план отработки разреза Одегельдей и построить карты зольности как основу для создания системы управления качеством на планируемом разрезе Одегельдей.

5. Подтверждена универсальность методики блочного моделирования качества ПИ, которая может быть использована на любом месторождении для решения конкретных горно-технических задач. Представленные результаты служат основой для разработки положений методики управления качеством минерального сырья и совершенствования планирования горных работ в режиме управления качеством.

ЛИТЕРАТУРА

1. Демьянов В.В., Савельева Е.А. Геостатистика: теория и практика / Ин-т проблем безопасного развития атомной энергетики РАН. М.: Наука, 2010. 327 с.

2. Кантемиров В.Д., Титов Р.С., Яковлев А.М. Возможности компьютерного моделирования для решения вопросов управления качеством минерального сырья // Пробл. недропользования / ИГД УрО РАН. 2016. № 4. С. 170–176. – trud.igduran.ru.

3. Кузнецов О.Л., Никитин А.А., Черемисина Е.Н. Геоинформатика и геоинформационные системы. М.: ВНИИГеосистем, 2005. 453 с.

4. Методические рекомендации по созданию информационного обеспечения САПР-карьеров. Редакция 1-82. М.: ИПКОН АН СССР, 1983. 58 с.

5. Хохряков В.С., Корнилков С.В., Сивков М.Н. и др. Геоинформационная плотность математических моделей горного предприятия // Изв. вузов. Горн. журн. 1990. № 9. С. 14–20.
6. Хохряков В.С. Геоинформационный метод математического моделирования // Физ.-техн. пробл. разработки полезных ископаемых. 1986. № 5. С. 89–94.
7. Хохряков В.С. Основы информационного обеспечения САПР горного производства // Изв. вузов. Горн. журн. 1986. № 4. С. 4–8.
8. Хохряков В.С. Развитие систем автоматизированного проектирования карьеров // Изв. вузов. Горн. журн. 1989. № 2. С. 25–27.
9. Яковлев В.Л. Исследование переходных процессов – новый методологический подход к разработке и развитию инновационных технологий добычи и рудоподготовки минерального сырья при освоении глубокозалегающих сложноструктурных месторождений // Пробл. недропользования / ИГД УрО РАН. 2017. № 2. С. 5–14. – trud.igduran.ru.
10. Ясковский П.П. Горно-геологические условия при оценке месторождений. М.: МГГА, 2001. 37 с.
11. Afeni T.B., Akeju V.O., Aladejare A.E. A comparative study of geometric and geostatistical methods for qualitative reserve estimation of limestone deposit // Geoscience Frontiers. 2020. Apr. DOI: 10.1016/j.gsf.2020.02.019.
12. Afzal P., Madani N., Shahbeik Sh., Yasrebi A.B. Multi-Gaussian kriging: a practice to enhance delineation of mineralized zones by Concentration–Volume fractal model in Dardevey iron ore deposit, SE Iran // J. Geochem. Exp. 2015. Vol. 158, Nov. P. 10–21.
13. Badel M., Angorani S., Panahi M.S. The application of median indicator kriging and neural network in modeling mixed population in an iron ore deposit // Computers and Geosciences. 2011. Vol. 37, iss. 4. P. 530–540.
14. Dell’Accio F., Di Tommaso F. On the hexagonal Shepard method // Appl. Num. Mathematics. 2020. Vol. 150. P. 51–64.
15. Marques D.M., Costa João Felipe C.L. Choosing a proper sampling interval for the ore feeding a processing plant: A geostatistical solution // Int. J. Miner. Proc. 2014. Vol. 131. P. 31–42.
16. Mery N., Emery X., Cáceres A., Ribeiro D., Cunha E. Geostatistical modeling of the geological uncertainty in an iron ore deposit // Ore Geol. Rev. 2017. Vol. 88. P. 336–351.
17. Mohammadpour M., Bahroudi A., Abedi M., Rahimpour G., Khalifani F.M. Geochemical distribution mapping by combining number-size multifractal model and multiple indicator kriging // J. Geochem. Exp. 2019. Vol. 200. P. 13–26.

Н.А. МЕЛЬНИЧЕНКО, А.В. ТЮБЕЕВ, А.Ю. ЛАЗАРИЮК,
Е.В. КУСТОВА, А.С. АБРАМОВ

Пористость, проницаемость и структура морского льда в бухте Новик (остров Русский) по данным гидрологических измерений, МРТ и КТ

Приведены результаты изучения вертикальной структуры морского льда Амурского залива за период с 2013 по 2020 г. по данным магнитно-резонансной (МРТ) и рентгеновской компьютерной томографии (КТ), а также результаты расчетов пористости льда по данным гидрологических измерений. Отмечены характерные отличия структуры льда, полученного замораживанием морской воды, и натурального морского льда по данным МРТ-изображений. Показано, как различные погодные условия влияют на формирование во льду каналов и пор. Рассчитаны профили эффективной проницаемости льда и числа Рэлея по данным измерений температуры и солености льда. Числа Рэлея, достигая значений 150–470 в феврале и до 11 000 в марте, оказались на 2 порядка больше типичных значений для тающих припайных льдов арктических районов. Проницаемость льда также была на 1–2 порядка больше проницаемости весенних арктических льдов. Показаны возможности компьютерной томографии для определения размеров воздушных пузырьков в порах льда.

Ключевые слова: морской лед, структура льда, проницаемость, магнитно-резонансная и компьютерная томография.

Porosity, permeability and structure sea ice in the Novik Bay (the Russian Island) on base hydrological field research, MRT and CT. N.A. MEL'NICHENKO¹, A.V. TYUVEEV², A.Yu. LAZARYUK³, E.V. KUSTOVA³, A.S. ABRAMOV¹ (¹Far Eastern Federal University, Vladivostok; ²Vladivostok State University of Economics and Service, Vladivostok; ³V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute, FEB RAS, Vladivostok).

The results of studying the vertical structure of sea ice in the Amur Bay for the period from 2013 to 2020 according to magnetic resonance tomography (MRT) and X-ray computed tomography (CT) data, as well as the results of porosity calculations and hydrological measurements are presented. The characteristic differences in the structure of ice obtained by freezing sea water from the spatial structure of natural sea ice according to MRT images are noted. The characteristic features of the volumetric structure of channels and pores for ice formed under different weather conditions are indicated. The profiles of the effective ice permeability and the Rayleigh number were calculated from the data of temperature and salinity measurements in the ice. Rayleigh numbers turned out to be higher by 2 orders of magnitude than typical values for melting land fast ice in the Arctic regions within 150–470 in February and up to 11 000 in March. The ice permeability was also 1–2 orders of magnitude higher than the permeability of spring Arctic ice. The capabilities of computed tomography for determining the size of air bubbles in ice pores are shown.

Key words: sea ice, structure of ice, permeability, magnetic-resonance and computer tomography.

*МЕЛЬНИЧЕНКО Николай Александрович – кандидат физико-математических наук, доцент, АБРАМОВ Александр Семенович – кандидат физико-математических наук, доцент (Дальневосточный федеральный университет, Владивосток), ТЮБЕЕВ Антон Викторович – кандидат физико-математических наук, доцент (Владивостокский государственный университет экономики и сервиса, Владивосток), ЛАЗАРИЮК Александр Юрьевич – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, КУСТОВА Елена Владимировна – старший инженер (Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичёва ДВО РАН, Владивосток). *E-mail: melnichenko_2014@mail.ru

Работа выполнена в рамках госбюджетной темы № 5 ТОИ ДВО РАН «Исследование основных процессов, определяющих состояние и изменчивость океанологических характеристик дальневосточных морей и северо-западной части Тихого океана» (0271-2016-0005, регистрационный номер АААА-А17-117030110042-2).

Исследованиям свойств морского льда посвящено большое количество работ, перечисленных в известных монографиях [1–3, 8, 25] и в различных тематических публикациях, например [6, 7, 19, 20, 26, 29–31] и др. Известно, что от свойств льда, в особенности пористости, проницаемости, содержания рассола и газовых включений, зависят тепло- и газообмен через его поверхность, накопление биомассы и другие процессы в водоеме.

Имеющиеся сведения о свойствах морского льда относятся преимущественно ко льдам полярных районов. Информация об аналогичных исследованиях однолетних льдов в прибрежных районах с умеренно холодным климатом и со значительными колебаниями погодных условий практически отсутствует. Особенно это касается исследований проницаемости морского льда и ее зависимости от содержания рассола. Между тем такие сведения могут быть полезными при анализе глобальных процессов в системе океан–атмосфера.

Структура и свойства льда изучаются различными физическими методами, в том числе оптическим с фотографированием отполированных срезов кернов в поляризованном свете в различных спектральных диапазонах [17, 28], рентгеновским [21], диэлектрическим [25] и др. [1, 3]. В [2] была предложена модель кристаллизации морской воды с использованием эффективной пористости, позволяющей рассчитывать толщину льда и оценивать его характеристики. Однако справедливая для льдов арктических районов модель оказалась неприемлемой для зоны умеренных широт.

Лучшими методами изучения структуры льда без предварительной подготовки образцов являются резонансные методы, такие как ядерный магнитный резонанс (ЯМР), позволяющий определять содержание рассола без разрушения льда, и магнитно-резонансная томография (МРТ), дающая возможность видеть картину пространственного распределения твердой и жидкой фаз внутри объема льда. Использование рентгеновской компьютерной томографии (КТ) дает возможность исследовать распределение газовых включений в порах льда. Исследования методом МРТ процессов замерзания морской воды и формирования структуры льда традиционно проводилось в лабораторных условиях [10, 16, 18, 19, 22–24 и др.].

Использование метода ЯМР в натуральных условиях с использованием земного магнетизма и с искусственным градиентом магнитного поля (что является аналогом современной МРТ) для исследования морского льда в Антарктиде в море Росса было описано в работах [11, 12] и др. С помощью МРТ их авторам удалось установить распределение каналов и пор в кернах льда, сформированного в природных условиях, по размеру, что было бы невозможно сделать с помощью нерезонансных методов. В [5, 6] нами были приведены результаты изучения этим методом пространственной структуры льда Амурского залива в период с 2013 по 2016 г.

В представленной работе показаны закономерности формирования вертикальной структуры льда Амурского залива и результаты полученных с использованием МРТ, дополненных результатами КТ расчетов его пористости и характеристик проницаемости по данным зимних гидрологических наблюдений с 2013 по 2020 г. .

Целями работы были установление закономерностей формирования пористости, характера проницаемости и вертикальной структуры морского льда бухты Новик Амурского залива при различных погодных условиях – с аномально теплыми и холодными периодами льдообразования – по материалам натуральных гидрологических наблюдений в сочетании с данными МРТ и КТ, а также выявление его отличий от льдов Арктического бассейна.

Экспериментальная часть

Экспериментальные условия в 2017–2020 гг. аналогичны приведенным в наших предыдущих сообщениях [5, 6]. Изображения МР- и КМ-томограмм кернов льда были получены на медицинских магнитно-резонансном и рентгеновском томографах в

медицинском центре ДВФУ. Сведения о метеорологической обстановке в районе проведения исследований заимствованы с метеорологического сайта <http://www.rp5.ru>.

Для построения температурных профилей *in situ* измерения проводились на кернях, высверленных кольцевым буром диаметром 16 см, с шагом 5 см при помощи серии ртутных термометров от стандартных метеорологических психрометров с известными температурными поправками. Диаметр лунок составлял 8 мм, что соответствовало диаметру термометров, глубина – 5 см. Для снижения погрешности из-за нагрева термометров солнечной радиацией или их охлаждения воздухом (ветром) керны льда с термометрами защищались экранами из толстого картона. Замеры делали дважды, сначала от нижней части керна льда, контактировавшей с подледной водой, а затем в обратном направлении. Использование традиционного метода определения температуры не требовало предварительной калибровки прибора, погрешность составляла примерно 0,2–0,3 К, что было достаточно для целей наших экспериментов. Для крупных кернов массой 11 кг изменение температуры не превышало указанную погрешность по истечении 40 мин.

Соленость льда определяли по электропроводности талой воды. Для этого керны распиливали на сегменты по 4–5 см при температуре атмосферного воздуха с соблюдением мер, исключающих потери жидкой фазы и попадание снежной массы в пробы, сегменты помещали в пластиковые контейнеры с герметичной крышкой, затем растапливали при комнатной температуре в тех же емкостях, образовавшуюся воду объемом $\approx 0,8$ л пропускали через проточную систему зонда SBE-19, откалиброванного на специальном стенде. Погрешность измерения солености не превышала 0,02 ppt (parts per thousand).

Результаты и их обсуждение

Томограммы кернов тонкого однолетнего льда в бухте Новик (о-в Русский) Амурского залива, отобранных в 2013–2016 гг., были приведены в [5, 6]. На рис. 1 представлены МР-томограммы кернов, отобранных при контрастных погодных условиях в 2016–2018 гг. в феврале.

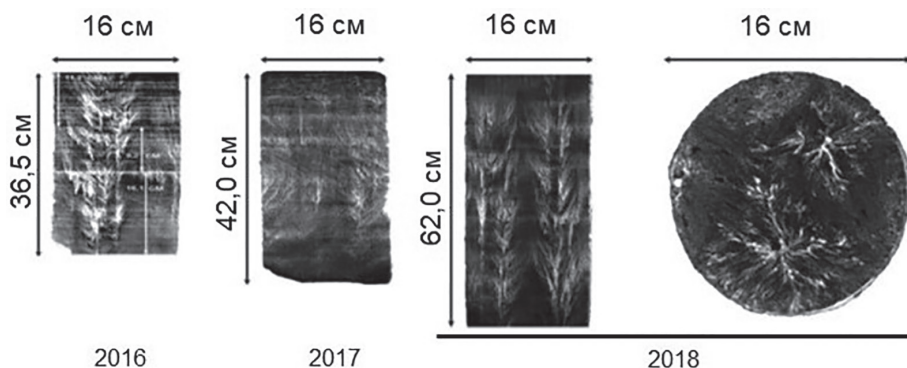


Рис. 1. МР-томограммы кернов льда, извлеченных в 2016–2018 гг. в феврале

Очевидны структурные различия образцов, в частности в керне от 2016 г. присутствуют разветвленные дендритоподобные образования, состоящие из каналов и русел рассола, и две отчетливые прослойки, разделяющие керн на три слоя толщиной 11,2, 9,2 и 16,1 см со множеством более мелких прослоек в каждом, образовавшихся из-за резких перепадов температуры воздуха во время становления льда. Наличие крупных ветвистых образований можно объяснить тем, что зима 2016 г. была теплой, снежной (в частности, благодаря двум прошедшим накануне взятия проб снегопадам). Погода в феврале 2017 г. была близкой к средним многолетним значениям; вид каналов наподобие волокон в образце, отобранном

в середине месяца, объясняется менее толстым снежным покровом, чем в аналогичный период 2016 г. Зимой 2018 г., суровой и практически бесснежной, лед сформировался относительно однородным, присутствуют размытые неравномерно распределенные прослойки в верхней части керна и небольшое количество слабо развитых дендритоподобных образований и мелких каналов изогнутой формы, переходящих из одной плоскости в другую.

Толщина сформировавшегося тонкого льда коррелировала со временем его становления, т.е. с количеством градусо-дней мороза [1]. Различие в толщине льда в аномально теплом феврале 2016 г. и в малоснежном холодном феврале 2018 г. было почти двукратным (1,7 раза), на поверхности чистого морского льда 2018 г. выступали характерные солевые «цветы» из кристаллов льда и солей как результат выдавливания рассола на поверхность, и на МРТ-изображении в горизонтальной плоскости на глубине 1,5 см от поверхности (рис. 1, справа) присутствовали многочисленные каверны.

На рис. 2 и 3 приведены графики температуры воздуха и толщины снежного покрова в 2015/16 и 2017/18 гг. На рис. 4 – МРТ- и КТ-изображения (химические реагенты для увеличения контрастности изображений в пробы льда не добавляли) вертикальной и горизонтальной плоскостей срезов средней части керна от 20.02.2020 г. на глубине 21,7 см через два дня после обильного снегопада и штормового ветра. Толщина льда составляла 36–42 см, заснеженность 60 %, высота снежного покрова ~10 см, температура воздуха 0–1 °С. Наблюдения в 2019 г. не проводились из-за малой толщины льда (менее 30 см) и раннего начала его взлома.

Как видно из МР-изображения вертикальной плоскости керна (рис. 4, а), в структуре льда выявляется примерно такая же картина из ветвистых каналов и русел рассола, какую мы наблюдали в предыдущие (2013–2015) годы [5, 6]. Однако в МР-изображениях 2017, 2018 и 2020 гг. были дополнительно различимы многочисленные нитеобразные каналы. При этом, как и в прошлые годы, можно различить отдельные прослойки, порожденные

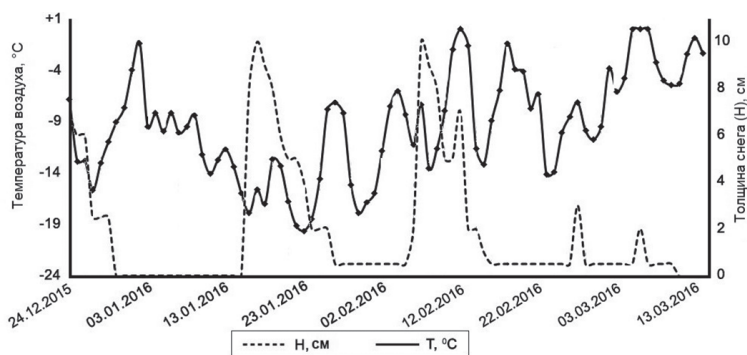


Рис. 2. Графики температуры воздуха и толщины снежного покрова зимой 2015/16 г.

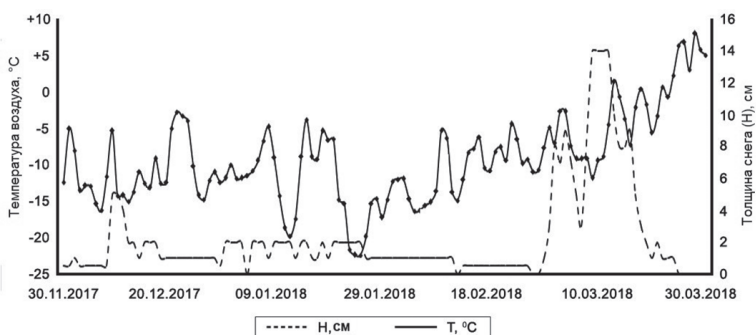


Рис. 3. Графики температуры воздуха и толщины снежного покрова зимой 2017/18 г.

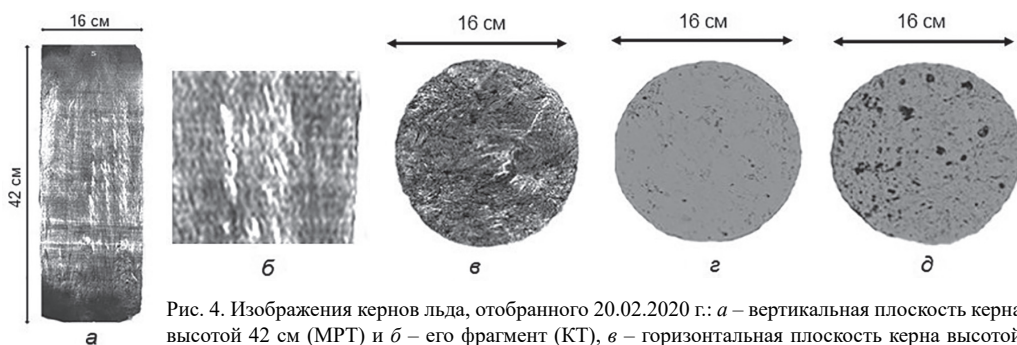


Рис. 4. Изображения кернов льда, отобранного 20.02.2020 г.: *a* – вертикальная плоскость керна высотой 42 см (МРТ) и *б* – его фрагмент (КТ), *в* – горизонтальная плоскость керна высотой 42 см на глубине 21,7 см от поверхности (МРТ), *г* и *д* – горизонтальная плоскость керна высотой 36 см на глубине соответственно 20,3 и 7,2 см от поверхности (оба – КТ)

чередованием периодов потепления и похолодания. Преобладание жидкой фазы в поверхностном слое было обусловлено проникновением в лед тающей снежной массы, а в нижнем приводном слое – стеканием рассола и интенсивным обменом с подледной водой.

На рентгеновских КТ-изображениях в вертикальной (рис. 4, *б*) и горизонтальной (рис. 4, *г*, *д*) плоскостях структура льда предстает с другой стороны. Тонкие внутренние «цветы» неразличимы из-за одинаковой рентгенопрозрачности, но можно разглядеть тонкие, практически вертикальные, каналы между кристаллическими образованиями различной формы, не фиксируемые на МР-изображениях (рис. 4, *в*). Текстуру льда бухты Новик Амурского залива можно отнести к типу В-5 по классификации льдов Н.В. Черепанова, приведенной в [1]. Можно заметить, что КТ-изображение льда в вертикальной плоскости похоже на фотографический снимок отполированных и окрашенных срезов льда, но его получение не требует подготовки срезов льда. К тому же изображение внутренних масс льда можно получить в любой плоскости и на любом горизонте без распиливания керна.

Следует отметить существенное отличие МР-изображений, полученных в наших экспериментах и в [16]. Ветвистых образований из каналов и русел рассола в искусственном льду, полученном замораживанием морской воды, на приведенных в [16] рисунках не наблюдается. Ради справедливости следует отметить, что на МР-изображениях, полученных замораживанием 20%-го водного раствора сахара медной охлаждаемой сверху пластиной при $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ в пластиковом цилиндре, наблюдались подобные вертикальные каналы со слабо развитой ветвистой структурой, названные «дымоходами» (chimneys) [9].

Круглые пятна на горизонтальных КТ-изображениях в наших экспериментах (рис. 4, *г*, *д*) были идентичными тем, что зафиксированы на КТ-изображениях проб льда замороженной морской воды в бассейне большого размера [15]. По-видимому, эти пятна отображают пузырьки газов. Размеры пятен увеличиваются по мере приближения к поверхности льда и достигают 10 мм в поперечнике.

Информацию о пористости льда (v) можно получить из анализа результатов гидрологических наблюдений. Поскольку она связана с проницаемостью льда и числом Рэлея, которое используется при описании процессов движения рассола во льду, в [7] она определялась как

$$v = 1 - \rho_i / \rho_0, \quad (1)$$

где ρ_i – плотность льда, ρ_0 – плотность бесполостного (монокристаллического) льда. Экспериментально пористость льда определяют замещением пор воздухом. В работе Ю.Л. Назинцева и В.В. Панова [7] пористость в процентах приведена в таблице и соответствует объему рассола льда. Однако точность определений пористости до настоящего времени остается относительно невысокой. Поэтому пористость льда, его проницаемость, также как и плотность, чаще всего рассчитывают по эмпирическим соотношениям. В [26] приведено выражение для расчета эффективной проницаемости льда:

$$\Pi(\psi_v) = 10^{-17}[10^3(1 - \psi_v)]^{3,1}, \quad (2)$$

где ψ_v – доля твердой фазы, поэтому выражение в круглых скобках есть не что иное как доля жидкой фазы в пренебрежении твердыми солевыми осадками. В [4, 20] приводится подобное эмпирическое выражение, справедливое для льдов при наличии снежиц:

$$\Pi_v = 3m^3 10^{-9}, \quad (3)$$

в котором m – пористость.

Из приведенных выражений следует, что проницаемость льда примерно соответствует кубической зависимости от пористости. Но здесь, также как и в [7], не учитывается объем газовых включений, который можно рассчитать из соотношений, приведенных в [14].

Динамическую неустойчивость рассола во льду в процессе таяния снега и верхнего слоя льда характеризуют числом Рэлея, которое можно вычислить по формуле [26]:

$$Ra = (g\rho\beta\Delta Sbr\Pi(\psi_v)h)/k\eta, \quad (4)$$

где $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободного падения, $\rho = 923 \text{ кг/м}^3$ – средняя плотность льда, $\beta = 0,78 \cdot \text{кг/м}^3/\text{ppt}$ – коэффициент соленосной экспансии, ΔSbr – разность солености рассола и подледной воды, $\Pi(\psi_v)$ – эффективная проницаемость, отнесенная к отдельному слою льда, h – толщина слоя (5 см), $k = 1,2 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}$ – коэффициент термической диффузии, $\eta = 2,55 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м} \cdot \text{с}$ – динамическая вязкость.

На рис. 5 представлены вертикальные профили температуры, солености льда и рассчитанные по ним профили проницаемости и чисел Рэлея с 2013 по 2018 г. Профили температуры внутри льда соответствуют изменениям температуры воздуха и толщине снежного покрова и имеют практически линейный характер (образцы 2013, 2016 и 2017 гг.). А вот в 2014, 2015 и 2018 гг. наблюдался заметный минимум в среднем слое наиболее толстых (50–60 см) льдов. Профили солености отличались многообразием форм. Так, в 2013 г. максимум солености приходился на поверхностный слой, в 2014 г. наблюдались двойной минимум в верхнем и нижнем слоях и кривые S-образной формы с минимальными значениями на глубине от 10 до 50 см. Приводные слои за весь период наблюдений характеризовались преимущественно максимальными значениями солености порядка 7 ppt, но в 2015 г. – 15 ppt. Кривые подобного вида наблюдались и в тонких льдах в зал. Амундсена [13]. Формы профилей проницаемости льда Амурского залива фактически отражают профили солености, что не удивительно, так как проницаемость зависит от доли жидкой фазы, что следует из формулы (2). Числа Рэлея во всех наблюдениях неизменно резко возрастали по мере продвижения к нижнему приводному слою и там принимали максимальные значения.

Проницаемость, число Рэлея и пористость льда Амурского залива в период с 2013 по 2018 г.

Дата	$\Pi(\psi_v) \cdot 10^{-12}, \text{ м}^2$	Ra	$V_i/V_o \cdot 10^{-2}$	$V_a/V_o \cdot 10^{-2}$	$m \cdot 10^{-2}$
06.02.2013	21,2	144,3	8,54	0,58	9,12
19.03.2013	443,4	11086,0	23,00	1,71	24,72
25.01.2014	24,0	176,9	8,28	0,57	8,85
20.02.2014	21,4	200,8	7,85	0,56	8,42
13.03.2014	29,4	124,0	11,72	0,75	12,47
07.02.2015	146,8	380,1	12,08	0,56	12,64
24.02.2015	119,4	364,0	14,74	1,07	15,82
07.02.2016	20,1	160,3	8,18	0,58	8,76
12.03.2016	263,8	5050,4	20,30	1,59	21,90
18.02.2017	50,8	467,9	12,90	0,99	13,90
21.02.2018	4,7	193,8	6,63	0,41	7,04

Примечание. Пояснения см. в тексте.

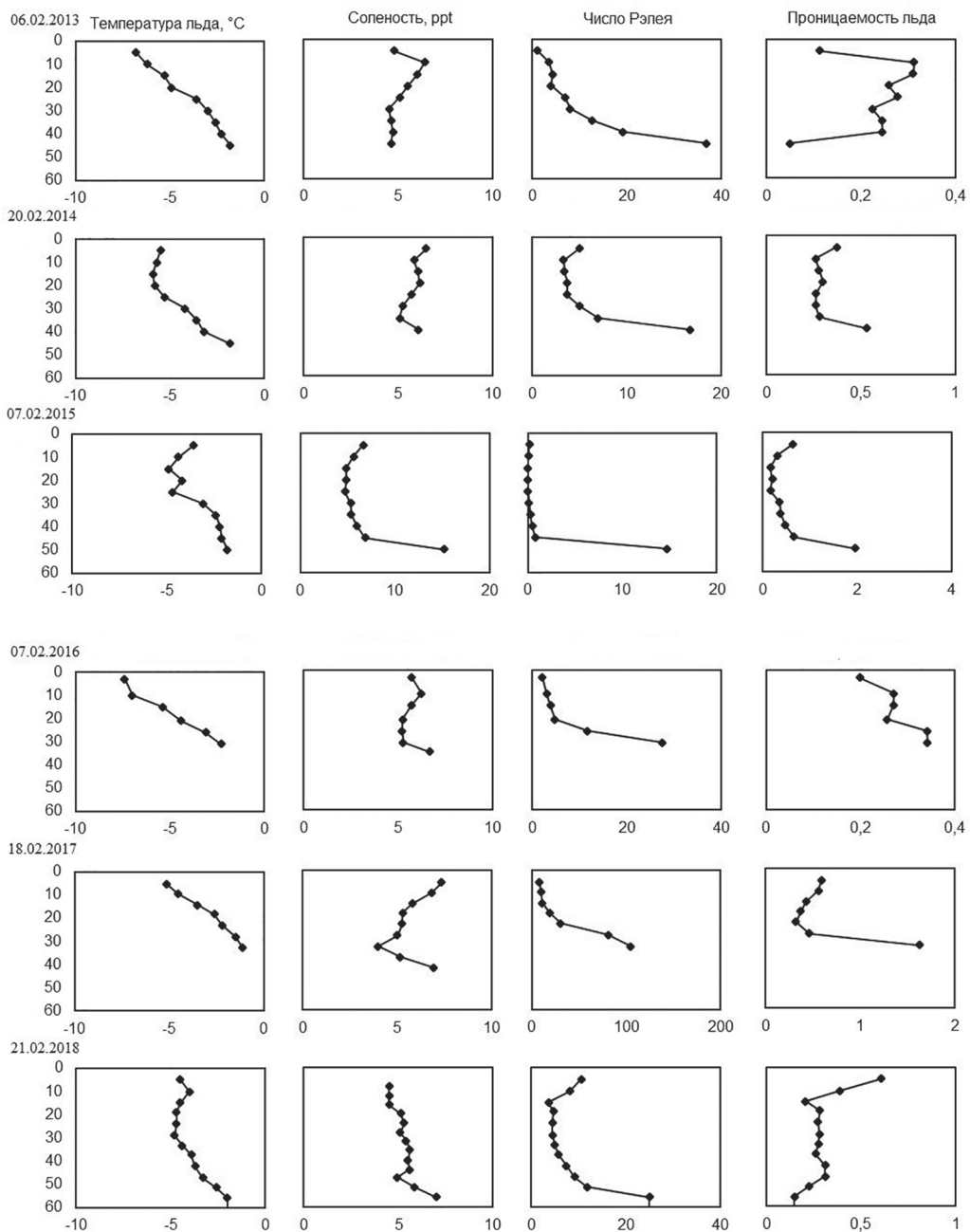


Рис. 5. Вертикальные (см) профили температуры, солености, числа Рэлея и проницаемости льда Амурского залива за период с 2013 по 2018 г.

В таблице приведены средние значения проницаемости $\Pi(\psi_v)$, числа Рэлея (Ra), относительной доли жидкой фазы V_l/V_o , газообразных включений V_a/V_o и пористости m , рассчитанные по всей толщине льда в указанные даты наблюдений, из нее видно, что в наших экспериментах числа Рэлея значительно больше характерных для льдов в зал. Аляска значений (порядка 10 и менее) [13]. Погрешность указанных параметров соответствует погрешности определения солености и не превышает 1 %. Наибольшие значения числа Рэлея были получены для мартовских образцов льда и наименьшие – для январских

и относящихся к началу февраля. У мартовских образцов 2013 г. число Рэлея превышает 630 (характерное для ячеистой конвекции рассола) примерно в 18 раз, у мартовских 2016 г. – в 8 раз [4]. В феврале значения находились в пределах, соответствующих длинноволновой радиации (288) и ячеистой конвекции (630) [4].

Проницаемость льда в бухте Новик по наблюдениям за семилетний период была на порядок больше, чем у тающих арктических льдов ($2,4 \cdot 10^{-12}$) [28]. Однако в работах [19, 27] отмечалось, что P_v в ходе таяния льда может меняться на несколько порядков, что соответствует нашим данным с учетом наличия тающего снежного покрова как в феврале, так и в марте.

Основным механизмом стекания рассола во льду является гравитационный дренаж, который усиливается давлением талой воды при большой толщине снежного покрова и высокой температуре воздуха.

Заключение и выводы

Зимний лед в бухте Новик Амурского залива на протяжении наблюдений с 2013 по 2020 г. различался не только количеством прослоек, но и степенью кристаллических разрастаний. В каждом слое льда можно было наблюдать достаточно крупные кристаллические ветвистые структуры из стоковых каналов и русел рассола. Наиболее заметные расслоения в монолитной структуре льда имели место в условиях теплой зимы 2016 г. Тогда толщина льда в начале февраля составляла всего 36,5 см, что меньше, чем в предыдущие и последующие годы. Главной причиной возникновения отчетливых прослоек в структуре тонкого льда были резкие колебания температуры воздуха.

В феврале 2016 г. при достаточно большом для региона снежном покрове структура льда заметно отличалась от таковой в малоснежные февраль 2017, 2018 и 2020 гг., что доказывает значительное влияние снежного покрова на характеристики морского льда и его структуру.

На МР-изображениях льдов Амурского залива выделяются:

- 1) отдельные прослойки, возникающие вследствие контрастов погодных условий, определяющих их количество и толщину, в том числе поверхностные и придонные прослойки, напитанные соответственно тающей снежной массой и подледной водой;
- 2) ветвистые образования, представляющие собой каналы и русла стекания рассола, количество которых зависит от интенсивности дренажа рассола;
- 3) нитеобразные и волокнистые каналы изогнутой формы, характерные для льдов большой толщины, сформировавшихся в условиях суровых зим при малой толщине снежного покрова.

Гравитационный дренаж, являющийся главным механизмом стекания рассола, значительно увеличивался под влиянием тающей снежной массы при температурах, близких к 0°C . Число Рэлея для льда в бухте Новик в феврале преимущественно находилось в пределах 200–630, соответствующих разным типам радиации и конвекции рассола во льду, однако в весенние периоды оно почти на 1–2 порядка превышало указанные значения.

Что касается различий тонкого однолетнего льда Амурского залива в бухте Новик и толстых многолетних льдов полярных районов, то можно отметить следующее:

- 1) у них сильно различается размер пор, которые в полярных районах значительно меньше вследствие постоянно низких температур. В Антарктиде, по данным [11], рассол находится в виде капель диаметром около 40 мкм и случайным образом распределяется в объеме льда двухметрового льда. Подобных «каплеобразных» ячеек в структуре льда Амурского залива мы не наблюдали. Проницаемость льда здесь была на два порядка больше характерного значения для арктических льдов;
- 2) ветвистые кристаллические образования, зафиксированные в тонком льду Амурского залива при отсутствии снега или при небольшой снежной рубашке, не наблюдались в толстых заснеженных льдах полярных районов.

Авторы благодарят сотрудников Медицинского центра ДВФУ за помощь в проведении измерений на медицинских магнитно-резонансном и рентгеновском томографах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Богородский В.В., Гаврило В.П. Лед. Физические свойства. Современные методы гляциологии. Л.: Гидрометеоздат, 1980. 384 с.
2. Богородский П.В., Пнюшков А.В. Простая модель кристаллизации морской воды в спектре температур // *Океанология*. 2007. Т. 47, № 4. С. 539–545.
3. Доронин Ю.П., Хейсин Д.Е. Морской лед. Л.: Гидрометеоздат, 1975. 318 с.
4. Макштас А.П., Богородский П.В., Кустов В.Ю. Быстрое таяние припайного льда в заливе Сого (бухта Тикси) весной 2011 г. // *Проблемы Арктики и Антарктики*. 2012. № 1. С. 37–47.
5. Мельниченко Н.А., Тюевев А.В., Лазарюк А.Ю. и др. Вертикальное распределение рассола и объемная структура тонкого однолетнего льда Амурского залива по данным методов ядерного магнитного резонанса и магнитно-резонансной томографии // *Океанология*. 2019. Т. 59, № 5. С. 859–869.
6. Мельниченко Н.А., Тюевев А.В., Лазарюк А.Ю. и др. Особенности формирования вертикальной структуры льда в бухте Новик (о-в Русский) по данным ЯМР и МРТ // *Вестн. ДВО РАН*. 2017. № 4. С. 70–80.
7. Назинцев Ю.Л., Панов В.В. Фазовый состав и теплофизические характеристики морского льда. СПб.: Гидрометеоздат, 2000. 84 с.
8. Assur A. Composition of sea ice and its tensile strength // *Arctic Sea Ice*. W., DC: Nat. Acad. Sci. – Nat. Res. Council, 1958. Publ. N 598. P. 106–138.
9. Aussillous P., Sederman A.J., Gladden L. et al. Magnetic resonance imaging of structure and convection in solidifying mushy layers // *J. Fluid. Mech.* 2006. N 552. P. 99–125.
10. Brox T.I., Skidmore M.L., Brown J.R. Characterizing the internal structure of laboratory ice samples with nuclear magnetic resonance // *J. Glaciol.* 2015. Vol. 61, N 225. P. 55–64.
11. Callaghan P.T., Goy A., MacGowan D. et al. Diffraction-like effects in NMR diffusion studies of fluids in porous solids // *Nature*. 1991. Vol. 351, N 6326. P. 467–469.
12. Callaghan P., Eccles C. NMR studies on Antarctic sea ice // *Bull. Magnet. Reson.* 1996. Vol. 18, N 1/2. P. 62–64.
13. Carnat G., Papakyriakou T., Geilfus N.X. et al. Investigation on physical and textural properties of Arctic first-year sea ice in Amundsen Gulf, Canada, November 2007 – June 2008 (IPY-CFL system study) // *J. Glaciol.* 2013. Vol. 59, N 217. P. 819–837.
14. Cox G.F.N., Weeks W.F. Equations for determining the gas and brine volumes in sea-ice samples // *J. Glaciol.* 1983. Vol. 29, N 102. P. 306–316.
15. Crabeck O., Galley R., Delille B. et al. Imaging air volume fraction in sea ice using non-destructive X-ray tomography // *Cryosphere*. 2016. Vol. 10. P. 1125–1145.
16. Edelstein W.A., Schulson E.M. NMR imaging of salt-water ice // *J. Glaciol.* 1991. Vol. 37, N 125. P. 177–180.
17. Eicken H., Lange M.A. Image analysis of sea-ice thin sections: A step towards automated texture classification // *Ann. Glaciol.* 1991. Vol. 15. P. 989–1009.
18. Eicken H., Bock C., Witting R. et al. Magnetic resonance imaging of sea-ice pore fluids: method and thermal evolution of pore microstructure // *Cold Reg. Sci. Technol.* 2000. Vol. 31. P. 207–225.
19. Eicken H., Krouse H.R., Kadko D., Perovich D.K. Tracer studies of pathways and rates of meltwater transport through Arctic summer sea ice // *J. Geophys. Res.* 2002. Vol. 107, iss. C10. DOI: 10.1029/2000JC000583.
20. Galley R.J., Else B.G.T., Geilfus N.-X. et al. Imaged brine inclusions in young sea ice – Shape, distribution and formation timing // *Cold Reg. Sci. Technol.* 2015. Vol. 111. P. 39–48.
21. Golden K.M., Eicken H., Hiaton A.L. et al. Thermal evolution of permeability and microstructure in sea ice // *Geophys. Res. Lett.* 2007. Vol. 34, N 16. L16501. DOI: 10.1029/2007GL030447.
22. Hunke E.C., Notz D., Turner A.K., Vancoppenolle M. The multiphase physics of sea ice: a review of model developers // *Cryosphere*. 2011. Vol. 5. P. 989–1009.
23. Menzel M.I., Han S.-I., Stapf S., Blümich B. NMR characterization of pore structure and anisotropic self-diffusion in salt water ice // *J. Magn. Reson.* 2000. Vol. 143, N 2. P. 376–381.
24. Mercier O.R., Hunter M.W., Callaghan P.T. Brine diffusion in first-year sea ice measured by Earth's field PGSE-NMR // *Cold Reg. Sci. Tech.* 2005. Vol. 42, N 2. P. 96–105.
25. Morey R.M., Kovacs A., Cox G.F.N. Electromagnetic properties of sea ice // *Cold Reg. Sci. Tech.* 1984. Vol. 9, N 1. P. 53–75.
26. Notz D., Worster M.G. Desalination processes of sea ice revisited // *J. Geophys. Res.: Oceans*. 2009. Vol. 114. C05006. – <https://doi.org/10.1029/2008JC004885>.
27. Perovich D.K., Gow A.J. A quantities description of sea ice inclusions // *J. Geophys. Res.: Oceans*. 1996. Vol. 101, N C8. P. 18327–18343.
28. Perovich D.K., Roesler C.S., Pegau W.S. Variability in Arctic sea ice optical properties // *J. Geophys. Res.: Oceans*. 1998. Vol. 103, N C1. P. 1193–1208.
29. Scott F., Feltham D.L. A model of three-dimensional evolution of Arctic melt ponds on first-year multiyear sea ice // *J. Geophys. Res.* 2010. Vol. 115, N C12. DOI: 10.1029/2010JC006156.
30. Tait S., Jaupart C. Composition convection in a reactive crystalline mush and melt differentiation // *J. Geophys. Res.: Solid Earth*. 1992. Vol. 97, N B5. P. 6735–6756.
31. Wettlaufer J.S., Worster M.G., Huppert H.E. The phase evolution of young sea ice // *Geophys. Res. Lett.* 1997. Vol. 24, N 10. P. 1251–1254.

В.В. ПЛОТНИКОВ, В.А. ДУБИНА, С.И. КИСЛОВА

Оценка возможности долгосрочного моделирования состояния ледяного покрова (распределения сплоченности льда) в Японском море

На основе доступной цифровой информации о состоянии ледяного покрова Японского моря за период 1960–2019 гг. разработана и реализована обобщенная физико-статистическая модель долгосрочного прогноза полей сплоченности и возраста льда в море. Алгоритм модели включает увязанные в одну схему этапы экстраполяции реперных значений прогнозируемого элемента с заблаговременностью год и более и последующего полного восстановления всего поля. Данные процедуры в совокупности с архивом ледовой информации позволяют в первом приближении решить проблему долгосрочного моделирования ледовых условий на Японском море. Приводятся результаты испытаний, и делается вывод о перспективности предлагаемой методики и возможности ее практического применения.

Ключевые слова: сплоченность льда, моделирование, изменчивость, архив ледовой информации, алгоритм, оценки.

Assessment of the possibility of a long-term modeling of the ice cover condition in the Sea of Japan.
V.V. PLOTNIKOV, V.A. DUBINA (V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute, FEB RAS, Vladivostok),
S.I. KISLOVA (Far Eastern State Technical Fisheries University, Vladivostok).

Using all available information about the ice cover condition in the Sea of Japan during 1960–2019, we developed and implemented the generalized physical and statistical model of a long-term forecasting for ice concentration fields and ice age in the sea. The model's algorithm includes the stages of extrapolation of the reference values of the predicted element with a lead time of a year or more, and the entire field's subsequent complete restoration, linked into the one scheme. These procedures, together with the ice information archive, allow us, in the first approximation, to solve the problem of a long-term modeling for the ice conditions in the Sea of Japan. The test results are presented, and the conclusion is made about the prospects of the proposed method and the possibility of its practical application.

Key words: ice concentration, modeling, variability, ice cover data, algorithm, estimation.

Введение

Японское море благодаря своим транспортным, минеральным, биологическим и рекреационным ресурсам имеет громадное значение для экономики Приморского края.

ПЛОТНИКОВ Владимир Викторович – доктор географических наук, *ДУБИНА Вячеслав Анатольевич – кандидат географических наук, заведующий лабораторией, старший научный сотрудник (Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичёва ДВО РАН, Владивосток), КИСЛОВА Светлана Ивановна – научный сотрудник (Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, Владивосток). *E-mail: dubina@poi.dvo.ru

Работа выполнена при финансовой поддержке Программы РАН «Новые вызовы климатической системы Земли», проект № 18–1–004.

Однако наличие сезонного ледяного покрова вносит свои коррективы в процессы эффективного развития региона. Ледяной покров является главным лимитирующим фактором любой хозяйственной деятельности на море в холодный период года. Поэтому развитие системы мониторинга ледяного покрова в море считается важнейшей научно-практической задачей. Знание ледовой обстановки и ее предвидение (прогноз) открывают хорошие перспективы повышения эффективности хозяйственной деятельности за счет учета ледового фактора при планировании любых операций на море. Это подчеркивает насущную необходимость пристального внимания к состоянию и эволюции ледяного покрова.

Если характер ледового режима моря благодаря исследованиям Л.П. Якунина [11, 12], В.В. Плотникова [4, 6, 7], И.О. Думанской и др. [1, 9, 10] в целом изучен удовлетворительно, то проблема оценки эволюции (прогнозирования) состояния ледяного покрова до сих пор остается открытой. Особенно это относится к задачам долгосрочного и сверхдолгосрочного прогнозирования состояния ледяного покрова в море. Моделирование и прогноз ледовых условий в Японском море до последнего времени носили фрагментарный характер и включали в основном выявление зависимостей для определения ледовых фаз по пунктам и ледовитостей для отдельных районов или моря в целом [6, 12]. При этом необходимо отметить определенные успехи в использовании физико-статистических моделей при прогнозировании ледовых характеристик с заблаговременностью до трех декад [4].

В области гидродинамического моделирования можно упомянуть достаточно успешную реализацию динамической модели перераспределения льда в Татарском проливе [9]. Однако практическое использование подобных моделей затруднено и их применение требует постоянной статистической корректировки результатов.

Все это подчеркивает необходимость пристального внимания к мониторингу и моделированию состояния ледяного покрова, определяет актуальность, научную новизну и практическую значимость данного исследования.

Цель работы – оценка возможности долгосрочного моделирования состояния ледяного покрова (распределения сплоченности льда) в Японском море.

Впервые разработан алгоритм и реализована модель для долгосрочного (год и более) моделирования состояния ледяного покрова (многомерных распределений сплоченности льда) в Японском море. Подобные задачи ранее не ставились и не решались. Внедрение предлагаемой технологии позволит поднять уровень научно-технического потенциала края в области долгосрочного планирования и в последующем реализовать ее для целей судоходства, рыбного промысла, развития аквакультуры, гидротехнического строительства и т.д. на акватории Японского моря.

Исходные данные и методы

Исходной информацией для создания архива данных о распределениях сплоченности льда на Японском море послужили:

– база данных «Состояние ледяного покрова Японского моря»*, содержащая сведения о полях сплоченности и возрасте льда с 1960 по 2019 г.;

– карты анализа ледовой обстановки в море за период 1972–2019 гг. с периодичностью 3–4 дня (http://www.natice.noaa.gov/products/weekly_products.html).

Информация о состоянии ледяного покрова моря (поля сплоченности) осреднялась по 10-дневным периодам. Численные значения сплоченности льда [3, 4, 6, 7] снимались в центрах районов, на которые разбивалось море (рис. 1).

Метод прогноза основан на экстраполяции с заблаговременностью год и более некоторых значений прогнозируемого параметра (сплоченности льда), снятых в заранее определенных районах, с последующим восстановлением всего поля.

*Состояние ледяного покрова Японского моря: св-во о гос. регистрации базы данных / В.В. Плотников, С.П. Шкорба, И.Д. Ростов, Е.В. Дмитриева. – № 2011620558; зарегистрировано 03.08. 2011 г.

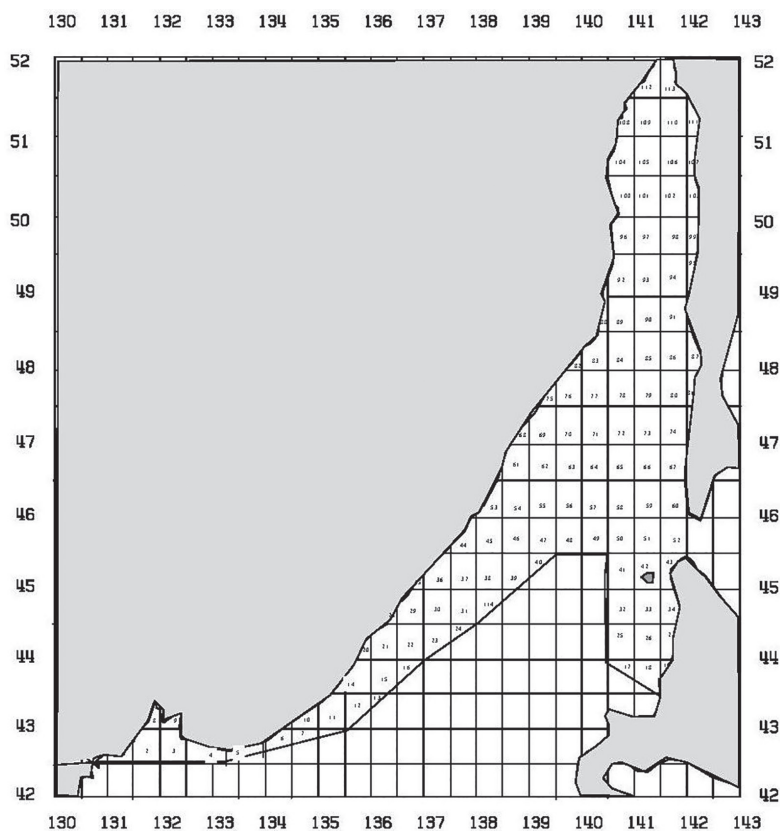


Рис. 1. Расположение и нумерация районов для снятия значений ледовых характеристик в Японском море (непрерывная линия показывает границу предельного распространения льда)

Модель эволюции ледовых условий включает ряд последовательных алгоритмов:

- выбор ограниченного числа реперных районов, которые в совокупности достаточно адекватно отражают пространственные особенности распределения прогнозируемого элемента;

- экстраполяция значений сплоченности льда по каждому реперному району с заблаговременностью год и более;

- восстановление всего поля с заданной заблаговременностью.

Данные процедуры в совокупности с архивом ледовой информации позволяют в первом приближении решить проблему долгосрочных и сверхдолгосрочных прогнозов состояния льда в Японском море.

Отбор реперных районов. Реперными считаются обособленные районы с различной изменчивостью прогнозируемых характеристик. Обычно отбирается 4–6 районов, которые характеризуют области повышенной изменчивости элемента.

Экстраполяция предполагает использование скрытых в самом прогнозируемом процессе квазипериодичностей. Однако отсутствие четко выраженных периодов в исследуемом процессе не позволяет использовать традиционные методы гармонического анализа. В этом случае более адекватные результаты можно получить методом разложения в ряд с некрратными гармониками [2, 5, 8]. Соответственно в качестве модели может быть использована суперпозиция этих гармоник. При этом в каждом конкретном случае параметры квазипериодических составляющих и их веса в общей изменчивости параметра пересчитываются.

Распределение сплоченности в каждом районе представлялось в виде гармонического ряда с некратными частотами:

$$L_i = A_0 \sum_{m=1}^p A_m \sin \left[\left(\frac{2\pi}{T_m} + (m-1) \right) t_i + Q_m \right],$$

где A_m – амплитуда; T_m – период и Q_m – сдвиг (параметры, определяемые методом наименьших квадратов); $i = 1, 2, \dots, n$; $m = 1, 2, \dots, p$, где n – длина ряда, p – количество используемых гармоник; t – момент времени фиксации параметра (сплоченности) [5].

Восстановление модельного поля. Задача восстановления полного поля сплоченности льда реализуется по некоторым реперным значениям с учетом имеющихся представлений о существующей пространственно-временной структуре этого поля. При решении этой задачи наиболее рациональным подходом, по-видимому, является использование следующих процедур: расчет эмпирических ортогональных функций (ЭОФ) по имеющейся системе точек и дальнейшее дополнение пропущенных значений в полях ЭОФ методами оптимизации, основанными на итерационных схемах расчета; интерполяция недостающих временных функций разложения с последующим восстановлением истинных значений поля. В настоящее время подобный подход широко применяется при формировании архивов ледовых характеристик на дальневосточных морях [4, 6].

В общем виде алгоритм задачи можно представить в виде блок-схемы (рис. 2).

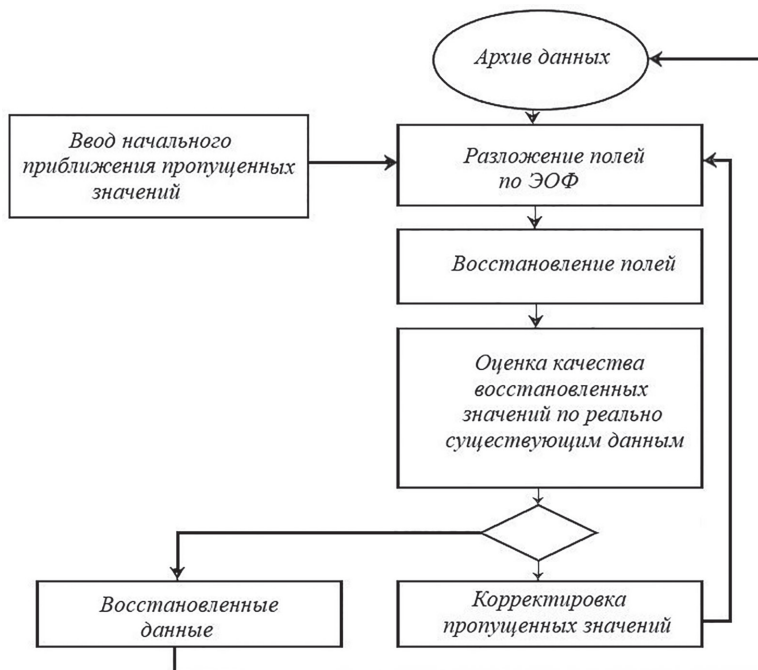


Рис. 2. Блок-схема процедур восстановления пропущенных данных

Блок «Корректировка пропущенных значений» реализует оптимизационную задачу поиска пропущенных значений и представляет собой подбор пропущенных значений, так чтобы минимизировать оценку критерия согласия, отражающего степень точности разложения исходных полей по ЭОФ и последующего их восстановления. В качестве начального приближения пропущенных данных использовались средние значения, а в качестве критерия согласия применялся следующий функционал:

$$\Phi_2(A_0 \dots A_p) = \max |Y_k - F_k|, 1 \leq k \leq N,$$

где Y_k, F_k – фактические и восстановленные значения, N – объем выборки.

Далее реализуется итерационный процесс подбора таких пропущенных значений, которые оптимальным образом отражали бы статистическую структуру анализируемого поля, представленную ОЭФ.

Все решение сводится к определению в многомерном пространстве минимума выбранного критерия согласия.

Функционирование схемы происходит в следующем порядке: исходные данные, имеющие пропуски, извлекаются из ранее созданного архива. Согласно заданным условиям (информация о характере эксперимента: длина выборок, списки пропущенных значений и их начальные приближения, точность представления полей посредством ЭОФ, выбранный критерий согласия и т.д.) отобранные поля подвергаются процедуре разложения по ЭОФ. Пропущенные значения заменяются любой их начальной оценкой (обычно средним многолетним значением). Далее по первым наиболее крупномасштабным собственным функциям проводится восстановление исходных полей, в сумме несущих заданное количество информации об изменчивости анализируемого элемента. Эта процедура позволяет несколько сжать информацию и исключить незначительные, близкие к случайным флуктуации параметров. Сравниваются исходные и восстановленные значения в одних и тех же точках поля, рассчитывается соответствующий функционал (критерий согласия). После этого изменяются начальные приближения пропущенных значений, процедура повторяется до тех пор, пока не будет найден минимум выбранного функционала. Фиксируются оценки пропущенных данных, которые приводят к этому минимуму. Рассчитанные по этим значениям ЭОФ будут представлять оптимальную для поставленной задачи статистическую оценку пространственно-временной структуры анализируемых полей.

Наиболее подходящая аппроксимация пропущенных значений, отражающая даже их возможные экстремальные состояния, была получена при использовании минимаксного критерия согласия, что и послужило основанием для использования именно этого критерия в решении задачи долгосрочного прогнозирования.

Результаты и анализ

Реализуя предложенный алгоритм, мы попытались выполнить адаптивную оценку сплоченности льда в Японском море за период с 1960 по 2019 г. с заблаговременностью один год. В сезонном плане анализировался наиболее суровый в ледовом отношении период – январь–февраль.

На первом этапе сплоченность льда моделировалась лишь в реперных районах. Для выбора реперных районов рассчитывались поля среднемноголетних значений сплоченности льда и их изменчивости – средних квадратических отклонений (рис. 3).

Области наибольшей изменчивости расположены на акваториях с 7–8-балльной сплоченностью льда, где вклад динамического фактора (дрейф льда, взаимодействие между льдинами и т.д.) максимален. В соответствии с этим области максимальной изменчивости, следуя за смещениями зон со сплоченностью льда 7–8 баллов, в первой половине ледового сезона спускаются к югу, а во второй – поднимаются обратно на север. В период относительной устойчивости ледяного покрова (январь–февраль) они вытягиваются с северо-востока на юго-запад акватории.

Для января–февраля было отобрано 5 реперных районов – 54, 69, 76, 86 и 91 (рис. 1).

Для решения задачи определения оптимального ряда гармоник сначала из основного процесса (обучающая последовательность – 1960–1990 гг.) выделялось несколько первых гармоник (рассчитывались амплитуды и частоты), из которых выбиралась одна по критерию минимума среднеквадратической ошибки (σ), полученной на проверочной последовательности (данные за 1991–2019 гг.). Затем значение отобранной первой гармоники вычиталось из анализируемого процесса и формировались первые разности (Δ), из которых по тем же принципам отбиралась вторая гармоника и т.д. Процесс отбора гармоник

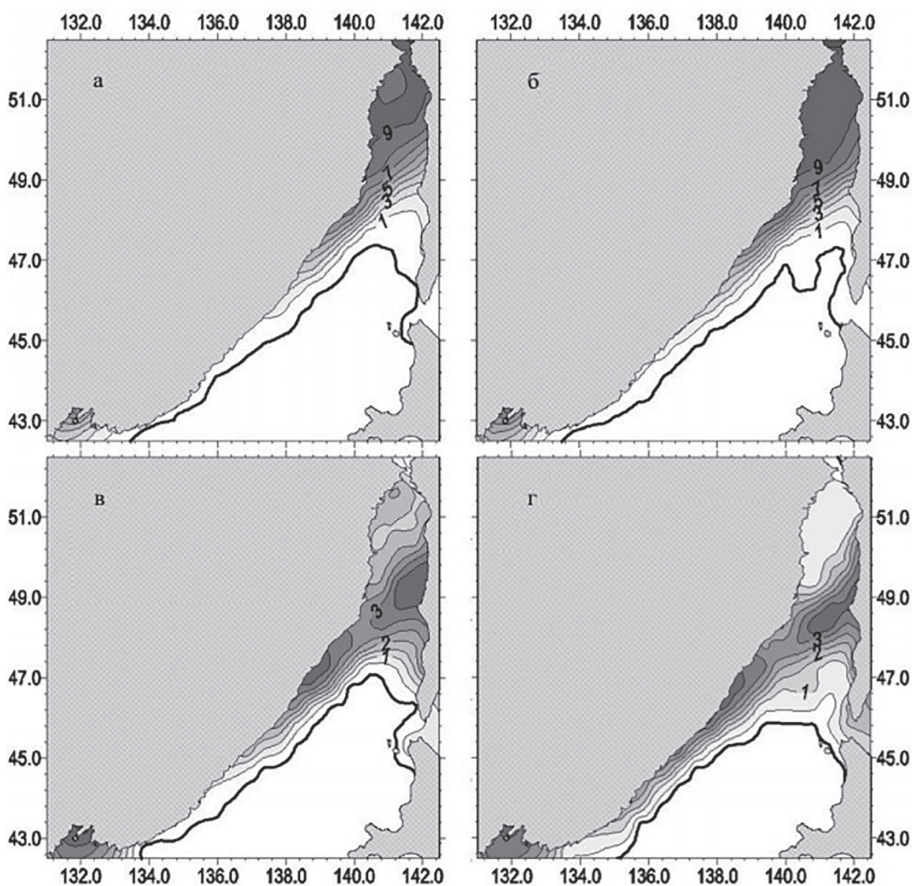


Рис. 3. Распределение средних многолетних значений сплоченности льда (*а* – январь, *б* – февраль) и средних многолетних отклонений сплоченности – σ (*в* – январь, *г* – февраль) в Японском море для центральных декад ледового сезона

продолжался до тех пор, пока ошибка (σ) на проверочной последовательности от итерации к итерации уменьшалась не менее чем на 5 % от первоначальной. В результате определяется наиболее приемлемое представление детерминированной составляющей квазипериодического процесса в виде некоторого квазигармонического тренда, состоящего из суммы нескольких гармоник с некратными частотами.

Использовался адаптивный алгоритм расчета.

В модели экстраполяции учитывалось около 90 % изменчивости исходного процесса. Количество отбираемых гармоник при такой точности прогноза варьировало от 2 до 7. Моделировались средние за центральную декаду месяца значения сплоченности льда в январе–феврале.

В результате, исходя из особенностей алгоритма, была сформирована база данных зависимых (1960–1990 гг.) и независимых (1991–2019 гг.) фактических и модельных оценок распределений декадных значений сплоченности льда в Японском море, полученных с заблаговременностью один год.

Сравнение модельных и фактических значений сплоченности льда с заблаговременностью один год в реперных районах показало весьма обнадеживающие результаты. Обеспеченность оказалась в пределах 75 %, при том что обеспеченность климатологических прогнозов составляет около 59 %, т.е. эффективность модели очевидна. Оправдываемость модельных результатов не намного ниже – 71 %. В качестве предельной модельной погрешности использовалась величина, равная 1 баллу [6, 7].

На следующем этапе восстанавливались все пропущенные значения прогнозируемого поля сплоченности льда (значения сплоченности во всех районах). После этого сравнивались модельные и фактические величины по всему морю (114 районов) и оценивались качество модели и возможности ее применения на практике.

Эффективность метода (средние обеспеченности рассчитывались на зависимой выборке) составила 83 %, а оправдываемость (рассчитывалась на независимой выборке) – 79 %. Весьма высокие результаты модели частично связаны еще с тем, что допустимая ошибка составляет 1 балл, а в ряде районов (рис. 3) изменчивость прогнозируемого параметра меньше этой величины и все прогнозы там автоматически оправдываются.

Заключение

Ледяной покров является главным лимитирующим фактором любой хозяйственной деятельности на море в холодный период года. Поэтому развитие системы мониторинга ледяного покрова в море считается важнейшей научно-практической задачей. Впервые разработан алгоритм и дается оценка возможности долгосрочного (год и более) моделирования состояния ледяного покрова (многомерных распределений сплоченности льда) в Японском море. Подобные задачи ранее не ставились и не решались.

Представленные результаты проверки функционирования модели отражают правильность модельных представлений о характере долговременной (год и более) изменчивости ледовых условий в Японском море.

Увязанные в одну схему этапы обработки информации в совокупности с архивом ледовой информации позволят в первом приближении решить проблему мониторинга и долгосрочного прогнозирования ледовых условий на Японском море. Выявленные особенности их пространственно-временной структуры могут быть использованы при анализе изменений климата в регионе, в задачах моделирования состояния ледяного покрова, а также при решении практических вопросов хозяйственного освоения акватории Японского моря.

ЛИТЕРАТУРА

1. Думанская И.О. Ледовые условия морей азиатской части России. М.; Обнинск: ИГ-СОЦИН, 2017. 640 с.
2. Ивахненко А.Г. Долгосрочное прогнозирование и управление сложными системами. Киев: Техника, 1975. 312 с.
3. Номенклатура ВМО по морскому льду / WMO/OMM/ВМО. № 259. Изд. 1970–2017. – www.aari.ru/gdsidb/xml/wmo_259.php?lang0=2 (дата обращения: 06.11.2020).
4. Плотников В.В. Аналого-статистическая модель прогноза положения кромки, сплоченности, возраста и форм льда на дальневосточных морях // Метеорология и гидрология. 1997. № 10. С. 59–67.
5. Плотников В.В., Вакульская Н.М., Дубина В.А. Изменчивость ледовых условий Берингова моря и оценка возможности их моделирования // Океанология. 2019. Т. 59, № 6. С. 904–911.
6. Плотников В.В. Изменчивость ледовых условий дальневосточных морей России и их прогноз. Владивосток: Дальнаука, 2002. 172 с.
7. Плотников В.В. Оценка точности спутниковой информации о состоянии льда, реализуемая в схеме физико-статистического прогноза // Геология, геофизика и геохимия океана: тез. докл. на III Съезде сов. океанологов, Ленинград, 14–19 дек. 1987 г. Л., 1987. С. 186.
8. Сахарович Я.И. О закономерностях и возможностях долгосрочного прогнозирования географических процессов // Автоматика. 1972. № 5. С. 20.
9. Фролов И.Е., Петров А.Г. Численная модель осенне-зимних ледовых явлений // Тр. ДВНИГМИ. 1980. Вып. 91. С. 3–12.
10. Четырбоцкий А.Н., Плотников В.В. Ледяной покров Японского моря. Анализ данных и моделирование. Владивосток: Дальнаука, 2005. 208 с.
11. Якунин Л.П. Атлас основных параметров ледяного покрова Японского моря. Владивосток: Изд. дом ДВФУ, 2012. 84 с.
12. Якунин Л.П. Ледовые исследования на дальневосточных морях // Тр. ДВНИГМИ. 1979. Вып. 77. С. 102–107.

А.И. ЗАЙЦЕВ, Е.Н. ПЕЛИНОВСКИЙ

Регистрация глубокофокусного землетрясения 13 февраля 2020 года около острова Итуруп

Приведены данные глубокофокусного (около 150 км) землетрясения с магнитудой 7, случившегося 13 февраля 2020 г. в прол. Фриза между курильскими островами Итуруп и Уруп. Оно зарегистрировано одним из буев системы ДАРТ, предназначенной для регистрации волн цунами. Уровень моря в момент землетрясения понизился на 2 см, что свидетельствует о возможности возникновения очень слабого цунами.

Ключевые слова: цунами, глубокофокусное землетрясение, станция ДАРТ, Курильские острова.

Deep focus earthquake registration near the Iturup Island on February 13, 2020. A.I. ZAYTSEV (Special Research Bureau for Automation of Marine Researches, FEB RAS, Yuzhno-Sakhalinsk), E.N. PELINOVSKIY (R.E. Alekseev Nizhny Novgorod State Technical University, Nizhny Novgorod).

The data of the deep-focus (about 150 km) earthquake with magnitude 7, which occurred on February 13, 2020 in the Fries Strait between the Kuril Islands of Iturup and Urup, are given. It is registered by one of the buoys of the DART system, designed to detect tsunami waves. The depth of the sea at the time of the earthquake decreased by 2 cm that indicates the possibility of a very weak tsunami.

Key words: tsunami, deep focus earthquake, DART station, Kuril Islands.

Введение

Общеизвестно, что глубокофокусные землетрясения не могут вызвать опасных цунами. Об этом сообщают информационные бюллетени Тихоокеанского центра предупреждения о цунами (PTWC), в частности, такой бюллетень был выпущен 13 февраля 2020 г. через 8 мин после сильного землетрясения в Охотском море в прол. Фриза около о-ва Итуруп. Предварительные параметры землетрясения, определенные Японским метеорологическим агентством (JMA), таковы: магнитуда 7,0, время 10:33 по Гринвичу (13:33 по московскому времени, или 21:33 по местному), координаты эпицентра 44,7° с.ш. 148,9° в.д., глубина фокуса 163 км.

Аналогичной была ситуация в акватории Охотского моря 24 мая 2013 г., когда на глубине 640 км произошло землетрясение, сильнейшее для этого района за последние 100 лет [1]. Магнитуда была очень большая – 8,3, так что Сахалинский центр цунами объявил тревогу, отмененную спустя 33 мин после события. Сейсмические волны распространились на большие расстояния и привели к колебаниям почвы на расстоянии до 8000 км, они

*ЗАЙЦЕВ Андрей Иванович – доктор физико-математических наук, врио директора (Специальное конструкторское бюро средств автоматизации морских исследований ДВО РАН, Южно-Сахалинск), ПЕЛИНОВСКИЙ Ефим Наумович – доктор физико-математических наук, профессор, старший научный сотрудник (Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, Нижний Новгород). *E-mail: aizaytsev@mail.ru

Работа выполнена в рамках госзадания СКБ САМИ (АААА-А19-119051390003-0), поддержана грантом РФФИ 18-05-0019 (программа «Опасные явления») и грантом Президента РФ МД-148.2020.5.

ощущались в центральной части России, включая Москву и Нижний Новгород. Большой интерес к произошедшему отразился в серии публикаций [2, 6–10, 13, 15, 16].

Несмотря на глубокофокусность, землетрясение 2013 г. было зарегистрировано системой буев DART (Deep-Ocean Assessment and Reporting of Tsunamis) и вызвало незначительное (4 см) цунами на о-ве Итуруп [4], в связи с чем обсуждалась возможность возбуждения глубокофокусными землетрясениями цунами [5, 14, 17], которые хоть и малы, но интересны с научной точки зрения. Случившееся 13 февраля 2020 г. под морским дном глубокофокусное землетрясение дает возможность продолжить дискуссию о генерации цунами такими землетрясениями.

Данные о землетрясении 13 февраля 2020 г.

13 февраля 2020 г. в 10:33 гринвичского времени на Курильских островах произошло сильное землетрясение с магнитудой $M = 6,9-7,0$. Его параметры были определены Японским метеорологическим агентством (см. Введение), Единой геофизической службой РАН (<http://mseism.Gsras.ru/EqInfo/RequestsHandler?cmd=toinfmsg&lang=ru&imid=121>) и Геологической службой США – USGS (<https://prod-earthquake.cr.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us70007pa9/finite-fault>). Их данные несколько различаются в деталях, но в целом они свидетельствуют, что очаг землетрясения находился на глубине 144–149 км в Охотском море в прол. Фриза у северной оконечности о-ва Итуруп; координаты эпицентра: 45,63–45,67° с.ш. 148,71–148,93° в.д. (рис. 1). По данным Геофизической службы РАН землетрясение ощущалось на Кунашире, Шикотане и Итурупе, в частности: в Южно-Курильске, Крабовозовском, Малокурильском, Курильске, Лагунном, Горном и Горячих Ключах – силой 5 баллов, в Головново, Менделеево, Горячем пляже, Китовом и Рейдово – силой 4–5 баллов. Жители Итурупа сообщают, что трясло примерно полминуты и люди выбегали из домов.

Механизм землетрясения, приведенный на сайте Геофизической службы РАН со ссылкой на данные, полученные в Национальном центре информации о землетрясениях Геологической службы США, USGS NEIC и в Ламонт-Дохертской обсерватории Земли

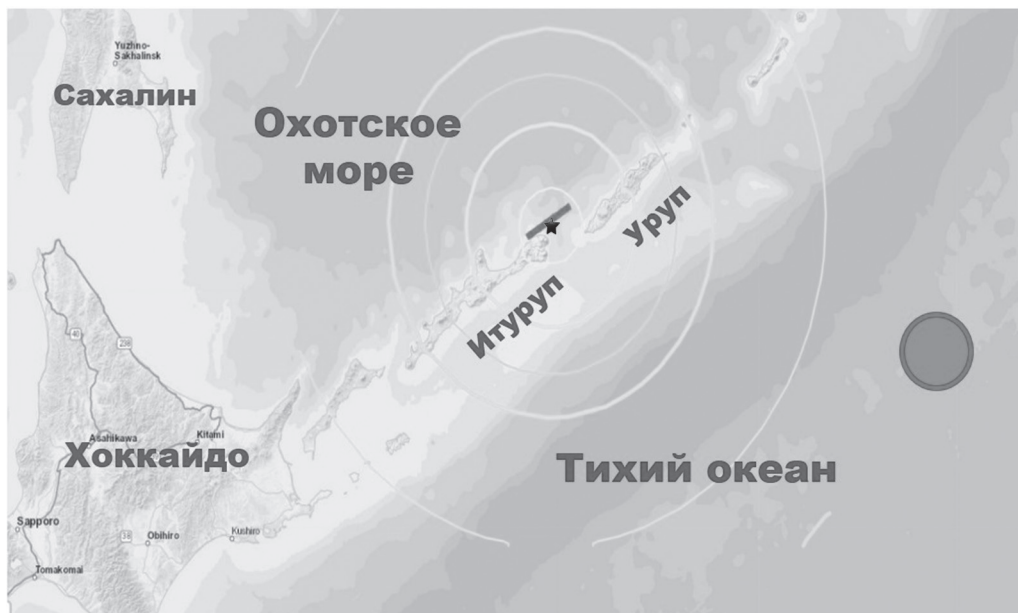


Рис. 1. Эпицентр землетрясения 13 февраля 2020 г. (звездочка) на юге Курильской гряды, контуры интенсивности и положение буя ДАРТ 21419 (круг)

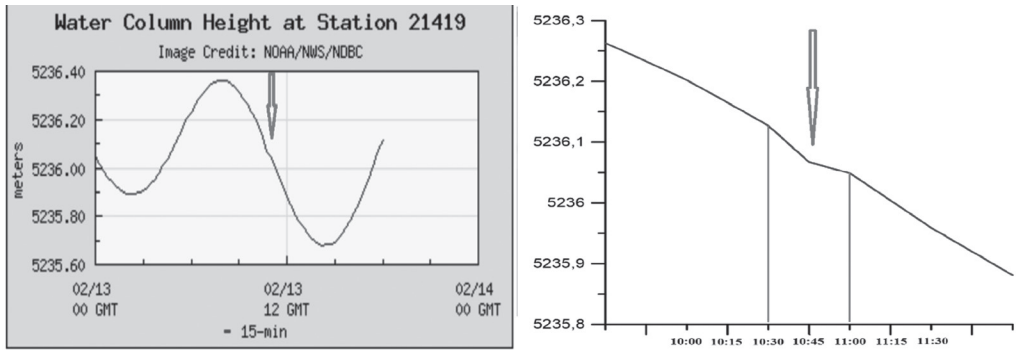


Рис. 2. Запись 13 февраля 2020 г. уровня моря с ДАРТ № 21419 ($44,435^{\circ}$ с.ш. $155,717^{\circ}$ в.д.). Стрелкой показано понижение уровня океана в зависимости от реального времени (по оси абсциссе)

Колумбийского университета США (GCMT), описан в <http://mseism.gsras.ru/EqInfo/RequestsHandler?cmd=toinfmsg&lang=ru&imid=121>. Длина разлома 120 км, ширина разлома 70 км, угол между меридианной и линией разлома (strikeangle) 239° , угол падения (dipangle) 79° , угол направления подвижки (rake (slip) angle) 100° , смещение 6 м.

Это землетрясение зафиксировано на глубине 5282 м одним из ДАРТ (№ 21419), показанном на рис. 1. Координаты буя: $44,435^{\circ}$ с.ш. $155,717^{\circ}$ в.д. Запись уровня моря в этот день, зафиксированная ДАРТ, представлена на рис. 2. Дискретность записи составляет 15 мин, поэтому изменение уровня моря произошло в момент времени 10:45 по Гринвичу (напомним, что землетрясение произошло в 10:33, т.е. уже после предыдущего отчета времени). Глубина моря уменьшилась почти на 2 см.

Анализ полученных данных

Используя данные о землетрясении, приведенные выше, нами рассчитано начальное смещение уровня моря в момент землетрясения по формулам Окады [12]. Расчеты выполнены с помощью вычислительного комплекса НАМИ-ДАНС, используемого для моделирования цунами различного происхождения [3], результаты представлены на рис. 3. Максимальный подъем уровня воды в очаге составляет 3 см на охотоморской

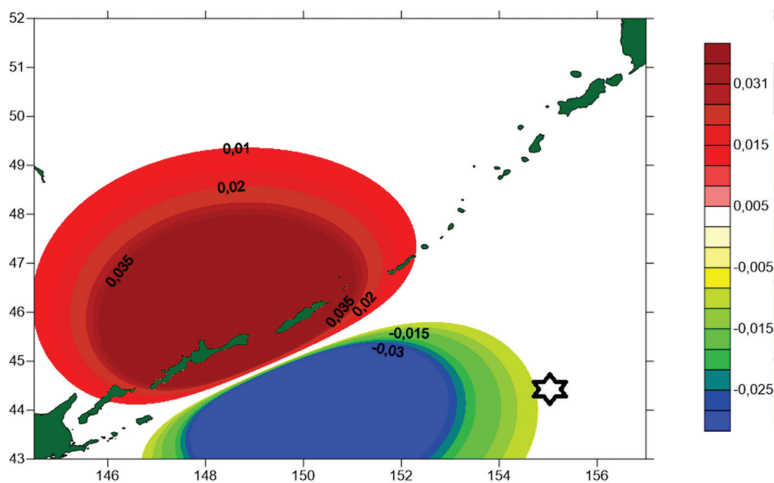


Рис. 3. Рассчитанное начальное смещение уровня океана (в метрах) в момент землетрясения 13 февраля 2020 г. по данным Геофизической службы РАН. Звездочка – положение буя ДАРТ 21419

стороне, понижение уровня на тихоокеанской стороне – до 2,5 см. В начальный момент времени в точке расположения ДАРТ по расчетам понижение уровня воды оказывается немногим больше 1 см.

Грубую оценку максимального значения вертикального смещения уровня воды в очаге можно сделать по формуле из [11]:

$$\lg H = 1,5M_w - 21gh - 5,96,$$

где H – максимальная высота смещения дна в очаге (см), M_w – магнитуда землетрясения, h – глубина фокуса (км), g – ускорение свободного падения. Подстановка значений магнитуды $M = 7$ и глубины фокуса $h = 150$ км приводит к оценке $H \sim 1,5$ см, что очень близко к наблюдаемым смещениям на ДАРТ. Отметим, что рассчитанная величина смещения уровня воды в очаге меньше рассчитанной для землетрясения 2013 г. (7 см), т.е. нынешнее землетрясение, хотя глубина его фокуса не так велика, в состоянии породить лишь более слабое цунами.

Заключение

Случившееся 13 февраля 2020 г. около северной оконечности острова Итуруп (Курильские острова) сильное землетрясение с магнитудой $M = 7$ и глубиной фокуса 150 км обсуждается с позиций возможного возникновения слабого цунами в акватории Охотского моря. Приведена запись глубины с одного из буев системы ДАРТ, предназначенной для регистрации цунами; уровень моря изменился на 2 см. Такая же оценка вытекает из расчетов по модели Окады и приближенной аналитической формулы. Она в несколько раз меньше полученной ранее для глубоководного землетрясения (640 км) в Охотском море в 2013 г., которое привело к слабому цунами, зарегистрированному на о-ве Итуруп. Именно поэтому землетрясение 2020 г. оказалось «ненаблюдаемым» мареографами (по крайней мере, у нас таких данных пока нет). Тем не менее регистрация колебаний уровня моря донными датчиками системы ДАРТ подтверждает принципиальную возможность генерации слабых цунами глубоководными землетрясениями, что важно с научной точки зрения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Воронина Е.В. Глубоководные землетрясения Охотского моря // Уч. зап. физ. фак. МГУ. 2016. Вып. 3. 163902.
2. Гонтовая Л.И., Гордиенко В.В., Назарова З.А. О возможной природе глубоководного охотоморского землетрясения 24 мая 2013 года // Вестн. КРАУНЦ. Науки о Земле. 2017. № 1. С. 46–57.
3. Зайцев А.И., Куркин А.А., Пелиновский Е.Н., Ялченир А. Вычислительный комплекс НАМИ-ДАНС в проблеме цунами // Вычислит. механика сплошных сред. 2019. Т. 12, № 2. С. 161–174.
4. Зайцев А.И., Пелиновский Е.Н., Куркин А.А., Костенко И.С., Ялченир А. О возможности цунами в Охотском море при глубоководных землетрясениях // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2016. Т. 52, № 2. С. 246–254.
5. Носов М.А., Колесов С.В., Нурисламова Г.Н., Большакова А.В. Влияние вращения Земли на волны цунами, вызванные глубоководным Охотоморским землетрясением 2013 г. // Вестн. МГУ. Серия 3: Физика. Астрономия. 2018. № 6. С. 117–123.
6. Татевосян Р.Э., Косарев Г.Л., Быкова В.В., Мацневский С.А., Уломов И.В., Аптекман Ж.Я., Вакарчук Р.Н. Глубоководное землетрясение с M_w 8.3, ощущавшееся на расстоянии 6500 км // Физика Земли. 2014. № 3. 154–162.
7. Чебров В.Н., Кугаенко Ю.А., Викулина С.А. и др. Глубокое Охотоморское землетрясение 24.05.2013 г. с магнитудой $M_w = 8.3$ – сильнейшее сейсмическое событие у берегов Камчатки за период детальных сейсмологических наблюдений // Вестн. КРАУНЦ. Науки о Земле. 2013. № 1. С. 17–24.
8. Чеброва А.Ю., Чебров В.Н., Гусев А.А. и др. Воздействие Охотоморского землетрясения 24 мая 2013 г. ($M_w = 8,3$) на территории Камчатки и мира // Вулканология и сейсмология. 2015. № 4. С. 3–22.

9. Chen Y., Wen L., Ji C. A cascading failure during the 24 May 2013 great Okhotsk deep earthquake // *J. Geophys. Res.: Solid Earth*. 2014. Vol. 119. P. 3035–3049.
10. Meng L., Ampuero J.-P., Bürgmann R. The 2013 Okhotsk deep-focus earthquake: rupture beyond the metastable olivine wedge and thermally controlled rise time near the edge of a slab // *Geophys. Res. Lett.* 2014. Vol. 41. P. 3779–3785.
11. Okada Y. Simulated empirical law of coseismic crustal deformation // *J. Phys. Earth*. 1995. Vol. 43. P. 697–713.
12. Okada Y. Surface deformation due to shear and tensile faults in a half-space // *Bull. Seismol. Soc. Am.* 1985. Vol. 75 (4). P. 1135–1154.
13. Okal E.A., Salooji N., Kirby S.H., Nettles M. An implosive component to the source of the deep Sea of Okhotsk earthquake of 24 May 2013: Evidence from radial modes and CMT inversion // *Phys. Earth Planet. In.* 2018. Vol. 281. P. 68–78.
14. Okal E.A. The excitation of tsunamis by deep earthquakes // *Geophys. J. Int.* 2017. Vol. 209. P. 234–249.
15. Wei S., Helmberger D., Zhan Z., Graves R. Rupture complexity of the Mw = 8.3 Sea of Okhotsk earthquake: rapid triggering of complementary earthquakes? // *Geophys. Res. Lett.* 2013. Vol. 40. P. 5034–5039.
16. Ye L., Lay T., Kanamori H., Koper K.D. Energy release of the 2013 Mw 8.3 Sea of Okhotsk earthquake and deep slab stress heterogeneity // *Science*. 2013. Vol. 341. P. 1380–1384.
17. Zaytsev A., Kostenko I., Kurkin A., Pelinovsky E., Yalciner A. The depth effect of earthquakes on tsunami heights in the Sea of Okhotsk // *Turkish J. Earth Sci.* 2016. Vol. 25, N 4. P. 289–299.

С.М. КИСЕЛЕВ, Ю.Н. ЗОЗУЛЬ, Т.Н. ЛАЩЕНОВА, В.В. ШЛЫГИН,
Д.В. ИСАЕВ, С.В. АХРОМЕЕВ, А.Н. МАЛАХОВА

Оценка состояния морской акватории в районе ядерной аварии на атомной подводной лодке в бухте Чажма (Приморский край)

*Памяти Анатолия Ивановича Лукьянца
посвящается*

35 лет назад произошла ядерная авария на атомной подводной лодке в бухте Чажма (Фокино, Приморский край). Надзор за радиационной безопасностью населения на этих территориях осуществляет ФМБА России. В настоящей статье представлены результаты многолетних исследований состояния загрязнения морской акватории бухты Чажма, а также затопленного дока (пресный водоем), расположенного около судоремонтного завода (ЗС СРЗ). Водные объекты характеризуются остаточным загрязнением радионуклидами ^{60}Co , ^{235}U , ^{137}Cs , среди которых ^{60}Co является основным. Определены локальные участки акватории, где удельная активность в донных отложениях превышает установленные уровни для неограниченного использования материалов в хозяйственной деятельности ($A_{\text{мд}}$): ^{60}Co – в районе бывших аварийных пирсов ЗС СРЗ и в затопленном доке вдоль оси распространения следа, ^{137}Cs – возле пункта долговременного хранения реакторных отсеков (ПДХ РО, мыс Устричный), где ранее располагались суда АТО. Содержание ^{235}U в донных отложениях морской акватории и затопленного дока незначительно превышает фоновые значения, но не выходит за пределы установленных уровней для неограниченного использования материалов в хозяйственной деятельности. Удельная активность ^{60}Co , ^{235}U , ^{137}Cs в морской воде и воде затопленного дока соответствует требованиям, предъявляемым к прибрежным водам морей в местах водопользования населения. Отмечено превышение ПДК металлов (для свинца – до 5 раз, мышьяка – до 3, бериллия – до 6) в морской воде, в том числе омывающей территории, используемые населением в рекреационных целях. В целом гигиеническая обстановка в акватории бухты Чажма является нормальной и не требует проведения реабилитационных мероприятий и ограничения доступа населения к исследуемому водоему. При этом необходим периодический контроль воды и объектов биоты, которые могут использоваться населением в хозяйственных целях, особенно из акватории затопленного дока.

Ключевые слова: ядерное наследие, атомные подводные лодки, бухта Чажма, радиационная безопасность, техногенные радионуклиды, металлы, донные отложения, морская вода.

Environmental assessment of the marine area in the vicinity of a nuclear submarine accident in the Chazma Bay (Primorsky Krai). S.M. KISELEV¹, Yu.N. ZOZUL¹, T.N. LASCHENOVA^{1,2}, V.V. SHLYGIN¹, D.V. ISAEV¹, S.V. AHROMEYEV¹, A.N. MALAKHOVA¹ (¹ Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency, Moscow, ²Peoples' Friendship University of Russia, Moscow).

*КИСЕЛЕВ Сергей Михайлович – кандидат биологических наук, заведующий лабораторией, ЗОЗУЛЬ Юлия Николаевна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, ШЛЫГИН Владимир Васильевич – младший научный сотрудник, ИСАЕВ Дмитрий Викторович – научный сотрудник, АХРОМЕЕВ Сергей Викторович – научный сотрудник, МАЛАХОВА Анна Николаевна – инженер (Государственный научный центр Российской Федерации – Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна Федерального медико-биологического агентства России, Москва), ЛАЩЕНОВА Татьяна Николаевна – доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник (ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России), профессор (Российский университет дружбы народов, Москва). *E-mail: sergio@gmail.com

Thirty-five years ago, there was a nuclear accident on a nuclear submarine in the Chazhma Bay (Fokino, Primorsky Krai). The FMBA of Russia carries out supervision of radiation safety of the community in these territories. This article presents the results of long-term studies of the state of pollution of the sea area of the Chazhma Bay, the flooded dock (freshwater reservoir) located near the ship repair plant (30 SRZ). Objects of the aquatic ecosystem are characterized by residual contamination with radionuclides – ^{60}Co , ^{235}U , ^{137}Cs , among which ^{60}Co is the main one. There are local areas of the water area identified where the specific activity of ^{60}Co in bottom sediments exceeds the established levels for unrestricted use of materials in economic activities. They include the locations of ^{60}Co in the area of the former emergency piers of 30 SRZ and the flooded dock along the axis of the trace distribution, ^{137}Cs in the area of the former location of the ships of the administrative-territorial unit (ATU) at the territories of the facility for long-term storage of reactor compartments (LTS RC, Ustrichny Cape). The content of ^{235}U in the bottom sediments of the sea area and the flooded dock slightly exceeds the background values but does not exceed the established levels for unrestricted use of materials in economic activities. The specific activity of ^{60}Co , ^{235}U , ^{137}Cs in seawater and water of the flooded dock meets the requirements for coastal waters of the seas in water consumption areas for people. Excess of MPC of heavy metals (Pb – 5 MPC, As – 3 MPC, Be – 6 MPC) in seawater, as well as in territories used by the population for recreational purposes. In general, the ecological situation in the sea area of Chazhma Bay is normal and does not require remediation and public access restriction to these areas. At the same time, it is necessary to monitor periodically water and biota objects that can be used by the population, especially in the water area of a flooded dock.

Key words: nuclear legacy, Chazhma Bay, atomic submarines, radiation safety, technogenic radionuclides, metals, bottom sediments, seawater.

Введение

Самая тяжелая радиационная авария за все время существования отечественного атомного флота произошла 10 августа 1985 г. на судоремонтном заводе в бухте Чажма (Приморский край). У пирса судоремонтного завода при выполнении операций по перегрузке ядерного топлива на АПЛ возникла самопроизвольная цепная реакция (СЦР) с тепловым взрывом. След осадения радиоактивных выпадений пересек п-ов Дунай в северо-западном направлении и вышел к морю на побережье Уссурийского залива. В результате выброса летучих веществ, фрагментов топлива и поступления радиоактивной воды через образовавшуюся пробоину в корпусе АПЛ загрязненной оказалась часть акватории бухты Чажма и сформировался радиоактивный след протяженностью 5,5 км на территории лесного массива полуострова. Южнее места аварии располагается пгт Дунай (около 11 000 жителей на 1985 г.), территория которого не была затронута облаком аварийного выброса (рис. 1).

По международной шкале INES авария отнесена к 5 уровню – «авария с широкими последствиями». В момент возникновения СЦР в реакторе находилось только что загруженное «свежее» топливо, в котором отсутствовали накопленные за время работы продукты деления. Поэтому возникший выброс радиоактивности определялся, главным образом, короткоживущими радионуклидами, образовавшимися в результате самой СЦР, в основном изотопами йода и благородных газов – около 7 МКи (259 ПБк), при этом доля долгоживущих продуктов деления не превышала 0,8 Ки [8]. Однако за время предыдущей кампании ядерного реактора в конструкциях реакторной установки образовалось значительное количество (десятки кКи) активационных радионуклидов, включая ^{60}Co , часть из которых также поступила в окружающую среду в результате аварии. Мощность выброса (Бк) составила: по ^{60}Co – $1,2 \cdot 10^{13}$, ^{90}Sr – $4,1 \cdot 10^9$, ^{137}Cs – $4,4 \cdot 10^9$, ^{131}I – $37 \cdot 10^9$ [6].

На месте радиоактивного загрязнения были проведены исследования последствий аварии для окружающей среды, осуществлен комплекс реабилитационных мероприятий механическим и физико-химическим способами, выполнена дезактивация пирсов и прибрежной полосы, прилегающей к заводу. За территорией завода была удалена сопка высотой 70 м с загрязненными склонами, чистые подстилающие породы использованы, чтобы разбавить поверхностное радиоактивное загрязнение до допустимых уровней. Для хранения образующихся отходов на береговой технической базе ПВХ (пункт временного хранения отработанного ядерного топлива и радиоактивных отходов) в бухте Сысоева были построены хранилища траншейного типа (8000 м³). На территории лесного массива

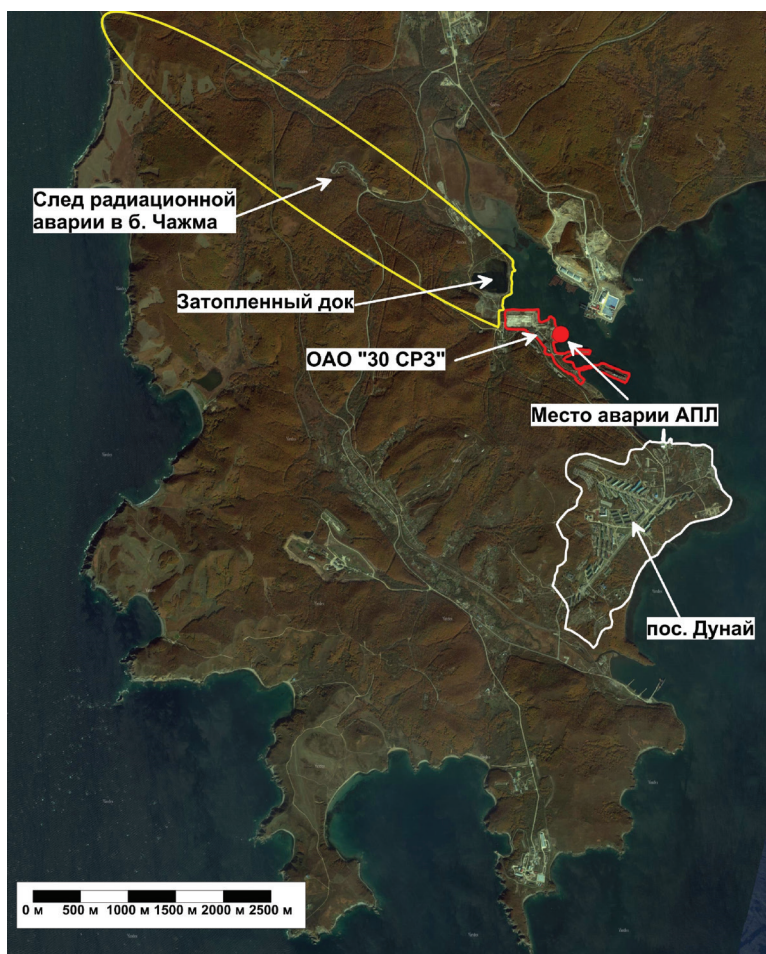


Рис. 1. Ситуационная картограмма расположения объектов в районе аварии на АПЛ в бухте Чажма

реабилитационные мероприятия не проводились с расчетом на естественное восстановление окружающей среды за счет распада техногенных радионуклидов. Защита населения была организована путем ограничения доступа на загрязненные территории, выделена область максимального радиоактивного загрязнения (~2 км²) [6].

Реабилитация морской акватории (~200 000 м²) заключалась в локальном углублении дна бухты с выемкой загрязненного грунта. Максимально загрязненный участок бухты Чажма (~12 000 м²) вокруг эпицентра аварии оставили на естественную дезактивацию.

В 1991 г. специалисты НИЦ «Курчатовский институт» совместно с представителями ВМФ обследовали акваторию с помощью подводного гамма-спектрометра. В месте аварии на дне были отмечены локальные аномалии мощности дозы от 9 до 64 мГр/ч. В образцах грунта обнаруживались микрочастицы урана с удельной активностью 4–6 кБк/кг [10, 13]. Общая активность основного дозообразующего активационного радионуклида ⁶⁰Со в донных отложениях бухты Чажма в 1992 г. оценена на уровне 5 Ки (185 ГБк) [9, 11]. По данным радиационного обследования, проведенного в 2009 г., в районе аварии максимальная мощность дозы на дне составляла 0,1 мГр/ч, а максимальная концентрация ⁶⁰Со в донных отложениях – 2,5 · 10⁴ Бк/кг [4]. Такой уровень гамма-излучения донных отложений в месте аварии обусловлен тем, что в этом месте под слоем ила до сих пор находятся неизвлеченные фрагменты разрушенной активной зоны реактора, являющиеся

источником радиационной и химической опасности. Таким образом, радиоэкологическая обстановка на акватории бухты Чажма в течение последних лет характеризуется как нарушенная, источник радиоактивного загрязнения относится к наиболее опасному открытому типу и требует постоянного контроля [5].

Целью настоящего исследования является радиационно-гигиеническая оценка водных объектов в районе бухты Чажма спустя более 35 лет после аварии.

Материалы и методы

Исследования радиационно-гигиенической обстановки морской акватории включали измерения мощности эквивалентной дозы гамма-излучения (МЭД) донных отложений, отбор и лабораторные исследования проб морской среды (гидробионты, вода, донные отложения). Измерения радиационных параметров объектов окружающей среды выполнены в соответствии со стандартными методиками аккредитованного испытательного лабораторного центра ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна (аттестат RA.RU.21БУ01).

Для измерения МЭД и удельной активности техногенных радионуклидов в донных отложениях бухты Чажма использован подводный гамма-спектрометр РЭМ-25 с детектором NaI(Tl) \varnothing 75 × 180 мм, разработанный в НИЦ «Курчатовский институт». МЭД и удельную активность техногенных радионуклидов ^{60}Co и ^{137}Cs в донных отложениях затопленного дока определяли на гамма-спектрометре МКС-01А «Мультирад-Гамма» с блоком детектирования на основе NaI(Tl) с кристаллом \varnothing 63 × 63 мм БДКС63-01А в комплектации для измерений на дне водоемов «Гамма-Аква» (Россия).

Лабораторные исследования радионуклидного состава и удельной активности техногенных радионуклидов выполнены с использованием гамма-спектрометра многоканального для измерения рентгеновского и гамма-излучения «CANBERRA» (США) с полупроводниковым германиевым детектором BE5030 и радиометра УМФ-2000 (Россия) с применением предварительных методов радиохимического выделения радионуклидов по стандартным методикам аккредитованного испытательного лабораторного центра ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна.

Общий запас (Q) техногенных радионуклидов в донных отложениях рассчитан согласно формуле:

$$Q = A_i \cdot h \cdot \rho \cdot S,$$

где A_i – удельная активность радионуклида, Бк/кг; h – толщина исследуемого слоя грунта, см; ρ – плотность грунта, г/см³; S – площадь акватории, м². При расчете принималось, что радионуклидное загрязнение ^{137}Cs и ^{60}Co локализовано в слое донных отложений толщиной от 1 до 5 см ($h = 5$ см) и плотностью 2 г/см³.

Определение тяжелых металлов выполнено методом атомно-эмиссионной спектроскопии микроволновой плазмы (Agilent Technologies 4200 MP-AES, США).

Статистическая обработка результатов проведена с применением общепринятых методов. Расчеты выполнены с использованием MS Excel 2016 и Statistica 10.0 (Stat Soft) для Windows. В качестве показателя центральной тенденции, ввиду несоответствия распределения измеренных значений нормальному закону, использована медиана и границы ее доверительного интервала при $P = 0,95$ в соответствии с ГОСТ Р ИСО 16269-7-2004¹. Согласно принципу консервативности минимальные и максимальные значения, а также границы доверительного интервала медианы приведены с запасом на расширенную неопределенность измерений.

¹ ГОСТ Р ИСО 16269-7-2004. Статистические методы. Статистическое представление данных. Медиана. Определение точечной оценки и доверительных интервалов. – <http://docs.cntd.ru/document/1200035332> (дата обращения: 23.11.2020).

Контурные картограммы распределения радиационных параметров построены с использованием программного обеспечения Surfer 9.

Оценка состояния загрязнения объектов водной среды основана на соответствии требованиям НРБ-99/2009² и ОСПОРБ 99/2010³. В качестве критерия радиационной безопасности почв и донных отложений и возможности их применения в хозяйственной деятельности использован критерий неограниченного использования твердых материалов $A_{\text{НИ}}$, регламентированный ОСПОРБ 99/2010. Согласно требованиям неограниченного использования металлов, для твердых материалов (почва, донные отложения), в которых отмечено присутствие ^{137}Cs и ^{60}Co , рассчитан критерий K с учетом неопределенности измерений:

$$K = \frac{A_{^{137}\text{Cs}}}{1 \cdot 10^2} + \frac{A_{^{60}\text{Co}}}{1 \cdot 10^2} \pm \sqrt{\left(\frac{U_{^{137}\text{Cs}}}{1 \cdot 10^2}\right)^2 + \left(\frac{U_{^{60}\text{Co}}}{1 \cdot 10^2}\right)^2},$$

где A – удельная активность радионуклида, Бк/кг; U – расширенная неопределенность активности радионуклида, Бк/кг.

В случае $K < 1$ твердые материалы могут неограниченно использоваться в хозяйственной деятельности.

Результаты

Исследования радиационно-гигиенической обстановки лесного массива в районе ядерной аварии, проведенные с 2014 по 2019 г. специалистами ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна, показали, что на большей части следа значения мощности амбиентного эквивалента дозы (МАЭД) не превышают 0,16 мкЗв/ч при среднем значении 0,10 мкЗв/ч, что соответствует региональному фоновому значению по Приморскому краю 0,14 мкЗв/ч. Локальные участки превышения фоновых значений МАЭД до 0,6 мкЗв/ч отмечены в части следа от бухты до дороги Дунай–Фокино. Основным дозообразующим техногенным радионуклидом является ^{60}Co . Максимальное значение удельной активности детектируемых техногенных радионуклидов на порядки ниже критерия отнесения к радиоактивным отходам, регламентированного ОСПОРБ 99/2010 [14, 15].

Точки обследований акватории бухты Чажма и дока, расположенного по оси распространения следа, см. на рис. 2. Изучение морской среды в бухте Чажма (район 30 судоремонтного завода) проведены в период с 2014 по 2015 г. совместно со специалистами НИЦ «Курчатовский институт». Оценка радиационной обстановки в затопленном доке, отделенном от бухты земляной насыпью шириной 40–50 м, выполнена специалистами ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна в 2019–2020 гг.

Радиационно-гигиеническая обстановка морской акватории в бухте Чажма

МЭД на поверхности донных отложений под слоем воды в бухте Чажма (табл. 1, рис. 3) варьирует в пределах 0,03–0,83 мкЗв/ч. Центральная часть бухты и акватория в районе стоянки судов атомно-технологического обслуживания (АТО) и хранения трехотсечных блоков характеризуется значениями 0,05–0,10 мкЗв/ч. Максимальное значение получено в районе пирсов судоремонтного завода (СРЗ) – 0,83 мкЗв/ч.

² Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009). Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПин 2.6.1.2523-09. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. – <http://docs.cntd.ru/document/902170553> (дата обращения: 23.11.2020).

³ СП 2.6.1.2612-10. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010). М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2010. – <http://docs.cntd.ru/document/902214068> (дата обращения: 23.11.2020).

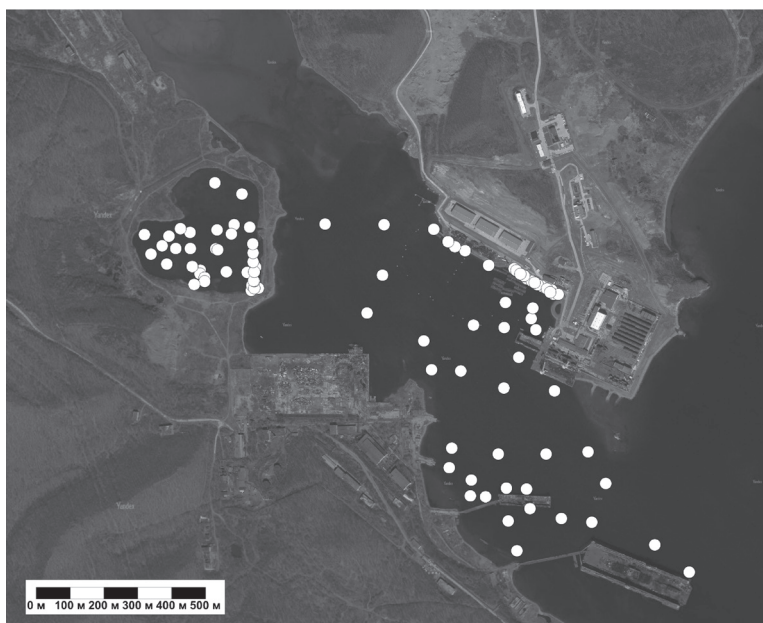


Рис. 2. Схема расположения точек измерений в акватории в районе аварии на АПЛ в бухте Чажма

Результаты измерения МЭД (мкЗв/ч) на поверхности донных отложений в бухте Чажма

Таблица 1

Локация	Минимум	Максимум	Медиана*
У пирсов СРЗ	0,03	0,83	0,13 (0,07–0,24)
По линии центра бухты	0,03	0,11	0,06 (0,03–0,10)
Район бывшей стоянки судов АТО	0,03	0,13	0,05 (0,03–0,10)

*Среднее, в скобках – границы доверительного интервала медианы при $P = 0,95$ в соответствии с ГОСТ Р ИСО 16269-7-2004.



Рис. 3. Распределение МЭД на поверхности донных отложений в бухте Чажма

Повышенные значения МЭД в районе пирсов судоремонтного завода обусловлены в основном активационным радионуклидом ^{60}Co , удельная активность которого в донных отложениях достигает 570 Бк/кг (табл. 2). При этом отмечается заглупление загрязнения на ~ 5 см.

Таблица 2
Удельная активность радионуклидов (Бк/кг) в донных отложениях на участках акватории в районе аварии в бухте Чажма

Акватория	^{137}Cs	^{90}Sr	^{60}Co	^{235}U
У пирсов СРЗ	$\frac{8-250}{15}$	$\frac{<1-13}{0,3}$	$\frac{15-570}{230}$	$2,4 \pm 0,7$
По линии центра бухты	$\frac{4-10}{8}$	$\frac{<1-9}{0,3}$	$\frac{6-40}{15}$	Не обн.
Район бывшей стоянки судов АТО	$\frac{5-1500}{80}$	$\frac{<1-18}{0,3}$	$\frac{5-30}{5}$	$1,75 \pm 0,5$
Критерий оценки				
$A_{\text{ин}} / \text{ПЗУА}$	$1 \cdot 10^2 / 1 \cdot 10^4$	$1 \cdot 10^3 / 1 \cdot 10^5$	$1 \cdot 10^2 / 1 \cdot 10^4$	$- / 1 \cdot 10^4$
Фоновые значения (акватории Японского моря)				
Амурский залив	5–12	–	<1	–
Уссурийский залив	4–7	–	<1–4	–
Зал. Стрелок	4 ± 2	–	Не обн.	–
Зал. Находка	3 ± 2	–	–	–

Примечание. Прочерк – нет данных. Здесь и в табл. 4–7: над чертой – диапазон изменения (минимальное и максимальное значения), под чертой – медиана. $A_{\text{ин}}$ – удельная активность, допустимая для неограниченного использования. ПЗУА – предельные значения удельной активности для отнесения к радиоактивным отходам.

В сравнении с результатами обследования акватории 1998 г. [6] видно, что за 20 лет удельная активность радионуклидов в донных отложениях существенно снизилась (табл. 3). Это связано с комплексом естественных процессов, вызванных распадом основного дозообразующего радионуклида ^{60}Co , заиливанием, которое сопровождает все виды перемещений техногенных радионуклидов в придонном слое морской воды во внутренних заливах и бухтах северо-западной части Японского моря [1].

Таблица 3
Удельная активность (медиана, Бк/кг) в бухте Чажма в 1998 и 2018 гг.

Объект	^{235}U		^{60}Co		^{137}Cs		^{90}Sr	
	1998	2018	1998	2018	1998	2018	1998	2018
Донные отложения	$\sim 10^3$	2,1	$\sim 10^3$	18	180	25	2,9	0,32
Морская вода	–	0,02	–	0,03	0,003	0,004	–	0,017

Примечание. Прочерк – нет данных.

Проведенные исследования показали, что значимый вынос ^{60}Co в прилегающий к бухте зал. Стрелок отсутствует (> 5 Бк/кг мокрого веса (мв)). Общий запас ^{60}Co в обследованной акватории по результатам измерений составил $\sim 0,1$ Ки. Эта величина по порядку величины с учетом распада совпадает с полученной в 1992 г. оценкой поступления ^{60}Co в акваторию – 0,3 Ки.

Локальный участок с повышенной активностью ^{137}Cs в донных отложениях бухты Чажма выявлен у пункта долговременного хранения реакторных отсеков (ПДХ РО, мыс Устричный), где ранее располагались загрязненные суда атомного технического обслуживания (АТО) (рис. 4). Загрязнение сосредоточено главным образом в тонком (~ 1 см) поверхностном слое и имеет площадь не более нескольких десятков квадратных метров. Максимальное значение удельной активности ^{137}Cs составляет ~ 910 Бк/кг мв. При этом МЭД на поверхности донных отложений под слоем воды не превышает 0,13 мкЗв/ч. Общий

запас ^{137}Cs в донных отложениях этого района по результатам исследований 2014 г. оценивается в $\sim 0,02$ Ки. Для остальной акватории, прилегающей к ПДХ РО на мысе Устричный, в том числе в районе хранения трехотсечных блоков АПЛ на плаву, значимого загрязнения донных отложений техногенными радионуклидами не выявлено, удельная активность ^{137}Cs менее 15 Бк/кг мв. МЭД на поверхности донных отложений под водой варьирует в диапазоне от 0,03 до 0,12 мкЗв/ч. Такой разброс мощности дозы обусловлен различным содержанием в донном грунте природных радионуклидов, главным образом ^{40}K , удельная активность которого меняется от 100 (песчаные грунты) до 400 (илистые грунты) Бк/кг мв.

Оценивая современное состояние радиоактивного загрязнения морской акватории бухты Чажма, следует

отметить, что по уровню удельной активности техногенных радионуклидов донные отложения не относятся к категории радиоактивных отходов, но на локальных участках фиксируются повышенные по сравнению с фоновыми значения удельной активности ^{60}Co и ^{137}Cs . Содержание радионуклидов в выявленных локациях (район пирсов судоремонтного завода) превышает установленные показатели для неограниченного использования материалов в хозяйственной деятельности в соответствии с ОСПОРБ 99/2010 (табл. 2). Донные отложения в районе бывшего расположения судов АТО характеризуются повышенной активностью ^{137}Cs (медианное значение на уровне $A_{\text{нп}}$, максимальное на порядок выше). Присутствие ^{60}Co в донных отложениях Уссурийского залива связано с последствиями аварии в бухте Чажма [3, 12], но в прилегающем к бухте Чажма зал. Стрелок изотопы наведенной активности ^{60}Co , ^{54}Mn , ^{65}Zn не были зарегистрированы [7].

Проведенные в 2014–2019 гг. исследования акватории бухты Чажма (табл. 4) показали, что с точки зрения радиационной безопасности ее воды отвечают требованиям СанПиН 2.1.5.2582-10⁴, предъявляемым к прибрежным водам морей в местах водопользования населения. Превышения допустимых уровней (ДУ) удельной активности ^{137}Cs и ^{90}Sr , установленных СанПиН 2.3.2.1078-01⁵ для моллюсков, ракообразных и рыб, не выявлено.

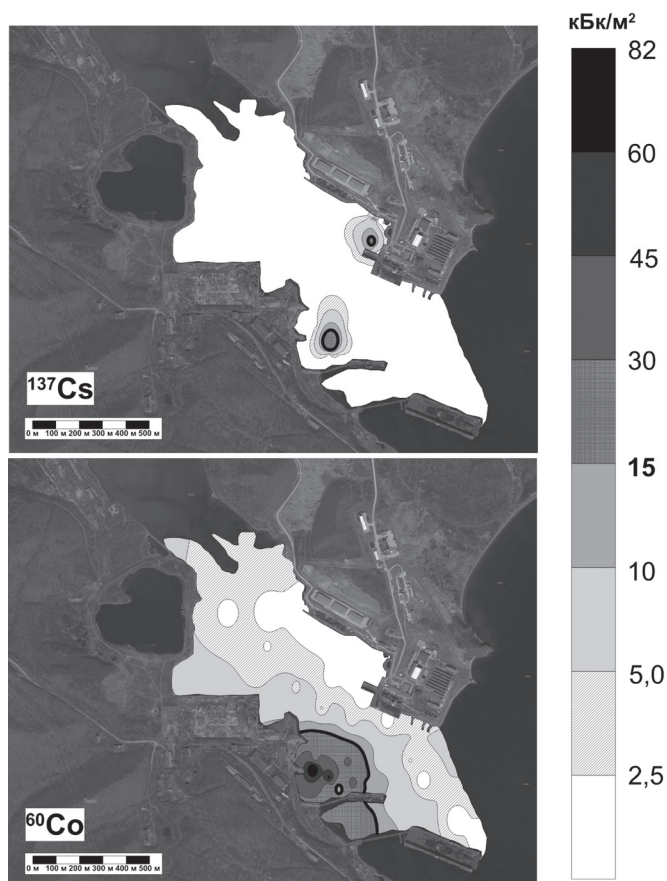


Рис. 4. Распределение ^{60}Co и ^{137}Cs в донных отложениях бухты Чажма (данные 2014 г.)

⁴ СанПиН 2.1.5.2582-10. Санитарно-эпидемиологические требования к охране прибрежных вод морей от загрязнения в местах водопользования населения. М., 2010. 66 с.

⁵ СанПиН 2.3.2.1078-01. Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов. – <http://docs.cntd.ru/document/901806306> (дата обращения: 23.11.2020).

Таблица 4

Удельная активность (Бк/кг) радионуклидов в объектах акватории бухты Чажма по данным исследований 2014–2019 гг.

	Морская вода*	Водоросли	Гидробионты**
¹³⁷ Cs	$(0,2-3,8) \cdot 10^{-2}$ (11) 3,5 · 10 ⁻³	<u>0,02–4,3</u> 1,5	<u>0,1–2,9</u> (200, рыба – 130) 0,9
⁹⁰ Sr	<u>0,01–0,23</u> (4,9) 0,03	<u>0,1–6,2</u> 4,2	<u>0,1–2,6</u> (100) 0,6
⁶⁰ Co	<u>0,03–0,03</u> (40) 0,03	<u>0,02–3,3</u> 1,18	<u>0,1–0,8</u> (–) 0,2
²³⁵ U	0,021 ± 0,003 (2,9)	<u>2,2–9,1</u> 2,2	<u>0,05–0,5</u> (–) 0,3

* В скобках – гигиенические нормативы в соответствии с СанПиН 2.1.5.2582-10.

** В скобках – допустимые уровни для морепродуктов (СанПиН 2.3.2.1078-01).

Примечание. Прочерк – удельная активность не нормируется.

Радиационная обстановка на территории городского пляжа ПГТ Дунай (табл. 5) отвечает требованиям радиационной безопасности. Значения МАЭД вдоль береговой черты не превышают 0,12 мкЗв/ч, что соответствует региональному фоновому значению для Приморского края. Удельная активность техногенных радионуклидов в морской воде отвечает требованиям СанПиН 2.1.5.2582-10.

Таблица 5

Средняя удельная активность (Бк/кг) радионуклидов в районе пляжа ПГТ Дунай по данным исследований 2014–2019 гг.

Объект	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	⁶⁰ Co	²³⁵ U
Морская вода	2,1 · 10 ⁻³ (11)	0,01 (4,9)	<0,01 (40)	<0,01 (2,9)
Донные отложения	2 –	1 –	<5 –	2,4 –
Водоросли	0,5 –	8,7 –	0,7 –	1,5 –

Примечание. В скобках – гигиенические нормативы в соответствии с СанПиН 2.1.5.2582-10. Прочерк – удельная активность не нормируется.

Оценка содержания тяжелых металлов в воде бухты Чажма (табл. 6) показала, что вблизи 30 судоремонтного завода и пгт Дунай повышено содержание свинца (до 5 ПДК) и мышьяка (до 3 ПДК). Содержание бериллия в основном на уровне ПДК, но в районе ПГТ Дунай отмечено повышение до 6 ПДК. Полученные данные нельзя однозначно связать с последствиями аварии в бухте Чажма, они характеризуют содержание тяжелых металлов в воде прибрежной зоны п-ова Дунай, поэтому превышения ПДК по свинцу, мышьяку и бериллию требуют проведения дальнейших исследований, в т.ч. в акватории зал. Стрелок.

Таблица 6

Удельное содержание металлов (мг/дм³) в пробах воды Японского моря, 2019 г.

Локация	As	Be	Cd	Pb	Ni
Акватория бухты Чажма	<u>0,018–0,027</u> 0,023	<u>1 · 10⁻⁴–8 · 10⁻⁴</u> 4 · 10 ⁻⁴	<0,001	<u>0,04–0,07</u> 0,05	<u>0,003–0,004</u> 0,004
Пгт Дунай	0,026	0,0016	<0,001	0,05	0,008
Уссурийский залив (макс./сред. за 2010–2017 гг.) [2]	Нет данных	Нет данных	0,012/0,002	0,004/0,001	0,015/0,002
ПДК ⁶	0,01	0,0003	0,01	0,01	0,01

⁶ Приказ Министерства сельского хозяйства РФ от 13.12.2016 г. № 552 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения».

Радиационно-гигиеническая обстановка водной среды в затопленном доке

Рядом с территорией 30 судоремонтного завода находится затопленный док, который изначально предназначался для ремонта военных морских судов. После аварии территория дока была загрязнена техногенными радионуклидами, преимущественно ^{60}Co . По результатам обследования донных отложений осушенного дока, проведенного в 2002 г., выявлены локальные зоны радиоактивного загрязнения с уровнями МЭД до 7 мкЗв/ч. Была проведена частичная реабилитация с выемкой грунта (с активностью более 10 000 Бк/кг), относящегося к категории радиоактивных отходов.

В настоящее время док по прямому назначению не используется. Территория дока общедоступна, что требует обеспечения радиационной безопасности населения, использующего ее в рекреационных целях и хозяйственной деятельности. Док (глубина до 18 м) заполнен пресной водой, источником которой являются грунтовые воды близкого залегания. МЭД на поверхности донных отложений достигает 0,18 мкЗв/ч (рис. 5).

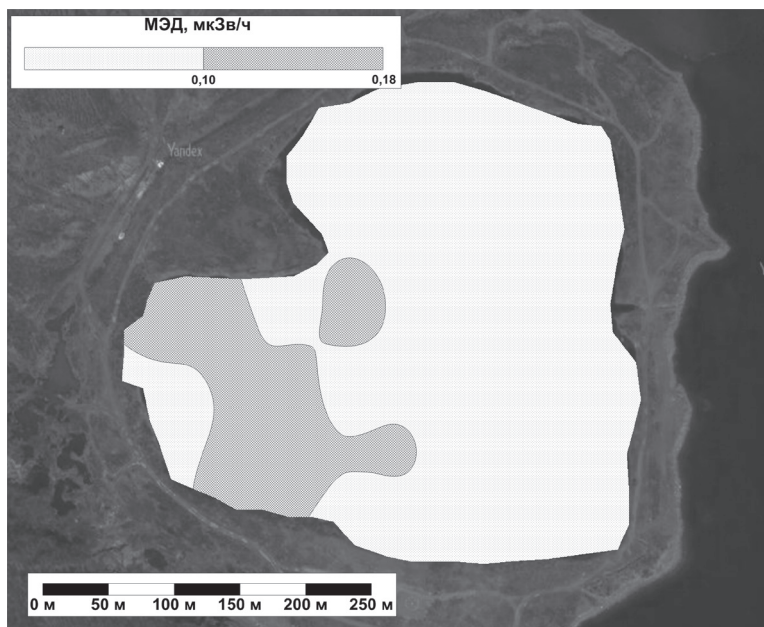


Рис. 5. МЭД в придонном слое отложений в доке

Анализ воды дока (табл. 7) показал наличие ^{235}U с активностью, превышающей аналогичный показатель в морской воде бухты Чажма, но на порядок ниже гигиенических требований СанПиН 2.1.5.980-00⁷. Удельная активность ^{90}Sr и ^{137}Cs на три порядка ниже гигиенических требований СанПиН 2.1.5.980-00, ^{60}Co в воде не идентифицирован. Основным загрязнителем донных отложений является ^{60}Co , удельная активность которого в локальных участках превышает $A_{\text{инт}}$, но на два порядка ниже критерия отнесения к радиоактивным отходам согласно ОСПОРБ 99/2010. Удельная активность ^{235}U превышает аналогичные показатели в бухте Чажма, но на три порядка ниже уровня РАО. Удельная активность ^{137}Cs соответствует фоновым значениям.

⁷ СанПиН 2.1.5.980-00 «Гигиенические требования к охране поверхностных вод». – <http://docs.cntd.ru/document/1200006938> (дата обращения: 23.11.2020).

Параметры содержания радионуклидов в акватории затопленного дока

Объект	Удельная активность, Бк/кг							
	^{137}Cs		^{90}Sr		^{60}Co		^{235}U	
Вода	0,09 ± 0,05	(11)	0,007	(4,9)	Не обн.	(40)	0,62 ± 0,20	(2,9)
Донные отложения	<u>1-12</u>	-	<u><1-3</u>	-	<u><1-490</u>	-	<u>6-16</u>	-
	10		1		27		12	

Примечание. В скобках – гигиенические нормативы в соответствии с СанПиН 2.1.5.980-00. Прочерк – удельная активность не нормируется.

По критерию неограниченного использования твердых материалов ($A_{\text{ни}}$) для ^{60}Co расчетным путем оценена площадь участка дна дока, где удельная активность ^{60}Co меньше 100 Бк/кг (8,6 га, или 82 % площади дна затопленного дока) и больше этой величины (1,8 га, или 18 %). На втором участке региональные фоновые значения превышены в 10–100 раз. Он расположен в западной части дока вдоль оси распространения следа выпадений (рис. 6).

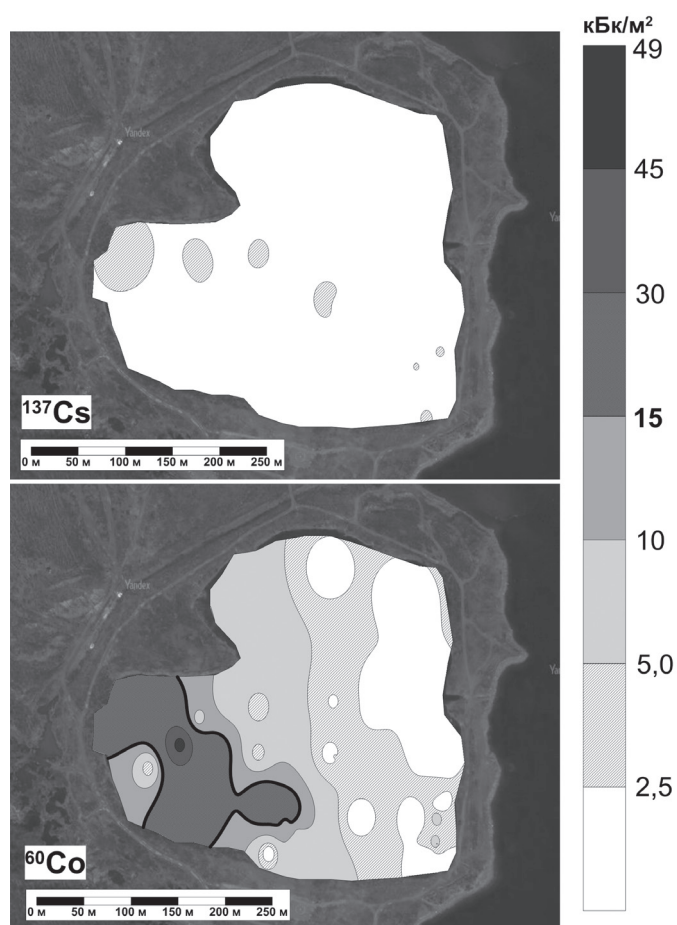


Рис. 6. Распределение ^{60}Co и ^{137}Cs в донных отложениях дока (данные 2019 г.)

Выводы

Проведено радиационно-гигиеническое обследование акватории в районе бухты Чажма (ЗАТО Фокино, Приморский край) спустя 35 лет после ядерной аварии на атомной подводной лодке. Определено содержание токсичных металлов в морской воде (As, Be, Cd, Pb, Ni). Основным загрязняющим техногенным радионуклидом является ^{60}Co . Локальные загрязнения ^{60}Co обнаружены в районе аварийного пирса на территории 30 судоремонтного завода, загрязненная акватория которого была оставлена на естественную реабилитацию с момента аварии. Локальный участок с повышенной активностью ^{137}Cs в донных отложениях выявлен в акватории бухты Чажма, прилегающей к пункту долговременного хранения реакторных отсеков (ПДХ РО, мыс Устричный), данное загрязнение (здесь ранее располагались суда АТО) не является результатом аварии на АПЛ. ^{60}Co локализуется преимущественно в 5-сантиметровом слое донных отложений, тогда как ^{137}Cs сосредоточен главным образом в тонком (~1 см) поверхностном слое на площади не более нескольких десятков квадратных метров.

По уровню загрязнения донные отложения в бухте Чажма не относятся к категории радиоактивных отходов, хотя на локальных участках установленные уровни для неограниченного использования материалов в хозяйственной деятельности ($A_{\text{ши}}$) в соответствии с ОСПОРБ–99/2010 превышены.

За 23 года запас ^{60}Co в бухте Чажма сократился в 50 раз. Общий запас ^{137}Cs в донных отложениях этого района по результатам исследований 2014 г. оценивается в ~0,02 Ки. Значимый вынос радионуклидов ^{60}Co и ^{137}Cs в прилегающий к бухте Чажма зал. Стрелок отсутствует.

Морская вода пляжа ПТТ Дунай и в районе аварии в бухте Чажма, используемых населением в рекреационных целях, с точки зрения радиационной безопасности отвечает требованиям, предъявляемым к прибрежным водам морей в местах водопользования населения. При этом в воде отмечено превышение концентрации токсичных металлов (свинца – до 5 ПДК, мышьяка – до 3 ПДК, бериллия – до 6 ПДК), что требует проведения дальнейших исследований.

Радиоактивное загрязнение затопленного дока с пресной водой, используемого населением в хозяйственной деятельности, характеризуется наличием локальных участков с повышенной активностью ^{60}Co в поверхностном слое донных отложений (18 % площади дна). Содержание техногенных радионуклидов в пресной воде отвечает нормам, установленным для поверхностных водоемов.

В целом радиационная обстановка в акватории бухты Чажма является нормальной и не требует проведения реабилитационных мероприятий и ограничения доступа населения к водоему затопленного дока. При этом необходим периодический контроль воды и объектов биоты, которые могут использоваться населением.

Авторы выражают благодарность сотрудникам НИЦ «Курчатовский институт» А.Ю. Казеннову, О.Е. Кикнадзе, И.А. Гапонову, которые совместно со специалистами ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России участвовали в исследованиях по оценке радиационной обстановки в акватории бухты Чажма в 2014 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Арутюнян Р.В., Данилян В.В., Высоцкий В.Л. и др. Анализ и оценка радиозологических последствий ядерной аварии в бухте Чажма: препр. № IBRAE–98–09. М., 1998. 43 с.
2. Качество морских вод по гидрохимическим показателям за 2017 год: ежегодник / под ред. А.Н. Коршенко. М.: Наука, 2018. 220 с.
3. Кондратьев И.И., Лишавский С.С. Радиоактивное загрязнение полуострова Дунай (Приморский край) в свете перспектив строительства промышленных объектов на его территории // Вестн. ДВО РАН. 2017. № 4. С. 96–104.

4. Попов В.Е., Высоцкий В.Л., Сивинцев Ю.В. и др. Первичное радиационное обследование бухты Чажма. Владивосток: ДВ-Нуклид, 2009. 47 с.
5. Радиозоологические последствия эксплуатации и утилизации объектов атомного флота в Дальневосточном регионе / С.В. Антипов, В.Д. Ахунов, В.П. Биляшенко и др.; под ред. акад. РАН А.А. Саркисова. М.: Ин-т проблем безопасного развития атомной энергетики РАН, 2010. 388 с.
6. Саркисов А.А., Высоцкий В.Л. Ядерная авария на атомной подводной лодке в бухте Чажма. Реконструкция событий и анализ последствий // Вестн. РАН. 2018. Т. 88, № 7. С. 599–618.
7. Седова Л.Г., Борисенко Г.С., Ковековдова Л.Т., Симоконь М.В., Хлебородов А.С. Состояние экосистемы залива Стрелок (Японское море) в условиях антропогенного воздействия // Соврем. наукоемкие технологии. 2005. № 7. С. 38–39.
8. Сивинцев Ю.В. Была ли авария в Чажме дальневосточным Чернобылем? // Атом. энергия. 2003. Т. 94, вып. 6. С. 472–479.
9. Сивинцев Ю.В., Высоцкий В.Л., Данилян В.А. Радиозоологические последствия радиационной аварии на атомной подводной лодке в бухте Чажма // Атом. энергия. 1994. Т. 76, вып. 2. С. 158–160.
10. Сойфер В.Н. Радиозоология северного шельфа Японского моря. Владивосток: Дальнаука, 2002. 252 с.
11. Сойфер В.Н., Горячев В.А., Сергеев А.Ф. и др. Эволюция радиоактивного загрязнения донных отложений в зоне аварии на атомной подводной лодке в 1985 г. в бухте Чажма Японского моря // Метеорол. и гидрология. 1999. № 1. С. 48–63.
12. Чайковская Э.Л., Высоцкий В.Л., Гичев Д.В. Закономерности формирования радиационной обстановки на территории Приморского края // Атом. энергия. 2001. Т. 91, вып. 3. С. 223–237.
13. Чайковская Э.Л. Радиационная обстановка на территории Дальневосточного региона в 2000 году. Отчет ПУГМС. Владивосток, 2001. 38 с.
14. Шандала Н.К., Киселев С.М., Титов А.В. Научно-практический опыт надзорной деятельности в области обеспечения защиты населения и окружающей среды на объектах ядерного наследия России // Радиационная гигиена. 2019. Т. 12, № S2. С. 83–96.
15. Shandala N.K., Kiselev S.M., Titov A.V., Starinsky V.G., Belskih Yu., Shlugin V., Isaev D. 30 years following the accident at the Chazhma Bay (Primorsky territory): environmental assessment of the contaminated areas // Seventh International Conference on Radiation in Various Fields of Research, RAD 7: book of abstracts. Herceg Novi, Montenegro: RAD Centre, 2019. С. 347.

В.К. САРЬЯН, А.А. ЛЮБУШИН, А.П. НАЗАРЕНКО, Ю.Н. ЗАРЯНОВ

Перспективы снижения потерь от чрезвычайных ситуаций природного происхождения

Проблема снижения человеческих и материальных потерь от возникновения глобальных чрезвычайных ситуаций (ЧС) природного происхождения актуальна как для развитых, так и для развивающихся стран. Но если высокоразвитые страны в силу экономической мощи могут быстрее восстановить материальные потери, то для некоторых регионов РФ большие потери от ЧС могут оказаться чувствительными. В статье рассмотрены трудности и предложены пути решения этой проблемы за счет комплексного использования разработанных в РФ систем долгосрочного, среднесрочного и краткосрочного прогнозов и достижений в области инфокоммуникационных технологий. Предлагается в каждом регионе или его части, где прогнозируется ЧС, организовать доступ к массовой индивидуализированной услуге управления спасением (ИУСА) для каждого человека – абонента современных сетей связи, реализованной с использованием технологии интернета вещей (IoT) и системы дистанционного мониторинга – комплекса зондирования ионосферы «Радуга-М». Организация такой системы спасения повысит хозяйственную значимость получаемых сегодня результатов долгосрочных, среднесрочных и краткосрочных прогнозов ЧС, так как заметно уменьшит возможные экономические потери от недостоверных долгосрочных и среднесрочных прогнозов.

Ключевые слова: чрезвычайные ситуации (ЧС) природного происхождения, катастрофическая фаза ЧС, система гибридного мониторинга ЧС, параметры ионосферы, индивидуализированное управление спасением человека-абонента, сигналы – предвестники ЧС.

Prospects for reducing losses from natural emergencies. V.K. SARIAN¹, A.A. LYUBUSHIN², A.P. NAZARENKO³, Yu.N. ZARYANOV⁴ (¹Radio Research and Development Institute, Moscow, ²The O.Yu. Schmidt Institute of Physics of the Earth, RAS, Moscow, ³Research and Technology Centre of the Radio Research and Development Institute, Moscow, ⁴NIIR-Svyaz, LLC, Moscow).

The problem of reduction in human and material losses from global emergencies of natural origin is relevant for both developed and developing countries. But if highly developed countries due to economic power can recover material losses faster, for some regions of the Russian Federation large losses from emergencies may be sensitive. The article discusses the difficulties and proposed ways of solving this problem in the form of a comprehensive use of a long-term, medium-term and short-term forecasts and achievements of ICT developed in the Russian Federation. To do this, it is proposed in each specific region or its part where the occurrence of an emergency is predicted to organize an access to an individualized rescue management system for each person – a subscriber of modern communication networks (IUSA), implemented using the Internet of Things (IoT) technology and a remote monitoring system - ionospheric sounding complex «Rainbow-M». Organization of this rescue system not only reduces losses, but also increases the economic significance of the long-term, medium-term and short-term emergency forecasts obtained today, since the effectiveness of losses from unreliable long-term and medium-term forecasts is significantly reduced.

*САРЬЯН Вильям Карпович – доктор технических наук, академик НАН РА, профессор (Московский физико-технический институт, Москва; Московский технический университет связи и информатики, Москва), научный консультант (Научно-исследовательский институт радио, Москва), ЛЮБУШИН Алексей Александрович – доктор физико-математических наук, профессор, начальник лаборатории (Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Москва), НАЗАРЕНКО Анатолий Петрович – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, заместитель заведующего базовой кафедры (Московский физико-технический институт, Москва), директор (Научно-технический центр Научно-исследовательского института радио, Москва), ЗАРЯНОВ Юрий Николаевич – директор (ООО «НИИР-Связь», Москва). *E-mail: sarian@niir.ru

Key words: emergencies of natural origin, catastrophic phase of emergencies, hybrid monitoring system of emergencies, ionosphere parameters, individualized management of rescue of a person – a subscriber, warning signals – emergency precursors.

Введение

Проблема снижения человеческих и материальных потерь от чрезвычайных ситуаций (ЧС) природного характера для стран АТЭС, в число которых входит и РФ, особенно актуальна в силу их географического расположения по берегам Тихого Океана – активного сейсмического региона нашей планеты. Экономические потери, которые ежегодно несут страны региона от ЧС (прежде всего землетрясений и наводнений), одинаково велики как для развитых, так и для развивающихся государств, с той, правда, существенной разницей, что развитые страны, обладая экономической мощью, могут быстрее восстановить материальные потери. Для многих стран АТЭС не являются критическими и человеческие потери по причине благоприятной демографической ситуации. Для регионов же Дальнего Востока РФ из-за географической удаленности от развитых западных территорий России, сравнительно низких экономических показателей и малой заселенности потери от ЧС могут оказаться чрезвычайно чувствительными. Эта проблема настолько актуальна, что является предметом постоянного внимания политического руководства и научного сообщества РФ.

На специальном совместном заседании МЧС и Президиума РАН 2 февраля 2005 г., в котором принял участие Президент РФ В.В. Путин (www.kremlin.ru/events/president/news/32696 (дата обращения: 28.04.2020)), прозвучало три важных тезиса:

1) «Трагические последствия цунами в Юго-Восточной Азии в 2005 г. заставляют задуматься, как организовать работу по предотвращению подобных катастроф в России»;

2) «Произошедшее показало, что России, четверть территории которой с населением в 20 миллионов человек относится к сейсмоопасным районам, необходима действенная система предупреждения о стихийных бедствиях»;

3) «Хотя система мониторинга и предупреждения о стихийных бедствиях функционирует, накоплена большая база данных, специалисты работают, однако очевидно, что все эти элементы нуждаются в укреплении, большей слаженности и лучшем оснащении».

По результатам этого совещания Президент РФ поручил правительству скорректировать планы по модернизации отечественной системы предупреждения о стихийных бедствиях.

Через 14 лет, в сентябре 2019 г. в рамках Восточного экономического форума во Владивостоке Президент РАН академик А.М. Сергеев после ознакомления с работой институтов Дальневосточного отделения РАН и подразделений МЧС, а также с существующими системами мониторинга и оповещения о природных ЧС в интервью журналистам заявил, что на форуме с властями Сахалинской области обсуждались конкретные планы создания системы диагностики появления цунами и снежных лавин (www.academia.interfax.ru/ru/interview/articles/3306 (дата обращения: 28.04.2020)). Он отметил необходимость создания систем моделирования катастрофических явлений и средств раннего оповещения о таких явлениях, подчеркнув, что ученые-вулканологи и те, кто изучает морское и океаническое дно, уже работают над созданием такой системы.

Может создаться впечатление, что ученые РАН и специалисты МЧС РФ ничего не делают для снижения потерь от ЧС. Однако это далеко не так. В подтверждение этого можно сослаться на результаты оригинальных научных исследований, проведенных институтами ДВО РАН в последние годы [3, 4, 11, 13]. Вместе с тем своевременное обнаружение очагов будущих землетрясений – задача очень трудная и нелокальная в силу миграции этих очагов.

Каждый год ЧС, особенно вызванные глобальными процессами природного происхождения, становятся причиной непомерно больших материальных и людских потерь

в разных частях Земли. Надо отметить, что природные ЧС часто сопровождаются техногенными ЧС, особенно в крупных городах. Поэтому международное сообщество и страны Азиатско-Тихоокеанского экономического содружества в частности, в том числе Российская Федерация, большое внимание уделяют разработке и эксплуатации систем долгосрочного, среднесрочного и краткосрочного прогноза глобальных процессов, систем оповещения населения о ЧС и ликвидации последствий, основанных на инфокоммуникационных технологиях [3, 8, 10–14]. Однако предпринимаемые меры пока не могут повысить предсказательный потенциал долгосрочного и среднесрочного прогнозов существующих систем до необходимого уровня, а более достоверный краткосрочный прогноз, связанный в основном с фиксацией датчиками сигналов – предвестников ЧС, возможен только за очень короткий срок до наступления катастрофической фазы. Это обстоятельство делает все усилия государств по развитию средств мониторинга и предупреждения о возникновении ЧС малоэффективными. Оказавшиеся в зоне ЧС граждане, даже предупрежденные о ЧС по существующей вещательной сети, сразу забывают все инструкции и за очень короткое время между сигналом оповещения о ЧС и наступлением его катастрофической фазы не успевают спастись. И каждая очередная ЧС становится катастрофическим сюрпризом как для администрации, так и для всего населения региона, где случилась ЧС.

Решение жизненно важной проблемы снижения потерь от ЧС в конкретном сейсмически опасном регионе было найдено в РФ учеными и специалистами предприятий, которые представляют в том числе авторы настоящей статьи. Для успешного исполнения этого решения необходимо реализовать следующие подготовительные этапы:

1) развернуть в регионе систему индивидуализированного управления спасением абонентов (ИУСА) и обеспечить доступ к ней любому абоненту современных сетей связи при возникновении ЧС природного или техногенного происхождения;

2) создать гибридную систему краткосрочного прогноза глобальных ЧС с повышенным предсказательным потенциалом;

3) развернуть в регионе модернизированную ионосферную станцию «Радуга-М», которая может непрерывно в реальном времени фиксировать сигналы – предвестники землетрясений, определять их координаты на расстоянии 3 тыс. км от побережья и передавать их в центр. Станция в данном случае является элементом гибридной системы краткосрочного прогноза, что имеет особое значение для ЧС, вызванных цунами;

4) обеспечить взаимодействие между организациями РАН, осуществляющими долгосрочный и среднесрочный прогноз, и операторами системы ИУСА в том или ином регионе. Цель этого взаимодействия – адаптация технологий, обеспечивающих своевременное предупреждение оператора ИУСА о повышении сейсмической опасности для региона и необходимости актуализации ИУСА для всех абонентов;

5) наладить взаимодействие со структурами МЧС в регионе на всех этапах создания и функционирования системы ИУСА;

6) создать регуляторную базу функционирования создаваемой системы.

Далее мы покажем, что уверенность в реализуемости перечисленных выше этапов основана на разработанных в РФ исследованиях, технологиях и аппаратуре.

Сценарий и бизнес-модель системы ИУСА

Система ИУСА подробно описана в литературе [15, 16, 19–21], поэтому здесь основное внимание уделено описанию сценария и бизнес-модели ИУСА.

Чтобы описать сценарий и бизнес-модель услуги в рамках системы ИУСА, рассмотрим временные этапы развития ЧС: 1) время до возникновения ЧС, включая момент предсказания места и времени ЧС, 2) время ЧС, включая ее катастрофическую фазу (T_k), 3) время ликвидации последствий ЧС.

Предоставляемые сегодня услуги по спасению людей (например, услуга по оповещению о ЧС) практически не обеспечивают спасения во время протекания ЧС, хотя наибольшие людские потери происходят именно в этот период.

Вначале систему ИУСА с использованием технологии интернета вещей (IoT) удалось создать для ЧС, у которых период между началом ЧС и T_k составляет не менее 10 мин. Это могут быть ЧС техногенного характера (пожар, утечка вредных веществ и др.), возникающие в каком-то объекте, отдельном здании или городе в целом, либо природного (цунами, наводнения), которые зарождаются вдалеке от населенных пунктов и с предсказуемой скоростью движутся к ним [15, 16].

В отличие от существующих сценариев предлагаемой услуги обеспечивает динамическое в реальном масштабе времени персонализированное управление эвакуацией людей непосредственно во время ЧС до наступления T_k . На абонентском устройстве пользователя указывается безопасный маршрут для определенного вида ЧС с учетом текущего местоположения абонента, что значительно повышает эффективность предупреждения о ЧС в условиях дефицита времени. Вот почему система ИУСА признана Международным союзом электросвязи как вид персонализированной услуги по управлению поведением абонента (его самоэвакуацией в безопасную зону) во время возникновения ЧС [21].

Таким образом, подключение к данной услуге может обеспечить пользователям управление их самостоятельным выходом из опасной зоны ЧС до наступления T_k . В период между началом ЧС и моментом наступления катастрофической фазы, если он составляет 10 мин, можно вывести из опасной зоны до 90 % людей. Естественно, что при $T_k > 10$ мин можно достичь лучших результатов.

Но система ИУСА бессильна в ситуациях, когда время между началом ЧС и катастрофической фазой приближается к нулю. А именно это характерно для таких разрушительных катастроф, как землетрясения, которые приносят наибольшие людские и материальные потери. Для того чтобы расширить возможности применения ИУСА при возникновении ЧС такого типа, необходимо повысить краткосрочный предсказательный потенциал существующих систем мониторинга землетрясений хотя бы до значений эффективного действия ИУСА. Это, в свою очередь, связано с поиском и фиксацией сигналов – предвестников ЧС с $T_k \approx 0$. Используемые сегодня в системах мониторинга сейсмические датчики малочувствительны к сигналам – предвестникам землетрясений: в существующих датчиках они теряются на фоне шумов. Поэтому разрабатываются различные математические методы для выявления на фоне шумов сигналов – предвестников землетрясений. Значительная часть этих методов основана на каноническом анализе когерентностей многомерных спектральных матриц и корреляций коэффициентов вейвлет-разложений сигналов как в скользящих временных окнах, так и по всей выборке [1, 5–9, 18]. Цель данных методов – выделить очень слабые нестационарные сигналы общего происхождения, имеющие как гармоническое поведение, так и резко всплесковый характер, в многомерных временных рядах мониторинга с определением их характерных периодов (временных масштабов). Главным результатом применения предлагаемой методики стала разработка нового метода синхронизации оценки сейсмической опасности.

Анализ мультифрактальных свойств низкочастотного сейсмического шума и свойств их когерентности позволил дать заблаговременный прогноз мегаземлетрясения, произошедшего в Японии 11 марта 2011 г., $M = 9$. Этот прогноз описан в серии статей и выступлениях на российских и международных конференциях в 2008–2010 гг., полный список которых приведен в работах [6, 7, 17].

Развивая теорию синхронизации как эффективного способа выявления сигналов – предвестников землетрясений, А.А. Любушин предположил, что эффект синхронизации будет особенно действенным, если сигналы, получаемые от основных сейсмических датчиков, будут складываться в реальном масштабе времени с сигналами датчиков другой физической природы, расположенных поблизости от сейсмических датчиков. Идея использования датчиков разной физической природы базируется на двух положениях:

1) альтернативные дополнительные датчики могут обладать большей чувствительностью, чем сейсмические датчики, 2) сигналы – предвестники ЧС являются общим для них модулирующим сигналом.

В качестве таких датчиков В.К. Сарьян и А.П. Назаренко предложили использовать датчики на основе интернета вещей [19]. В соответствии с определением IoT, это могут быть любые живые (включая человека) и косные объекты природы, которые могут оказаться очень чувствительными к определенным типам сигналов – предвестников ЧС. Наилучший эффект обеспечивается при использовании в дополнение к существующим датчикам объединенного датчика IoT, т.е. панели, состоящей из датчиков разного типа, из которых при реальных обстоятельствах одни могут оказаться более чувствительными к сигналам-предвестникам, чем другие. На рис. 1 приведена блок-схема предложенной В.К. Сарьяном и А.П. Назаренко гибридной сети мониторинга землетрясений [10].

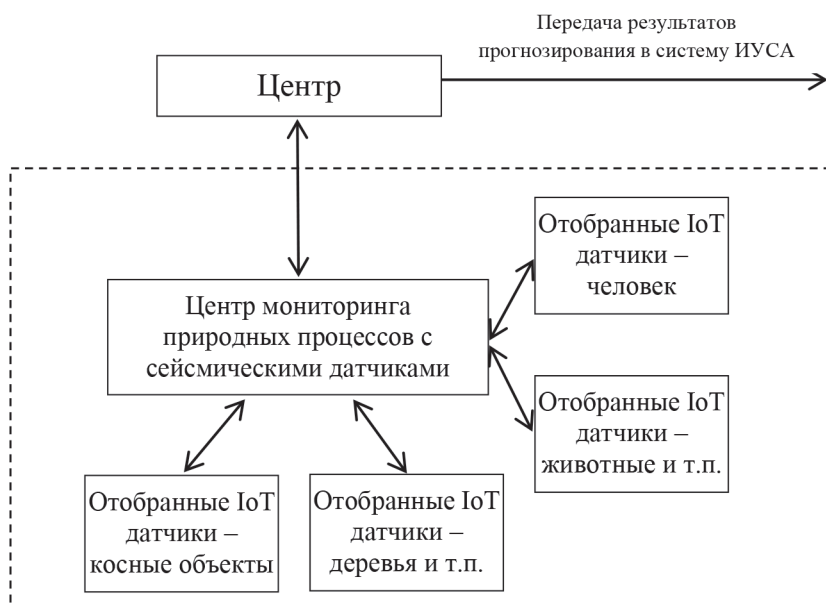


Рис. 1. Блок-схема гибридной сети мониторинга землетрясений

Сигналы – предвестники землетрясений модулируют синхронно периодические жизненные (естественные) процессы, которые протекают в датчиках IoT, входящих в панель. Сложение этих сигналов с сигналами сейсмодатчиков дает эффект синхронизации и позволяет уже на ранних этапах выявить наличие сигналов – предвестников землетрясений и их мощность, что позволит определить с достаточной точностью (от 2 ч до 10 мин) не только время наступления землетрясения, но и его силу и место эпицентра.

В случае, когда $T_k \approx 0$, сценарий предоставления услуг ИУСА, описанный для ситуаций $T_k \geq 10$ мин, дополняется следующими действиями:

- в аналитическом центре гибридной мониторинговой сети в результате обработки данных формируется информация о времени, силе и эпицентре землетрясений;
- эта информация по каналам связи, в том числе сотовой, в реальном времени передается на входы сенсорных объектовых сетей системы ИУСА [19];
- далее через датчики IoT информация поступает на терминалы абонентов, которые находятся в зоне землетрясения, и автоматически в абонентском устройстве пользователя вырабатываются индивидуальные управляющие сигналы: как лучше поступить в сложившейся ситуации, чтобы своевременно выйти из опасной зоны.

Таким образом, сценарий действия ИУСА для пользователя, который через короткое время может оказаться в зоне ЧС, действует даже при $T_k \approx 0$, т.е. при землетрясениях.

Проблему повышения эффективности краткосрочного предсказательного потенциала существующих систем мониторинга для техногенных и природных ЧС предлагается решить за счет широкого использования природных косных, живых (включая человека) и других объектов окружающей среды, трансформируемых в интернет вещей для фиксации сигналов наступившей или ожидаемой ЧС. Если в потенциально сейсмоактивном регионе ведется непрерывный мониторинг с помощью гибридной сети, которая фиксирует повышенную вероятность возникновения ЧС (с $T_k \approx 0$), то немедленно актуализировав развернутую в данном регионе систему ИУСА, можно избежать ощутимых потерь. Необходимо отметить, что эти технологии чисто российские и их приоритет зафиксирован и принят мировым сообществом [19, 21].

Предлагаемое решение позволит перевести в практическую плоскость получаемые сегодня результаты долгосрочных, среднесрочных и краткосрочных прогнозов, заметно снизив возможные экономические потери от недостоверных долгосрочных и среднесрочных прогнозов.

Описание системы дистанционного мониторинга для раннего обнаружения возникновения цунами

Среди мощных глобальных природных ЧС цунами для Дальневосточного региона РФ занимает особое место ввиду частоты их появления, разрушительных последствий и, как было отмечено выше, неэффективности существующих систем мониторинга и средств оповещения.

В случае с цунами систему гибридного мониторинга предлагается дополнить оборудованием для раннего обнаружения возникновения цунами, разработанным в РФ и производимым на заказ ООО «НИИР-Связь» (Ю.Н. Зарянов).

В состав комплекса вертикального зондирования ионосферы «Радуга-М» входят:

- 8-элементная приемная АФС;
- 8-элементная передающая АФС;
- 16-канальный радиопередающий тракт;
- 16-канальный радиоприемный тракт;
- система временной синхронизации;
- программа для решения задач обнаружения и обработки зондирующих сигналов;
- рабочее место оператора мониторинга ионосферных данных;
- источник бесперебойного питания.

В режиме вертикального зондирования (рис. 2) комплекс осуществляет:

- поиск и обеспечение работы ионозонда с минимальным уровнем помех в заданных частотных поддиапазонах;
- программное управление и формирование зондирующих сигналов с требуемой поляризацией и модуляцией;
- обработку зондирующих сигналов в автоматическом режиме;
- измерение зависимости действующей высоты отраженных ионосферой сигналов от частоты (получение ионограмм вертикального зондирования);
- выделение и классификацию высотно-частотных характеристик ионосферы;
- автоматическое построение профиля электронной концентрации и определение его параметров: высот и критических частот слоев E_r , E_s , $F1$, $F2$;
- измерение амплитудно-дальностных характеристик сигналов, отраженных от ионосферы;
- измерение доплеровских и фазовых характеристик отраженных сигналов.

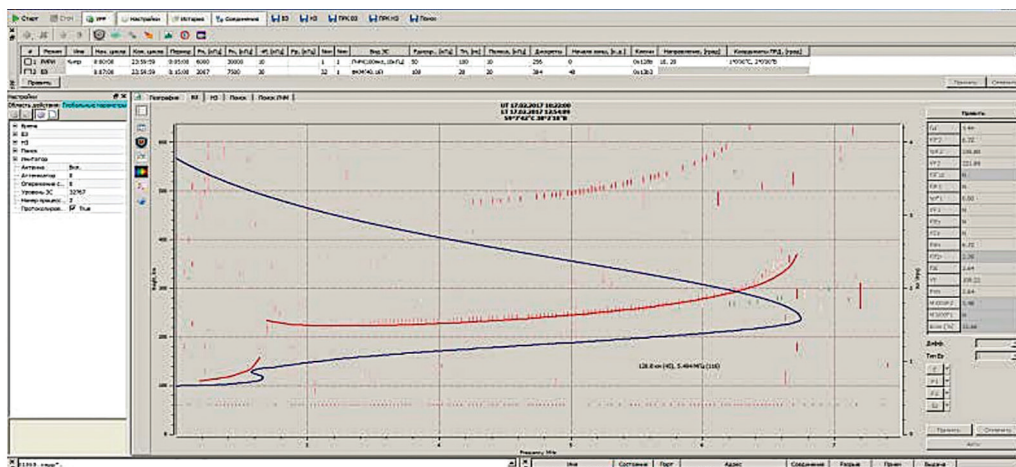


Рис. 3. Режим наклонного зондирования

Комплекс зондирования ионосферы «Радуга-М» в настоящее время является уникальным и одним из лучших в мире среди подобного оборудования. Это подтверждается сравнением характеристик российского и зарубежного оборудования [19] (см. таблицу).

Сравнение технических характеристик ионозондов

Характеристики	DPS-4 (США)	IPS-71 (Австралия)	Диназонд-21 (США)	Радуга-М (Россия)
Диапазон частот, МГц	1–30 ВЗ	1–20 ВЗ, 1–62 НЗ	0,1–30	1,5–30 ВЗ, НЗ
Импульсная мощность, Вт	2×150	50	4000	1000
Длительность излучаемого сигнала, мкс	533,33	Непрерывный ЛЧМ	100	10–500, Непрерывный ЛЧМ
Частоты повторения, Гц	50, 100	Девияция 100–500 кГц/с	50, 100	50–100

Уникальность российского оборудования заключается также в высокой разрешающей способности, которая позволяет фиксировать сигналы – предвестники землетрясений при их начальном возникновении в ионосфере.

Разрешающая способность оборудования достигает в ионосфере 50 м и позволяет наблюдать непрерывно за динамикой изменения полного электронного содержания в различных слоях ионосферы.

Необходимо отметить, что оборудование «Радуга-М» обладает также возможностью фиксировать предвестники землетрясений над океаном благодаря функции наклонного зондирования ионосферы. Для этого оборудование располагается через интервалы до 3000 км (например, на островах).

Оборудование ионосферной станции «Радуга-М» имеет свою систему коротковолновой связи, которая позволяет станциям работать в автоматическом режиме и передавать информацию о состоянии ионосферы на головную станцию и в интернет.

В системе «Радуга-М» предвестники землетрясения определяются на основе математической обработки сигнала резкого увеличения полной электронной концентрации (ТЕС) в слоях E_g, E_s, F₁, F₂ и затем резкого уменьшения ТЕС непосредственно перед землетрясением. Это позволяет с высокой вероятностью определять время, место и мощность сейсмического события.

Ионосферная станция в реальном масштабе времени может проводить дистанционный мониторинг параметров ионосферы акватории Тихого океана в радиусе до 3000 км

и фиксировать координаты поверхности океана, над которыми проводимость ионосферы резко повышается. Как показали исследования, такие явления могут быть предвестниками цунами. При совместной обработке методом синхронизации этих сигналов с сигналами других датчиков в гибридной системе мониторинга, развернутой на территории региона, можно обнаружить возникновение цунами и передать данные в региональный ситуационный центр, который автоматически сформирует задание для системы ИУСА в регионе и приведет в действие эту систему. Поэтому даже десяти минут хватит, чтобы с помощью индивидуализированного управления самоэвакуацией спасти значительное число людей, находящихся в зоне прогнозируемого затопления.

О создании опытного участка гибридной системы в ДВО РАН

Эффективность предлагаемых решений необходимо проверить испытаниями на опытных участках в сейсмически активных регионах, где развернуты мониторинговые системы и имеются квалифицированные научные кадры. Такой опытный участок в 2019 г. был развернут на Северном Кавказе и уже проведены первые испытания. Опытный участок создан совместно с ГЕОХИ РАН на геологической базе МГУ им. М.В. Ломоносова в пос. Нижний Унал в Северной Осетии [2]. Результаты первого этапа экспериментов на этом участке опубликованы в работе [20]. В качестве дополнительных датчиков в системах глобального мониторинга землетрясений нами было предложено использовать датчики, основанные на технологии интернета вещей, в которую можно трансформировать все косные и живые объекты среды, окружающей существующую станцию. Важно, что в каждом регионе должны быть выбраны косные и живые объекты, характерные для данного региона и наиболее чувствительные к ранним стадиям возникновения типичных для региона видов ЧС. Так, на полигоне на Северном Кавказе в первых сериях измерений использовали следующие дополнительные датчики: портативную систему мониторинга почвы Stevens Hydra Probe Field, датчик углекислого газа Vaisala GMT220, индикатор радона RADEX MR107, анализатор ртути УКР-1МЦ, портативный газоанализатор для мониторинга паров ртути в воздухе и других газах, датчик для определения окислительно-восстановительного потенциала Redox S406 DG, цифровой оптический датчик кислорода S423/C/OPT. Показания этих датчиков методом корреляции обрабатывались в реальном времени совместно с сигналами ближайших сейсмических станций и сигналами от комплекса зондирования ионосферы «Радуга-М».

Опытный участок предполагалось создать и на территории Республики Армения. Авторы предлагают также организовать опытный участок гибридной сети в Дальневосточном регионе – на Камчатке. Сигналы с измерительного пункта гибридной сети с использованием разных датчиков на базе интернета вещей в реальном времени должны поступать на одну из существующих в регионе сейсмостанций.

Развернуть сеть предоставления услуг системы ИУСА сравнительно несложно в рамках реализации программ развития в регионе системы широкополосного беспроводного доступа к сетям связи и реализации планов создания умных городов. Система ИУСА должна быть интегрирована в национальную программу «Цифровая экономика Российской Федерации» – платформу, на базе которой создается новая модель взаимодействия между бизнесом, властью, экспертным и научными сообществами для повышения конкурентоспособности России на глобальном уровне.

Создание опытного участка системы ИУСА на Камчатке и его успешное функционирование позволит поставить задачу внедрения системы в рамках всего Дальневосточного региона.

Внедрение предлагаемой системы решит несколько очень важных для региона задач: – заметно снизит риски человеческих и материальных потерь от глобальных ЧС и повысит рентабельность освоения природных ресурсов региона;

– придаст практическую значимость получаемых сегодня долгосрочных, среднесрочных и краткосрочных прогнозов ЧС, заметно снизив возможные экономические потери от недостоверных прогнозов. Это, в свою очередь, послужит обоснованием для выделения на развитие системы ИУСА не только бюджетных средств, но и средств бизнеса;

– позволит разработать уникальную, полностью российскую систему, востребованную внутри страны и имеющую большой экспортный потенциал.

Заключение

В качестве дополнительных датчиков в системах глобального мониторинга землетрясений нами предложено использовать датчики, основанные на технологии интернета вещей, в которые можно трансформировать все косные и живые объекты среды вблизи расположения сейсмической станции. В каждом отдельном регионе должны быть выбраны косные и живые объекты, характерные для данного региона и чувствительные к ранним стадиям возникновения типичных для региона видов ЧС.

Предлагаемая глобальная гибридная мониторинговая система благодаря совместной обработке сигналов, получаемых с датчиков разной физической природы, и сигналов с существующих сейсмических станций позволяет обеспечить более оперативное выявление наступающего землетрясения. При возникновении ЧС, предсказанной даже за малое время до начала катастрофической фазы, актуализация системы ИУСА поможет обеспечить эвакуацию людей в безопасное место, что заметно снизит человеческие потери от землетрясений.

Краткосрочные прогнозы, как правило, имеют высокую достоверность. Но даже в случае неверного прогноза заметных потерь для хозяйственной деятельности может не быть ввиду краткосрочности мероприятий по предотвращению потерь. В то же время относительно низкий на сегодняшний день предсказательный потенциал среднесрочных и долгосрочных прогнозов, несмотря на достаточное время до возникновения ЧС, не позволяет перевести хозяйственную инфраструктуру в режим ЧС (остановить производства, эвакуировать население) и вернуть ее в обычный режим работы в случае отбоя, так как это повлечет за собой огромные моральные и экономические потери. Поэтому все среднесрочные и долгосрочные прогнозы ученых сегодня практически во всех странах игнорируются. В предлагаемом нами решении проводимые исследования по долгосрочному и среднесрочному прогнозам приобретают хозяйственное значение.

На взгляд авторов, внедрение в сейсмоопасных регионах решений, предложенных в статье, и разработанных учеными ДВО РАН (так как именно учет региональных особенностей имеет ключевое значение) предложений по системам долгосрочного, среднесрочного и краткосрочного прогнозов [3, 4, 10, 11, 13 и др.], а также обеспечение в регионе (в первую очередь в городах) доступа массового пользователя к услуге системы индивидуализированного управления спасением людей (ИУСА) могут заметно снизить риск человеческих и материальных потерь от ЧС и повысить экономическую значимость проводимых здесь геофизических исследований.

Создаваемая система должна рассматриваться как одна из важных платформ реализуемой до 2024 г. национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации», на базе которой будет формироваться новая модель взаимодействия между экспертным и научным сообществами, бизнесом и властью для повышения конкурентоспособности России на глобальном уровне

ЛИТЕРАТУРА

1. Водянова А., Марапулец Ю. О логнормальном законе распределения частот в импульсах высокочастотной геоакустической эмиссии // Вестн. КРАУНЦ. Физ.-мат. науки. 2016. Т. 12, № 1. С. 48–54.

2. Ермаков В.В., Сарьян В.К. Развитие исследований по применению новых информационных технологий в экологическом мониторинге и биогеохимии // Докл. ТУСУР. 2018. Т. 21, № 3. С. 129–134.
3. Закупин А.С., Богомолов Л.М., Богинская Н.В. Применение методов анализа сейсмических последовательностей LURR и СРП для прогноза землетрясений на Сахалине // Геофиз. процессы и биосфера. 2020. № 19 (1). С. 66–78.
4. Закупин А.С., Левин Ю.Н., Богинская Н.В., Жердева О.А. Развитие методов среднесрочного прогноза на примере Онорского землетрясения на Сахалине ($M_w = 5.8$, 14 августа 2016 года) // Геология и геофизика. 2018. № 11. С. 1904–1911.
5. Кузнецов В.В. Физика землетрясения и сопутствующих ему явлений в литосфере, атмосфере, ионосфере и магнитосфере / Ин-т нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН. – www.vvkuz.ru/books/phys.eart.pdf (дата обращения: 28.04.2020).
6. Любушин А.А. Анализ микросейсмического шума дал возможность оценить магнитуду, время и место сейсмической катастрофы в Японии 11 марта 2011 г. // Наука и технол. разработки. 2011. № 1. С. 3–12.
7. Любушин А.А. Сейсмическая катастрофа в Японии 11 марта 2011 года. Долгосрочный прогноз по низко-частотным микросейсмам // Геофиз. процессы и биосфера. 2011. Т. 10, № 1. С. 9–35. – Перевод: Lyubushin A.A. Seismic Catastrophe in Japan on March 11, 2011: Long-term prediction on the basis of low-frequency microseisms // Izvestiya. Atmospheric and Oceanic Physics. 2011. Vol. 47, N 8. P. 904–921. – www.link.springer.com/article/10.1134/4%2FS0001433811080056.
8. Марапулец Ю.В., Тристанов А.Б. Разреженная аппроксимация акустических временных рядов с использованием частотно-временного словаря Берлаге // Тр. Рос. науч.-техн. об-ва радиотехники, электроники и связи им. А.С. Попова: Цифровая обработка сигналов и ее применение. 2012. Вып. 14, № 1. С. 91–94.
9. Новоселов О.Н. Новые методы идентификации и анализа состояния природных объектов по данным мониторинга / Мос. гос. ун-т леса. М., 2008. – www.d33.infospace.ru/d33_conf/2008_conf_pdf/SMY/Novoselov.pdf (дата обращения: 28.04.2020).
10. Полец А.Ю. Глубокофокусные землетрясения и тектоническое поле современных напряжений в Курило-Охотском регионе // Вестн. ДВО РАН. 2017. № 1 (191). С. 26–37.
11. Рыбин А.В., Чибисова М.В., Дегтерев А.В., Гурьянов В.Б. Вулканическая активность на Курильских островах в XXI веке // Вестн. ДВО РАН. 2017. № 1 (191). С. 51–61.
12. Сердюков А.С., Татаурова А.А., Кулаков И.Ю. и др., Исследование глубинного строения южной части Сахалина методом сейсмографии // Вестн. ДВО РАН. 2017. № 1 (191). С. 43–50.
13. Тихонов И.Н., Закупин А.С. Ретроспективная оценка применимости двухэтапной схемы краткосрочного прогнозирования землетрясений ($M \geq 5$) Южного Сахалина по данным детального каталога // Вестн. ДВО РАН. 2016. № 1 (185). С. 58–66.
14. Требования к сейсмическим сетям и станциям, интегрируемым в Федеральную сеть сейсмологических наблюдений / Фед. исслед. центр «Единая геофиз. служба РАН». – www.ceme.gsras.ru/new/struct/files/Requirements_seismic_stations.pdf (дата обращения: 28.04.2020).
15. Butenko V., Nazarenko A., Sarian V. et al. Applications of wireless sensor networks in next generation networks: technical paper / International Telecommunication Union (ITU). 2014. Vol. 28. P. 94–97.
16. Butenko V., Nazarenko A., Sarian V. et al. Personal safety in emergency // Innovative application for mobile phones ITU news. 2012. N 3. P. 47–49.
17. Filatov D.M., Lyubushin A.A. Precursory Analysis of GPS Time Series for Seismic Hazard Assessment // Pure and Applied Geophysics. First Online. 2019. Vol. 177 (1). P. 509–530. – www.doi.org/10.1007/s00024-018-2079-3.
18. Lyubushin A. Synchronization of Geophysical Fields Fluctuations // Complexity of Seismic Time Series: Measurement and Applications / eds T. Chelidze, F. Vallianatos, L. Telesca. Amsterdam, Oxford, Cambridge: Elsevier, 2018. Ch. 6. P. 161–197. – www.doi.org/10.1016/B978-0-12-813138-1.00006-7.
19. Sarian V. Earthquakes and Waterfloods Monitoring System with the Application of the Internet of Things (IoT). Workshop on APEC TEL58 Taipei. Chinese Taipei. 1 Oct. 2018. – www.apec-epwg.org/media/2289/16bed26f89ad133a998a79813e0c4bd4.pdf (дата обращения: 22.05.2020).
20. Sarian V.K., Nazarenko A.P., Mkrtchyan A.R., Ermakov V.V., Lyubushin A.A., Meshcheryakov R.V. Hybrid monitoring systems for global processes. The results of the experiment at the first point of the hybrid system // Armenian J. Phys. 2020. Vol. 13 (3). P. 243–254.
21. Sarian V., Nazarenko A. Mass service of individualized control for the population rescue in the event of all kinds of emergency situation // 4th ITU Workshop on Network 2030, Saint Petersburg, Russia, 21–23 May 2019. – www.itu.int/en/ITU-T/Workshops-and-Seminars/201905/Documents/Sarian_Nazarenko_Presentation.pdf (дата обращения: 22.05.2020).

К.С. ВАЙНУТИС, А.Н. ВОРОНОВА

Исследование гельминтофауны реки Болотная и пойменного озера близ поселка Соловей-Ключ (Надеждинский район, Приморский край)

Изучена гельминтофауна бесхвостых земноводных и рыб р. Болотная, впадающей в пойменное озеро, находящийся непосредственно у пос. Соловей-Ключ в Надеждинском районе Приморского края. Методом полного гельминтологического вскрытия исследованы 9 видов водных животных (95 экземпляров), заражение выявлено у представителей 4 видов: ротана-головёйки *Perccottus glenii* Dybowski, 1877, голяна Лаговского *Rhynchocypris lagowskii* (Dybowski, 1869), сибирского гольца *Barbatula toni* (Dybowski, 1869), дальневосточной лягушки *Rana dybowskii* Günther, 1876. Зарегистрировано 6 видов паразитических червей: Trematoda – *Azygia hwangtsiyui* Tsin, 1933, *Phyllodistomum* sp. (метацеркарии и зрелые особи); Nematoda – *Cosmocerca* sp., *Oswaldocruzia filiformis* (Goeze, 1782), *Rhabdias bufonis* (Schränk, 1788) Stiles et Hassall, 1905; Cestoda – *Proteocephalus* sp. Определена экстенсивность и интенсивность инвазии указанных гельминтов. Наибольший процент встречаемости отмечен для трематод *Azygia* sp. в желудке *P. glenii*, нематод *Cosmocerca* sp. и *O. filiformis* в желудке и кишечнике *R. dybowskii* и цестод *Proteocephalus* sp. в желудке и кишечнике *R. dybowskii*. Ввиду того что данный хорошо прогреваемый эвтрофицированный водоем с большим количеством моллюсков совершенно не изучен, при тщательном исследовании не исключается обнаружение опасных для человека видов.

Ключевые слова: гельминты, Trematoda, Nematoda, Cestoda, дальневосточная лягушка, ротан-головёшка, амурский голянец, р. Болотная, Приморский край.

Study of helminth fauna in the Bolotnaya River and floodplain lake near the Solovey-Klyuch village (Nadezhdinsky District, Primorsky Region). K.S. VAINUTIS, A.N. VORONOVA (Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity, FEB RAS, Vladivostok).

We have studied helminth fauna of anuran amphibians and fish from the Bolotnaya River flowing into the floodplain lake located close to the Solovey-Klyuch village in the Nadezhdinsky District (Primorsky Region, Russia). Using the method of complete helminthological autopsy examined ones are 9 species of aquatic animals (95 specimens), among which only 4 species were infected with following helminths: Chinese sleeper *Perccottus glenii* Dybowski, 1877; Amur minnow *Rhynchocypris lagowskii* (Dybowski, 1869); stone loach *Barbatula toni* (Dybowski, 1869); Dybowski's frog *Rana dybowskii* Günther, 1876. We recorded 6 species of parasitic worms: Trematoda – *Azygia hwangtsiyui* Tsin, 1933, *Phyllodistomum* sp. (metacercariae and adult individuals); Nematoda – *Cosmocerca* sp., *Oswaldocruzia filiformis* (Goeze, 1782), *Rhabdias bufonis* (Schränk, 1788) Stiles et Hassall, 1905; Cestoda – *Proteocephalus* sp. Prevalence and intensity of infestation were estimated for the helminths mentioned above: the highest percentage of occurrence was noted for the trematode species *Azygia hwangtsiyui* in the stomach of *P. glenii*, nematodes *Cosmocerca* sp. and *O. filiformis* in the stomach and intestine of *R. dybowskii*, and cestodes *Proteocephalus* sp. in the stomach and intestine of *R. dybowskii*. Given that this well-warmed, eutrofied pond, comprising a large number of mollusks, has not been studied previously, a thorough study does not exclude the finding of the dangerous species for humans.

Key words: helminths, Trematoda, Nematoda, Cestoda, Dybowski's frog, Chinese sleeper, Amur minnow, Bolotnaya River, Primorsky Region.

*ВАЙНУТИС Константин Сергеевич – младший научный сотрудник, ВОРОНОВА Анастасия Николаевна – кандидат биологических наук, научный сотрудник (Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН, Владивосток). *E-mail: vainutisk@gmail.com

Исследование выполнено по теме НИР в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Введение

Большее половины человеческой популяции на Земле заражено различными паразитами, многие из которых являются эндопаразитами – гельминтами. К гельминтам относят представителей плоских червей цестод (класс ленточных червей *Cestoda Rudolphi*, 1809) и трематод (класс сосальщиков *Trematoda Rudolphi*, 1809), круглых червей (*Nematoda Rudolphi*, 1809). Существует очень много способов проникновения гельминтов в организм человека, например через пищевые продукты (плохо промытые овощи, фрукты, зелень, термически недостаточно обработанные мясо или рыба, в случае хранения готового продукта без защитной упаковки яйца нематод могут быть занесены мухами). Гельминтозы относятся к зоонозным инфекциям и широко распространены среди диких, сельскохозяйственных, домашних животных, синантропных грызунов (домовые крысы, мыши). Природно-очаговые зоонозные инфекции характеризуются способностью возбудителей длительное время сохраняться во внешней среде на отдельных территориях – природных очагах. Формирование и поддержание устойчивых жизненных циклов гельминтов возможно только при смене соответствующих первых и вторых промежуточных и окончательных (дефинитивных) хозяев (у трематод). Последние в свою очередь становятся источниками и переносчиками паразитических инфекций. При выпадении какого-либо звена жизненные циклы паразитов разрываются, но сохраняется возможность их восстановления при благоприятных условиях. Вследствие этого заболеваемость природно-очаговыми инфекциями ликвидировать практически невозможно, поэтому необходимо вести регулярный мониторинг гельминтофауны окончательных хозяев. Наше внимание привлекло небольшое озеро, находящееся в 1 км от поселка Соловей-Ключ (Надеждинский район, Приморский Край), – в летний период популярное, несмотря на неблагоустроенность, место активного отдыха. Ранее паразитологические исследования здесь не проводились. Новые данные позволят оценить экологическое состояние системы, спрогнозировать дальнейшее ее развитие.

Целью исследования является изучение гельминтофауны рыб и амфибий – основных видов-резидентов р. Болотная и пойменного озера в долине р. Болотная в Надеждинском районе на юге Приморского края.

Материал и методы

В основу работы положены результаты собственных исследований, проведенных в октябре–ноябре 2018 г., апреле–июне 2019 г. в р. Болотная и пойменном озере в ее долине (Надеждинский район Приморского края, 43°23'22,3" с.ш. 132°02'07,3" в.д.). Всего в этих водоемах было обнаружено 7 видов рыб – ротан-головешка, или ротан (*Perccottus glenii*), голян Лаговского, или амурский голян (*Rhynchocypris lagowskii*), озерный голян (*R. percunurus*), сибирский голец (*Barbatula toni*), щиповка (*Cobitis taenia*), горчак (*Rhodeus sericeus*), пескарь (*Gobio gobio*); 1 вид амфибий – дальневосточная лягушка (*Rana dybowskii*); 1 вид речных раков (*Cambaroides* sp.). На исследуемом участке ротаны, щиповки, озерные голяны и горчаки встречались исключительно в озере, а место обитания голянов Лаговского, пескарей и сибирских голец было ограничено р. Болотная.

При обследовании 83 половозрелых рыб и 10 половозрелых амфибий методом полного гельминтологического вскрытия [16] найдены 2 вида трематод, 1 вид цестод и 3 вида нематод (см. таблицу). Сбор, фиксацию и камеральную обработку гельминтологического материала проводили общепринятыми методами [5]. Пособием для видовой диагностики гельминтов послужили монографии К.И. Скрябина с соавт. [15], К.М. Рыжикова с соавт. [13], В.Е. Сударикова с соавт. [23]. Количественный учет гельминтов (экстенсивность и интенсивность инвазии, индекс обилия) вели общепризнанными методами [4, 11]. Данные статистически обработали в программе Microsoft Office Excel 2007.

Результаты

Из всех обнаруженных в р. Болотная и пойменном озере рыб зараженными оказались только ротан, голян Лаговского и сибирский голец (см. таблицу).

Наибольшая зараженность отмечена у ротана трематодами *Azygia hwangtsiyui*. За весь период исследований (октябрь 2018 г. – июнь 2019 г.) средняя экстенсивность инвазии ротанов составила 88,8 %: 100 % (28.10.18), 100 (03.11.18), 77,7 (13.04.19), 100 % (16.06.2019). Число обнаруженных особей *A. hwangtsiyui* – 2–20 трематод на 1 рыбу. Интенсивность инвазии *A. hwangtsiyui* составила: 6 трематод (28.10.2018), 8 (03.11.2018), 7 (13.04.2019), 6 (16.06.19); средняя интенсивность инвазии – 7 трематод на 1 рыбу. Средний индекс обилия – 6 трематод на 1 рыбу.

Кроме того, в весенний период (13.04.2019) из девяти ротанов два были заражены ювенильными особями *Phyllodistomum parasiluri*, экстенсивность инвазии составила 22,2 %, интенсивность инвазии – 1 трематода на 1 рыбу, индекс обилия крайне низкий, меньше 1 особи на 1 рыбу. Экстенсивность инвазии *P. parasiluri* у голянов Лаговского была 100%-й в осенний период (03.11.18), число обнаруженных особей *P. parasiluri* варьировало в диапазоне 1–8 метацеркарий на одну рыбу; интенсивность инвазии *P. parasiluri* составила 3 метацеркарии на рыбу; индекс обилия – 3 метацеркарии на одну рыбу.

Обобщенная сводка по гельминтологическому материалу, собранному в пойменном озере и в р. Болотная (Надеждинский район, Приморский край) в октябре 2018 г. – июне 2019 г.

Паразит	n	Хозяин	Водоём
Трематода: подкласс Digenea Carus, 1863			
Сем. Azygiidae Odhner, 1911 <i>Azygia hwangtsiyui</i>	120 (57 %)	<i>Perccottus glenii</i>	Озеро
Сем. Gorgoderidae Looss, 1899 <i>Phyllodistomum parasiluri</i> зрелые	28 (13 %) 4	<i>P. glenii</i>	Озеро
метацеркарии	24	<i>Rhynchocypris lagowskii</i>	Река
Nematoda: класс Chromadorea Inglis, 1983			
Сем. Cosmocercidae Railliet, 1916 <i>Cosmocerca</i> sp.	18 (9 %)	<i>Rana dybowskii</i>	Река, озеро
Сем. Rhabdiasidae Railliet, 1915 <i>Rhabdias bufonis</i>	3 (1 %)	<i>R. dybowskii</i>	-«-
Сем. Molineidae Skrjabin et Schulz, 1937 <i>Oswaldocruzia filiformis</i>	22 (10 %)	<i>R. dybowskii</i>	-«-
Cestoda: подкласс Eucestoda Southwell, 1930			
Сем. Proteocephalidae La Rue, 1911 <i>Proteocephalus</i> sp.	4 (2 %) 16 (8 %)	<i>Barbatula toni</i> <i>R. dybowskii</i>	Река Река, озеро

Из 10 обследованных амфибий в летний период (16.06.2019) только 6 оказались зараженными гельминтами, преимущественно нематодами (Cestoda – 1 вид, Nematoda – 3 вида). Экстенсивность инвазии *Cosmocerca* sp. составляет 100 %, 1–6 особей на 1 лягушку; интенсивность инвазии – 3, индекс обилия – 2 нематоды на 1 лягушку. Экстенсивность инвазии *Oswaldocruzia filiformis* тоже равнялась 100 %; интенсивность инвазии – 3, индекс обилия – 2 нематоды на 1 лягушку. В меньшем количестве и лишь в двух лягушках из шести зараженных была обнаружена нематода *Rhabdias bufonis*: экстенсивность инвазии – 20 %, интенсивность инвазии – 1 нематода на 1 лягушку, индекс обилия низкий, меньше одной особи.

Характер заражения цестодой *Proteocephalus* sp., обнаруженной у представителей двух классов позвоночных, определялся их развитием в том или ином хозяине. Так, у *B. toni*

зараженность составила 1–2 паразита на 1 рыбу (13.04.2019), тогда как у *R. dybowskii* – 1–4 на 1 лягушку (16.06.2019). Из всей выборки *B. toni* (7 особей) были заражены 3 рыбы, и экстенсивность инвазии равнялась 42,8 %, в то время как в случае *R. dybowskii* она была 100%-й. Интенсивность инвазии *Proteocephalus* sp. – 1 цестода на 1 рыбу и 2 на 1 лягушку, индекс обилия – менее 1 на 1 рыбу и 1 на 1 лягушку.

Обсуждение

Небольшое пойменное озеро в долине р. Болотная является излюбленным местом активного отдыха, проведения культурных мероприятий, рыбной ловли (начиная с апреля и вплоть до конца ноября) для жителей близлежащего пос. Соловей-Ключ, а также для многих приезжих из Надеждинского и соседних районов, несмотря на общее загрязненное состояние водоема и впадающий в него ручей со стороны местного кладбища. В озеро постоянно поступают биогенные элементы – фосфор и азот, происходит эвтрофикация. Паразиты взаимодействуют сложным образом со своими хозяевами и с окружающей средой, факторы которой выступают для них в качестве стрессоров. Загрязняющие вещества могут: а) способствовать увеличению числа паразитов при повышенной восприимчивости хозяев из-за ослабления их местного иммунитета [38] или увеличения количества промежуточных хозяев, и наоборот, б) уменьшать паразитическую нагрузку, если паразиты оказываются более восприимчивыми к загрязнению, чем их хозяева, или если загрязняющие вещества негативно влияют на промежуточных хозяев [36]. Так, например, С.А. Беэр и С.М. Герман [3] описали, как эвтрофикация улучшила условия для жизни улиток, что в сочетании с благополучием популяции городских крякв (адаптировавшихся к городской среде) ускорило прохождение жизненного цикла шистосомы *Trichobilharzia ocellata*. В нашем случае влияние стрессоров было скорее позитивное, о чем свидетельствует процветание популяций исследуемых групп паразитов. Вода в озере продолжительное время сохраняется теплой, что способствует росту общей первичной продуктивности экосистемы и обеспечивает дополнительную пищу и среду обитания многочисленным популяциям улиток, которые служат первыми промежуточными хозяевами для множества видов сосальщиков. Поскольку озеро долгое время свободно ото льда, это привлекает перелетных птиц, выступающих дефинитивными хозяевами для множества гельминтов. Таким образом, исследуемое пойменное озеро является постоянным очагом гельминтной инвазии, которая распространяется как с птицами, так и по речной системе Болотной – достаточно протяженной реки, впадающей в р. Кневичанка в Артемовском городском округе. Далее воды р. Кневичанка поступают в бассейн р. Артемовка с последующим выходом в Муравьиную бухту Уссурийского залива Японского моря.

Попутно об еще одном аспекте влияния паразитов на экологические взаимоотношения в водоемах. Замечено, что интродуцированные виды рыб зачастую получают преимущество, если их паразиты могут оказаться более вирулентными для восприимчивых популяций местных рыб или, наоборот, если интродуценты «не захватят с собой» паразитов из прежнего ареала и при этом не инфицируются уже персистирующими в новой экосистеме гельминтами [36].

Далее рассмотрим виды паразитов, обнаруженных нами, их хозяев и способы заражения.

Трематоды *Azygia* sp., *A. lucii*, *A. hwangtsiyui* (азигии) и *Phyllodistomum* sp. ранее были отмечены в составе паразитофауны ротана [19–21].

Из указанных видов на территории Приморья находили *A. hwangtsiyui* в змееголовах *Channa argus* в р. Комиссаровка (бассейн оз. Ханка) и р. Арсеньевка (приток р. Уссури), представляющих единую речную систему [2, 19, 22], а также в ротанах из рек бассейна оз. Ханка [2, 19]. Не исключено, что ротан, зараженный *Azygia*, мог быть интродуцирован в бассейн Болотной. Известно, что азигии способны причинять рыбам существенный вред.

Так, индийские исследователи предоставили данные, указывающие, что трематода *Azygia angusticauda* повреждает внутренние ткани кишечника карликового змеоголова *Channa gachua* [33], который является объектом промысла во многих азиатских странах [42]. То же при интенсивной инвазии может ожидать змеоголова *C. argus*, который распространен в речной системе Комиссаровка–Ханка–Уссури–Амур и также является объектом рыбной ловли. Смертность рыб при инвазии азигиями зафиксирована не была, тем не менее повреждение / разрыв органов пищеварительного тракта рыбы может вызвать некроз тканей.

Метацеркарии *Phyllodistomum parasiluri* в печени голяна как второго промежуточного хозяина нами обнаружены впервые. Ранее находили только половозрелые особи *P. folium* у голянов в реках европейской части России [6, 7], а также *Phyllodistomum* sp. у ротана из озера вблизи р. Барабашевка в Хасанском районе Приморского края, что для той местности было первой находкой этого паразита у этого хозяина [19]. По нашим данным, экстенсивность инвазии *P. parasiluri* наибольшая в р. Болотная у голянов Лаговского в осенний период. Также многочисленные метацеркарии встречались в голяне Лаговского в весенне-летний период. Возможно, что в жизненном цикле *P. parasiluri* лето является периодом развития половозрелых особей. Сезонность инвазии голянов метацеркариями и ротанов половозрелыми особями паразита приходится на период с апреля (после таяния льда на водоемах, при температуре +5–10 °С) по ноябрь (до снижения температуры ниже +10 °С), когда рыба наиболее активна. Единственный способ заражения ротана этой трематодой – перемещение голянов из р. Болотная в озеро, что обычно происходит при увеличении уровня реки после дождя. В этом случае ротаны поедают голянов, зараженных метацеркариями, и становятся окончательными хозяевами *P. parasiluri*. Неизвестно, приводит ли инвазия рыб видами рода *Phyllodistomum* к летальному исходу. По нашим наблюдениям, печень голянов, зараженных метацеркариями *P. parasiluri*, отличалась более рыхлой, чем у здоровых рыб, структурой, а также бледным цветом и небольшими красноватыми участками в местах поражения органа личинками. Известно, что заражение мочеиспускательного канала голецов трематодой *P. umblae* может повлечь переход хозяина из пресноводных систем в морские [26], т.е. привести к сильному сокращению численности рыб и соответственно нарушению устоявшихся трофических связей обитателей водоема. Мы предполагаем, что повреждения тканей печени голянов при заражении *P. parasiluri* аналогично могут являться одной из причин перехода рыб из реки в озеро.

Нематоды из родов *Cosmocerca*, *Rhabdias* и *Oswaldocruzia* паразитируют чаще всего в лягушках (например, из рода настоящих лягушек *Rana*), но имеется немало случаев обнаружения их в рептилиях [28–31, 35, 37, 39, 41, 43, 44]. Эти паразиты распространены повсеместно как на территории России, так и по всему миру. В Приморье их видовое разнообразие не очень высокое, в литературе приводится лишь несколько видов: *Cosmocerca* sp., *Cosmocercoides pulcher*, *Rhabdias agkistrodonis*, *R. bufonis*, *R. horiguti*, *Oswaldocruzia filiformis*, *O. gozei* [8–10, 13–15, 17, 24]. Однако, учитывая высокую инвазионную способность *Cosmocerca* и *Oswaldocruzia*, нет сомнений, что оно более высокое, нежели указывалось ранее. Нематоды могут обитать на любой территории, где есть водоем. При условии, что зараженные животные перемещаются на дальние расстояния, яйца паразитов появляются в новых местах. В нашем случае весной и летом лягушки активно мигрируют из озера в р. Болотная и обратно, откладывают икру в любом из этих водоемов, в летний период лягушки чаще встречаются по берегу реки. Обнаружено, что у наиболее молодых лягушек зараженность нематодами наименьшая или отсутствует и что нематоды *Cosmocerca* sp. и *Oswaldocruzia filiformis* численно преобладают над *Rhabdias bufonis*, что говорит о возможной конкуренции червей в кишечнике хозяина. Механизмы жизнедеятельности вида *R. bufonis*, вероятно, слабее, судя по низкому показателю индекса обилия этих червей, несмотря на то что данный вид широко распространен на территории Евразии. Чтобы подтвердить данную гипотезу, необходимо исследовать большее число окончательных хозяев этого вида в р. Болотная и выяснить, закономерны ли показатели экстенсивности инвазии в данном ареале.

Цестода *Proteocephalus* sp. (протеоцефалиды) является весьма распространенным полигостальным гельминтом пресноводных рыб. Ранее были зафиксированы случаи обнаружения нескольких видов *Proteocephalus* в рыбах рода *Barbatula* на юге о-ва Сахалин и на юго-востоке Чешской Республики [18, 34, 40]. В нашем исследовании показатели интенсивности инвазии и индекса обилия *Proteocephalus* sp. в сибирском гольце весьма низкие, однако эти значения возрастают примерно в два раза при инвазировании этой цестодой дальневосточных лягушек. Известен случай обнаружения половозрелых червей *P. papuensis* в кишечнике лягушки *Sylvirana supragrisea* в Папуа – Новой Гвинее [27]. Первыми промежуточными хозяевами протеоцефалид являются мелкие ракообразные: циклопы, бокоплав, клadoцеры [1, 12]. В нашем исследовании находка цестод *Proteocephalus* одновременно в двух хозяевах подтверждает полигостальный статус этих паразитов. Многочисленные мелкие ракообразные входят в пищевой рацион лягушек, равно как и многих пресноводных рыб, следовательно, лягушки *R. dybowskii* в р. Болотной заражаются цестодой *Proteocephalus* sp. при поедании ракообразных. Кроме того, этот вид лягушек может поедать рыбную молодь и небольших рыб (например, сибирских гольцов), поэтому возможна вторичная инвазия *R. dybowskii* цестодами. Дальнейшее распространение протеоцефалиды по системе рек Болотная–Кневичанка–Артемовка грозит заражением и гибелью промысловых видов рыб в рыбоводческих хозяйствах [25, 32].

Заключение

Полученные данные по экстенсивности и интенсивности инвазии шести видов гельминтов пойменного озера и р. Болотная в Надеждинском районе Приморского края указывают на благоприятные условия для размножения паразитов в этих водоемах, которые, вероятно, могут служить местом обитания для множества других гельминтов, в том числе опасных для человека.

Учитывая наши результаты и литературные данные, мы предполагаем, что обнаруженные виды трематод *A. hwangtsiyui* и *P. parasiluri* были занесены в р. Болотная искусственно, на что указывает первоначальное обнаружение этих паразитов в реках Китая и Японии соответственно. А поскольку р. Болотная соединяется с бассейном р. Артемовка и не имеет связи с системой р. Амур, в которой, в частности, был отмечен *A. hwangtsiyui* из р. Комиссаровка и собственно р. Амур (его младший синоним – *A. amuriensis*), не исключено, что ротаны, зараженные этим видом, были интродуцированы в р. Артемовка или один из ее притоков.

В дальнейшем необходимо более детально изучить разнообразие малакофауны озера (определение видовой принадлежности и степени зараженности, исследование выделяемых церкарий в условиях эксперимента), так как пресноводные моллюски, брюхоногие и двустворчатые, являются первыми промежуточными хозяевами для всех трематод без исключения.

Данное хорошо прогреваемое эвтрофицированное озеро – идеальное место для становления полноценных жизненных циклов практически любых гельминтов: печеночных, кошачьих сосальщиков, альвеококка, филярий и т.д. На территории, окружающей озеро, в том числе в пос. Соловей-Ключ, в избытке разнообразных кандидатов в окончательные хозяева гельминтов: кошек, собак, домашнего скота, способных переносить яйца паразитов на дальние расстояния. Вода из озера может использоваться для полива огородов. Учитывая это, а также стремительное строительство жилой и социальной инфраструктуры близ Соловей-Ключа, можно утверждать, что очищение озера от органических отходов, используемых моллюсками в пищу, актуально и является одним из возможных способов решения проблемы возникновения природного очага гельминтных инвазий. Например, в Японии как следствие искусственного сокращения численности моллюсков в период с 1960 по 1975 г. прекратились случаи заражения людей шистосомозом [45].

Авторы выражают признательность заведующему лабораторией паразитологии ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН доктору биологических наук Владимиру Владимировичу Беспрозванных за оказанную помощь при написании настоящей статьи и замечания, которые помогли ее улучшить.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аникиева Л.В., Малахова Р.П., Иешко Е.П. Экологический анализ паразитов сиговых рыб. Л.: Наука, 1983. 167 с.
2. Беспрозванных В.В. Жизненные циклы трематод *Azygia hwangtsiyui* и *A. robusta* (Azygiidae) в условиях Приморского края // Паразитология. 2005. Т. 39, № 4. С. 278–284.
3. Беэр С.А., Герман С.М. Экологические предпосылки обострения ситуации по церкариозам в городах России (на примере Московского региона) // Паразитология. 1993. Т. 27, № 6. С. 441–449.
4. Бреев К.А. Применение математических методов в паразитологии // Проблемы изучения паразитов и болезней рыб. Л., 1976. С. 109–126. (Изв. ВНИОРХ; т. 105).
5. Быховская-Павловская И.Е. Паразиты рыб. Руководство по изучению. Л.: Наука, 1985. 123 с.
6. Доровских Г.Н., Степанов В.Г., Шергина Н.Н. Паразитофауна и микобиота гольяна *Phoxinus phoxinus* (L.) из водоемов северо-востока европейской части России. Сыктывкар: Изд-во Сыктывкар. гос. ун-та, 2009. 114 с.
7. Доровских Г.Н., Степанов В.Г. Паразитофауна и структура компонентных сообществ паразитов гольяна *Phoxinus phoxinus* (L.) из рек Море-ю и Кара и озера Кривое на острове Колгуев // Арктика и Север. 2013. № 12. С. 166–172.
8. Ермоленко А.В. Паразиты рыб пресноводных водоемов континентальной части бассейна Японского моря. Владивосток: ДВО РАН, 1992. 237 с.
9. Кузьмин С.Л. Земноводные бывшего СССР. М.: Тов-во науч. изд. КМК, 1999. 298 с.
10. Кузьмин С.Л., Маслова И.В. Земноводные Российского Дальнего Востока. М.: Тов-во науч. изд. КМК, 2005. 434 с.
11. Млынар Е.В., Трускова Г.М., Хованский И.Е. Экологические факторы зараженности амурского язя *Leuciscus waleckii* метацеркариями трематод в бассейне реки Амур // Соврем. пробл. науки и образования. 2016. № 3. – <https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=24560>.
12. Русинек О.Т. Цикл развития *Proteocephalus thymalli* (Cestoda, Proteocephalidae) – паразита сибирского хариуса озера Байкал // Паразитология. 1989. Т. 23, № 6. С. 518–523.
13. Рыжиков К.М., Шарпило В.П., Шевченко Н.Н. Гельминты амфибий фауны СССР. М.: Наука, 1980. 275 с.
14. Скарбилович Т.С. К познанию гельминтофауны амфибий и рептилий Южной Киргизии // Тр. ГЕЛАН. 1950. № 4. С. 108–132.
15. Скрябин К.И., Шихобалова Н.П., Соболев А.А., Парамонов А.А., Судариков В.Е. Камалланаты, рабдитаты, тиленхаты, трихоцефалаты, диоктофиматы и распределение паразитических нематод по хозяевам. М.: Изд-во АН СССР, 1954. 927 с. (Определитель паразитических нематод; т. 4).
16. Скрябин К.И. Метод полных гельминтологических вскрытий позвоночных, включая человека. М.: Изд-во МГУ, 1928. 45 с.
17. Скрябин К.И., Шихобалова Н.П., Ладоговская Е.А. Оксигураты животных и человека. Ч. 2. М.: Изд-во АН СССР, 1961. 499 с. (Основы нематодологии; т. 10).
18. Соколов С.Г., Атрашкевич Г.И., Протасова Е.Н., Фролова С.Е., Шедько М.Б. Новые данные о паразитах рыб внутренних водоемов о. Сахалин // Вестн. СВНЦ ДВО РАН. 2014. Т. 4. С. 85–94.
19. Соколов С.Г. Новые данные о паразитофауне ротана *Percottus glenii* (Actinopterygii: Odontobutidae) в Приморском крае с описанием нового вида микроспоридий рода *Muxidium* (Мухозоа: Мухидиidae) // Паразитология. 2013. Т. 47, № 1. С. 77–99.
20. Соколов С.Г., Протасова Е.Н., Решетников А.Н., Шедько М.Б. Паразиты ротана *Percottus glenii* (Actinopterygii: Odontobutidae), интродуцированного в водоемы европейской части России // Успехи соврем. биологии. 2012. Т. 132, № 5. С. 477–492.
21. Соколов С.Г., Жуков А.В. Разнообразие паразитов ротана *Percottus glenii* Dybowski 1877 (Actinopterygii: Perciformes) в условиях крупномасштабного расширения ареала хозяина // Изв. РАН. Серия биол. 2016. Т. 4. С. 322–328.
22. Стрелков Ю.А. Дигенетические сосальщики рыб бассейна Амура // Паразитол. сб. ЗИН АН СССР. Л.: Наука, 1971. Т. 25. С. 120–139.
23. Судариков В.Е., Шигин А.А., Курочкин Ю.В., Ломакин В.В., Стенько Г.П., Юрлова Н.Н. Метацеркарии трематод – паразиты гидробионтов России. Т. 1. Метацеркарии трематод – паразиты пресноводных гидробионтов Центральной России. М.: Наука, 2002. 298 с.
24. Шарпило В.П. Паразитические черви пресмыкающихся фауны СССР: Систематика, хорология, биология. Киев: Наук. думка, 1976. 287 с.
25. Becker C.D., Brunson W.D. The bass tapeworm: a problem in northwest trout management // Progressive Fish-Culturist. 1968. Vol. 30, iss. 2. P. 76–83. – [https://doi.org/10.1577/1548-8640\(1968\)30\[76:TBT\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1577/1548-8640(1968)30[76:TBT]2.0.CO;2).

26. Berland B. Helminth problems in seawater aquaculture // Parasites and Diseases in Natural Waters and Aquaculture in Nordic Countries / eds E. Stenmark, G.Malmberg. Stockholm, Sweden: Zoo-Tax Naturhistoriska Riksmuseet, 1987. P. 56–62.
27. Bursley C.R., Goldberg S.R., Kraus F. A new species of *Proteocephalus* (Cestoda: Proteocephalidae), description of the male of *Desmogathiema papuensis* (Nematoda: Quimperidae), and other endoparasites in *Sylvirana supra-grisea* (Anura: Ranidae) from Papua New Guinea // Comp. Parasitol. 2008. Vol. 75, N 1. P. 33–48.
28. Bursley C.R., Goldberg S.R., Grismer L.L. New species of *Cosmocercoides* (Nematoda: Cosmocercidae) and other helminths in *Gonocephalus liogaster* (Squamata; Agamidae) from Peninsular Malaysia // Acta Parasitol. 2015. Vol. 60. P. 631–637.
29. Bursley C.R., Hoong D.C., Goldberg S.R. A new species of *Rhabdias* (Nematoda: Rhabdiasidae) in *Calotes versicolor* (Squamata: Agamidae) from Singapore // J. Parasitol. 2012. Vol. 98, N 1. P. 149–151.
30. Chen H., Zhang L., Feng Y., Li L. Integrated evidence reveals a new species of *Cosmocerca* (Ascaridomorpha: Cosmoceroidea) from the Asiatic toad *Bufo gargarizans* Cantor (Amphibia: Anura) // Parasitol. Res. 2020. Vol. 119. P. 1795–1802. – <https://doi.org/10.1007/s00436-020-06687-3>.
31. Durette-Desset M.C., Anjos L.A., Vrcibradic D. Three new species of the genus *Oswaldocruzia* Travassos, 1917 (Nematoda, Trichostrongylina, Molineoidea) parasites of *Enyalius* spp. (Iguanidae) from Brazil // Parasite. 2006. Vol. 13, N 2. P. 115–125.
32. Hunter G.W. Contributions to the life history of *Proteocephalus ambloplitis* (Leidy) // J. Parasitol. 1928. Vol. 14. P. 229–242.
33. Jadhav S., Humbe A., Padwal N. Histopathological changes of the intestine of the freshwater fish, *Channa gachua* (Hamilton, 1822) due to infection of metacercaria of trematode parasites // Int. J. Fish. Aquat. Stud. 2019. Vol. 7, N 2. P. 279–281.
34. Jarkovský J., Koubková B., Scholz T., Prokes M., Baruš V. Seasonal dynamics of *Proteocephalus sagittus* in the stone loach *Barbatula barbatula* from the Hana River, Czech Republic // J. Helminthol. 2004. Vol. 78, N 3. P. 225–229.
35. Kuzmin Y.I., Tkach V.V., Bush S.E. A new species of *Rhabdias* (Nematoda: Rhabdiasidae) from agamid lizards on Luzon Island, Philippines // J. Parasitol. 2012. Vol. 98, N 3. P. 608–611.
36. Lafferty K.D., Kuris A.M. How environmental stress affects the impacts of parasites // Limnol. Oceanogr. 1999. Vol. 44, N 3, pt 2. P. 925–931.
37. Martínez-Salazar E.A. A new rhabdiasid species from *Norops megapholidotus* (Sauria: Polychrotidae) from Mexico // J. Parasitol. 2006. Vol. 92, N 6. P. 1325–1329.
38. McDowell J.E., Lancaster B.A., Leavitt D.F., Rantamaki P., Ripley B. The effects of lipophilic organic contaminants on reproductive physiology and disease processes in marine bivalve molluscs // Limnol. Oceanogr. 1999. Vol. 44, N 3, pt 2. P. 903–909.
39. Schimalov V.V., Schimalov V.T., Schimalov A.V. Helminth fauna of lizards (Reptilia, Sauria) in southern part of Belarus // Parasitol. Res. 2000. Vol. 86, iss. 4. P. 343.
40. Scholz T., Škeřiková A., Hanzelová V., Koubková B., Baruš V. Resurrection of *Proteocephalus sagittus* (Grimm, 1872) (Cestoda: Proteocephalidae) based on morphological and molecular data // Syst. Parasitol. 2003. Vol. 56. P. 173–181.
41. Sharpilo V.P., Biserkov V., Kostadinova A., Behnke J.M., Kuzmin Y.I. Helminths of the sand lizard, *Lacerta agilis* (Reptilia, Lacertidae), in the Palaearctic: faunal diversity and spatial patterns of variation in the composition and structure of component communities // Parasitology. 2001. Vol. 123, N 4. P. 389–400.
42. Talwar P.K., Jhingran A.G. Inland fishes of India and adjacent countries. Vol. 1, 2. New Delhi: Oxford and IBH Publ. Co., 1991. 1158 p.
43. Tkach V.V., Kuzmin Y.I., Brown R.M. *Rhabdias mcguirei* sp. nov. (Nematoda, Rhabdiasidae) from the flying lizard, *Draco spilopterus* (Squamata, Agamidae) of the northern Philippines // Acta Parasitol. 2011. Vol. 56. P. 406–411.
44. Trần B.T., Sato H., Lữ P.V. A new *Cosmocercoides* species (Nematoda: Cosmocercidae), *C. tonkinensis* n. sp., in the scale-bellied tree lizard (*Acanthosaura lepidogaster*) from Vietnam // Acta Parasitol. 2015. Vol. 60. P. 407–416.
45. Tanaka H., Tsuji M. From discovery to eradication of schistosomiasis in Japan: 1847–1996 // Int. J. Parasitol. 1997. Vol. 27 (12). P. 1465–1480. – [https://doi.org/10.1016/s0020-7519\(97\)00183-5](https://doi.org/10.1016/s0020-7519(97)00183-5).

Г.И. ГУРАВСКАЯ, А.П. КАСАТКИНА

Новый морфологический признак эуконодонтовых животных (ультрамикроскопические исследования)

*Ультрамикроскопические исследования поверхностного эпителия показали, что эуконодонты – это примитивные животные, у которых, в отличие от ланцетника, отсутствует развитая нервная трубка, а иннервация осуществляется посредством нервного плексуса. Новый морфологический признак является доказательством невозможности отнесения группы эуконодонтовых животных к хордовым и позвоночным животным и подтверждает раннее высказанное предположение о принадлежности их к самостоятельному типу *Euconodontophylea Kassatkina et Buryi*, 1997.*

Ключевые слова: эуконодонтовые животные, отпечатки, нижний карбон, Приполярный Урал, Грантон (Шотландия), морфология, внешний облик, покровные структуры, ланцетник, хорда, кишка, иннервация, нервный плексус.

New morphological character of euconodont animals (ultramicroscopic investigations). G.I. GURAVSKAYA (Far East Geological Institute, FEB RAS, Vladivostok), A.P. KASSATKINA (V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute, FEB RAS, Vladivostok).

*The ultramicroscopic investigations of the surface epithelium showed that the euconodonts were the primitive animals, in which, as distinct from the lancelet, the developed nerve sheath is absent, and the enervation is effected by the nerve plexus. A new morphological character is the evidence of the fact that it is impossible to assign the group of the euconodont animals to the vertebrates and chordates, and supports the earlier made proposal about their belonging to the independent type – *Euconodontophylea Kassatkina et Buryi*, 1997.*

Key words: euconodont animals, imprints, Lower Carboniferous, Nether-Polar Urals, Granton (Scotland), morphology, form, surface epithelium, lancelet, chord, gut, enervation, nerve plexus.

Эуконодонты представляют собой группу небольших, предположительно вымерших животных. Их описание сделано по полному отпечатку животного из нижнекарбонных отложений Приполярного Урала (Россия) (DVGI 2007 TZ-59-1/95) [1, 8, 9], а также по пятому (RMS GY 1992.41.1) и шестому (RMS GY 1992.41.2) отпечаткам из нижнего карбона Грантона (Шотландия) [7]. Общая морфология эуконодонтовых животных приведена в работе [3].

Первые исследователи, в том числе Христиан Пандер, посчитали самым главным критерием для определения положения эуконодонтов в системе животного царства сходство химического состава их зубных элементов (присутствие фосфата кальция) и зубов хордовых, а именно рыб.

*ГУРАВСКАЯ Галина Ивановна – кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник (Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, Владивосток), КАСАТКИНА Алла Петровна – доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник (Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичёва ДВО РАН, Владивосток). *E-mail: buryi@mail.ru

Отпечаток из Приполярного Урала позволил сравнить эуконодентов с самым примитивным хордовым животным – ланцетником [2, 4]. У последнего с дорзальной стороны под поверхностным эпителием проходит нервная трубка, под нервной трубкой проходит хорда, а вентральнее находится кишка (рис. 1). Нервная трубка иннервирует кишку. Однако ни на одном отпечатке эуконодентов таких структур не наблюдается. У шестого отпечатка из Грантона кишечник (структура, которую предположительно считают хордой) оканчивается выбросами экскрементов из анального отверстия. Следовательно, эта центральная трубка никак не может быть хордой. На пятом отпечатке из Грантона также нет ни хорды, ни нервной трубки, хотя хорошо сохранились мягкие ткани, в том числе мышцы, поддерживающие пищевой мешок. Возникает вопрос, каким образом без существования нервной трубки у эуконодентных животных иннервируются все довольно сложные биологические процессы (работа мышечной и пищеварительной систем, зубного аппарата, передвижение). Ответ дают выполненные нами ультрамикроскопические исследования вскрытого с наружной стороны отпечатка из Приполярного Урала. На поверхности его головной части были обнаружены многочисленные волокнистые образования (рис. 2), т.е. практически весь кожный эпителий пронизан тонкими волокнами, которые местами образуют утолщенные узлы – плексусы (рис. 3).

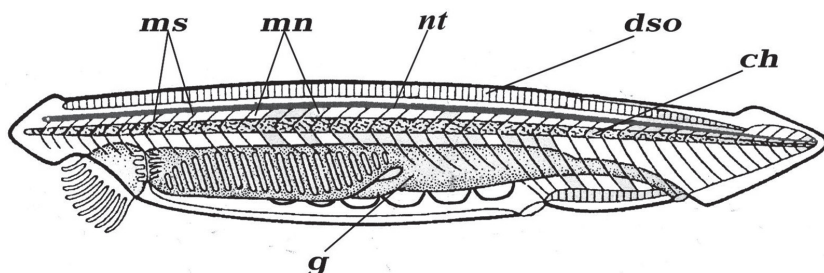
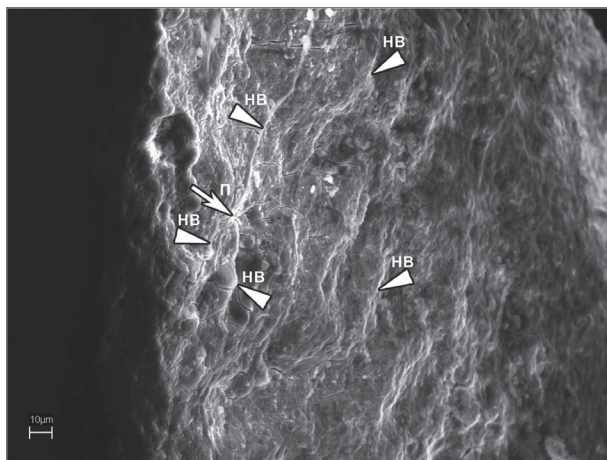


Рис. 1. Схема морфологии ланцетника *Branchiostoma lanceolatum*, вид сбоку. Обозначения: *mn* – мионема, *ms* – миоसेпта, *dso* – плавниковые камеры, *ch* – хорда, *g* – кишка, *nt* – нервная трубка

Эти новые данные служат доказательством того, что эуконоденты являются более древними животными, чем хордовые, так как у них нет нервной трубки и все волокнистые образования находятся на поверхности кожного эпителия. Таким образом, подтверждается мнение о том, что на ранних этапах эволюции животных нервная система не была обособлена, а располагалась интраэпителиально в виде нервного плексуса [6]. Возможно, волокнистые образования и их узловое соединения (плексусы) эуконодентных животных являются такой интраэпителиально расположенной нервной системой.

Рис. 2. Поверхностный кожный эпителий головной части эуконодентного животного дорзальнее пищевого мешка, пронизанный волокнистыми образованиями (нервными волокнами) (*нв* – нервное волокно, *п* – плексус), $\times 1000$



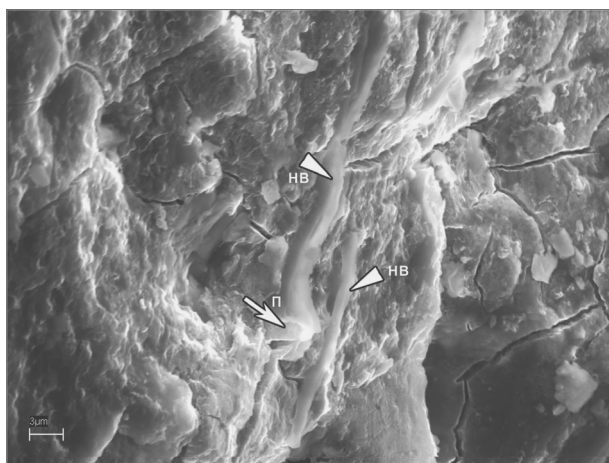


Рис. 3. Участок поверхностного кожного эпителия, увеличенный в 2,5 раза, с плексусом (п) – узловыми соединениями нескольких нервных волокон

Поскольку строение эуконодентов во многом сходно с морфологией протоконодентов (хетогнат), можно предположить, что они также обладают многослойным кожным эпителием в отличие от остальных животных, у которых эпителий однослойный.

Ультрамикроскопические исследования поверхностного эпителия показали, что эуконоденты – примитивные животные, у которых, в отличие от ланцетника и других хордовых, отсутствует развитая нервная трубка, а иннервация осуществляется посредством нервного плексуса. Новый морфологический признак является доказательством невозможности отнесения группы эуконодентофилей к хордовым и позвоночным и подтверждает ранее высказанное предположение о принадлежности их к самостоятельному типу *Euconodontophylea* Kassatkina et Buryi, 1997 [5].

ЛИТЕРАТУРА

1. Бурый Г.И., Касаткина А.П. Первые данные об ультрамикроскопическом строении отпечатка эуконодентофилей из Приполярного Урала // *Новости палеонтологии и стратиграфии*. 2010. Вып. 14. С. 5–10. (Приложение к журналу «Геология и геофизика». Т. 51).
2. Иванова-Казас О.М. Сравнительная эмбриология беспозвоночных животных. М.: Наука, 1978. 311 с.
3. Касаткина А.П., Гуравская Г.И. Морфология конодентофилей: результаты новых палеонтологических исследований // *Вестн. ДВО РАН*. 2018. № 6. С. 91–98.
4. Касаткина А.П., Бурый Г.И. Мышечное строение эуконодентофилей и их систематическое положение // *Чтения памяти академика Олега Григорьевича Кусакина*. Вып. 1. Владивосток: Дальнаука, 2008. С. 71–83.
5. Касаткина А.П., Бурый Г.И. Chaetodonta – новый надтип животных и их положение в системе животного царства // *Доклады Российской Академии наук*. 1997. Т. 356, № 6. С. 843–845.
6. Столярова М.В., Касаткина А.П. Ультраструктурные особенности многослойного кожного эпителия *Aidanosagitta macilenta* (Chaetognatha) и их эволюционное значение // *Морфология*. 2019. Т. 156, вып. 6. С. 46–50.
7. Aldridge R.J., Briggs D.E.G., Smith M.P. et al. The anatomy of conodonts // *Philos. Trans. Royal Soc. B*. 1993. Vol. 340. P. 405–421.
8. Buryi G.I., Kassatkina A.P., Zhuravlev A.V., Safronov P.P. First finding of euconodont animals imprints on the territory of Russia (Euconodontophylea) // *Zoosystematica Rossica*. 2010. Vol. 19, N 1. P. 147–153.
9. Guravskaya G.I., Kassatkina A.P. Specific features of the head region in euconodont animals // *Zoosystematica Rossica*. 2015. Vol. 24, N 1. P. 122–127.

А.Ю. МИРОНЕНКО, М.В. ТУТОВ, С.О. ГУРБАТОВ, А.А. КУЧМИЖАК

Детектирование нитроароматических соединений на функционализированных кремниевых нанотекстурах

Подтверждено предположение, что прямая лазерная обработка материалов с помощью нано- и фемтосекундных (фс) лазерных импульсов в безводной неокисляющей среде, содержащей функционализирующий агент (флуорофор с винильной функциональной группой), позволит выполнить одновременно текстурирование и функционализацию кремниевой поверхности. Эта идея реализована при создании так называемых индуцированных лазером периодических поверхностных структур (laser-induced periodic surface structures, LIPSS) в результате прямой абляции объемного кристаллического кремния, находящегося в растворе N-винилкарбазола в толуоле. Показано, что лазерная обработка с использованием линейно поляризованных импульсов фс-лазера позволяет получать LIPSS с ковалентно функционализированной поверхностью за счет протекания фотоиндуцированной реакции гидросилилирования. Уникальные структуры с иерархической шероховатостью (и, как следствие, антиотражающими свойствами), функционализированные сенсорным флуорофором, имеют прекрасные сенсорные характеристики за счет реализации эффекта поверхностно-усиленной флуоресценции. Используя N-винилкарбазол в качестве функционализирующего агента, мы демонстрируем одноэтапное изготовление высокочувствительного (предел обнаружения 40 нМ) сенсора для выявления нитробензола в воде.

Ключевые слова: сенсор, нанотекстуры, поверхностно-усиленная флуоресценция.

Detection of nitroaromatic compounds on functionalized silicon nanotextures. A.Yu. MIRONENKO, M.V. TUTOV (Institute of Chemistry, FEB RAS, Vladivostok), S.O. GURBATOV, A.A. KUCHMIZHAK (Institute of Automation and Control Processes, FEB RAS, Vladivostok).

This paper confirms the hypothesis that direct laser processing of silicon substrate using nano- and femtosecond (fs) laser pulses in an anhydrous non-oxidizing medium containing a functionalizing agent (fluorophore with a vinyl functional group) allows simultaneous texturing and covalent functionalization of its surface. This idea was implemented in the creation of so-called laser-induced periodic surface structures (LIPSS) as a result of direct ablation of bulk crystalline silicon in the solution of N-vinylcarbazole in toluene. It has been shown that laser processing using linearly polarized fs laser pulses makes it possible to obtain LIPSS with a covalently functionalized surface due to the occurrence of a photoinduced hydrosilylation reaction. Unique structures with hierarchical roughness (and, as a consequence, antireflective properties), functionalized with a sensory fluorophore, exhibit excellent sensory characteristics due to the realization of surface-enhanced fluorescence. Using N-vinylcarbazole as a functionalizing agent, we demonstrate a one-step fabrication of a highly sensitive (detection limit 40 nM) sensor for the detection of nitrobenzene in water.

Key words: sensor, nanotextures, surface-enhanced fluorescence.

*МИРОНЕНКО Александр Юрьевич – кандидат химических наук, старший научный сотрудник, ТУТОВ Михаил Викторович – кандидат химических наук, научный сотрудник (Институт химии ДВО РАН, Владивосток), ГУРБАТОВ Станислав Олегович – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, КУЧМИЖАК Александр Андреевич – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник (Институт автоматизации и процессов управления ДВО РАН, Владивосток). *E-mail: almironenko@gmail.com

Работа выполнена при поддержке Совета по грантам Президента Российской Федерации (проект № МК-1048.2020).

Введение

В последние годы разработка высокоэффективных химических сенсоров превратилась в большую междисциплинарную область исследований, успешное развитие которой зависит от прогресса в каждом из задействованных направлений [13, 17, 20]. Современный химический сенсор – это наноустройство, способное селективно распознавать аналит, а также обрабатывать и усиливать сенсорный отклик. Ярким примером таких наноустройств являются химические сенсоры, основанные на эффекте поверхностной усиленной флуоресценции, в которых способность усиливать отклик достигается путем нанесения чувствительного флуорофора на специально разработанную подложку, содержащую наноразмерные поверхностные элементы, резонансно взаимодействующие с возбуждающим излучением [14, 19].

Наноструктуры из благородных металлов, поддерживающие когерентные колебания свободных электронов (поверхностных плазмонов), как известно, усиливают взаимодействие света с веществом, что позволяет управлять радиационными свойствами квантовых излучателей, расположенных вблизи таких структур. Однако поверхностные плазмоны могут эффективно рассеивать захваченное излучение за счет джоулева нагрева самих наноструктур и их окружения, что может приводить к термической деградации нанесенных на них соединений [3]. Более того, металлические плазмонные структуры обеспечивают эффективные каналы безызлучательной релаксации, приводящие к тушению флуоресценции, и, следовательно, требуют чрезвычайно точной оптимизации расстояния между эмиттером и наноструктурой.

В последние годы существенное внимание уделяется диэлектрическим резонансным микро- и наноструктурам, изготовленным из материалов с высоким показателем преломления (Si, Ge, Ga, As и др.). Такие материалы существенно дешевле плазмон-активных благородных металлов, а также обладают небольшими потерями в видимой области спектра, в связи с чем наноструктуры на их основе рассматриваются в качестве перспективной платформы, которая может дополнить или даже заменить соответствующие плазмонные аналоги в ряде приложений поверхностно-усиленной спектроскопии [1, 9, 10, 16]. Основными преимуществами таких наноструктур являются высокая химическая инертность [2, 15], воспроизводимость характеристик, возможности перестройки оптического отклика, многократного применения, функционализации поверхности путем ковалентной пришивки сенсорных лигандов с использованием набора инструментов синтетической органической химии [4, 6, 11, 18].

Тем не менее, при всех преимуществах, изготовление таких устройств является сложной задачей, поскольку включает в себя ряд критических стадий (текстурирование, активация и химическая функционализация поверхности), параметры которых необходимо точно подбирать, чтобы избежать деформации или разрушения тонкой наноструктуры.

Прямая лазерная обработка материалов с помощью нано- и фемтосекундных лазерных импульсов, как известно, является относительно простой и недорогой технологией изготовления поверхностей с развитой морфологией [12, 21]. Поскольку при такой обработке возникают уникальные экспериментальные условия с чрезвычайно высокими давлением и температурой, мы предположили, что проведение этого процесса в безводной неокисляющей среде, содержащей функционализирующий агент (флуорофор с винильной функциональной группой), позволит выполнить одновременное текстурирование и функционализацию кремниевой поверхности. В данной работе мы демонстрируем успешную реализацию этой идеи на примере создания так называемых индуцированных лазером периодических поверхностных структур (*laser-induced periodic surface structures, LIPSS*), полученных прямой абляцией объемного кристаллического кремния, находящегося в растворе *N*-винилкарбазола в толуоле. Показано, что лазерная обработка с использованием линейно поляризованных импульсов фс-лазера позволяет получать LIPSS с характерным периодом около 100 нм, поверхность которых ковалентно функционализована

молекулами N-винилкарбазола за счет протекания фотоиндуцированной реакции гидросилилирования. Полученные образцы продемонстрировали высокую чувствительность при обнаружении следовых количеств нитроароматических соединений в водных средах.

Материалы и методы

В качестве подложек использовались пластины кремния p-типа с удельным сопротивлением $10\text{--}20\text{ Ом}\cdot\text{см}^{-1}$, поверхностью (111) и толщиной 525 мкм. Перед лазерной обработкой кремниевую подложку обрабатывали ультразвуком в растворе $\text{NH}_3/\text{H}_2\text{O}_2/\text{H}_2\text{O}$ (1/1/3, v/v/v) при $80\text{ }^\circ\text{C}$ в течение 30 мин с последующим погружением в 3%-й водный HF на 3 мин. Затем подложку тщательно промывали деионизированной водой и сушили в вакууме.

Структурирование поверхности и функционализацию проводили в растворе толуол/N-винилкарбазол (20 мг на 3 мл растворителя). Кремниевую подложку $5 \times 10\text{ мм}$ и функционализирующий раствор помещали в герметичную кварцевую ячейку $10 \times 10 \times 47\text{ мм}$, после чего раствор барботировали аргоном в течение 30 мин. Далее текстурировали с использованием лазерных импульсов (220 фс) с длиной волны 515 нм, которые фокусировались на поверхность образца с помощью объектива с числовой апертурой 0,42. Плотность энергии излучения ($F \approx 0,5\text{ Дж}/\text{см}^2$), частота следования импульсов (1 кГц) и скорость сканирования образца ($V = 0,5\text{ мм}/\text{с}$) поддерживались постоянными в процессе обработки образца. Лазерный луч сканировался по поверхности образца по змееподобной траектории с постоянным шагом 5 мкм.

Морфология поверхности изготовленных субстратов была охарактеризована с помощью сканирующей электронной микроскопии (SEM; Hitachi S-3400N). Спектры отражения в УФ-видимом диапазоне длин волн регистрировали при комнатной температуре на спектрометре Varian Cary 5000, оборудованном интегрирующей сферой. ИК-спектры в диапазоне $400\text{--}4000\text{ см}^{-1}$ были получены в вакууме с использованием спектрометра Bruker Vertex 80v. Флуоресцентные свойства регистрировали на спектрофлуорофотометре Shimadzu RF6000. Спектры РФЭС регистрировали на высоковакуумном фотоэлектронном спектрометре SPECS, оборудованном источником рентгеновского излучения MgK α .

Для оценки сенсорных свойств полученных структур их помещали в стандартную кварцевую кювету $10 \times 10\text{ мм}$ под углом 60° к возбуждающему пучку. Кювету заполняли 3 мл деионизированной воды и регистрировали интенсивность эталонного флуоресцентного сигнала ($\lambda_{\text{ex}} = 295\text{ нм}$, $\lambda_{\text{em}} = 370\text{ нм}$). После этого раствор аналита (нитробензола) последовательно добавляли небольшими объемами для достижения требуемых концентраций.

Обсуждение результатов

Для успешного изготовления хемосенсора необходимо соблюдение ряда условий, в частности удаление нативного слоя SiO_2 с поверхности кремния и исключение доступа кислорода и воды к поверхности с целью предотвращения ее пассивации в момент взаимодействия с лазерным лучом. Для этого подложки протравливали в растворе HF и помещали в насыщенный Ag раствор N-винилкарбазола в толуоле. Затем, изменяя параметры лазерной обработки, мы экспериментально достигли формирования поверхностных структур с наилучшими антиотражающими свойствами.

Серия изображений, полученных с помощью сканирующей электронной микроскопии (рис. 1), демонстрирует иерархическую квазирегулярную морфологию, сформированную в результате лазерного текстурирования подложки. На рис. 2, а показано, что используемые параметры лазерной обработки позволили достичь антиотражающих характеристик

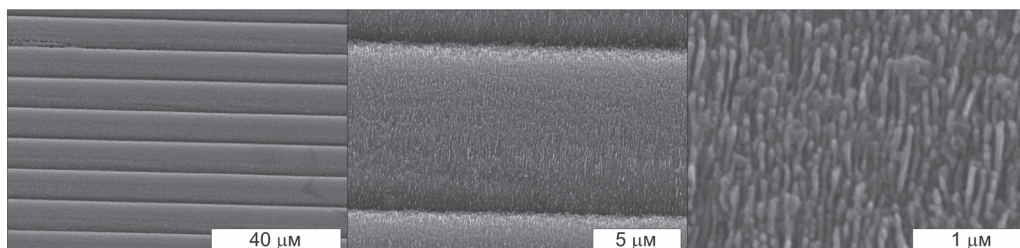


Рис. 1. СЭМ-изображения функционализированных поверхностей при разном увеличении

в видимом спектральном диапазоне менее 20 % нормально падающего излучения. В то же время рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия подтвердила образование связей Si–C, что указывает на ковалентное связывание молекул карбазола с атомами кремния (рис. 2, б). ИК-спектр поглощения также иллюстрирует характерные полосы колебаний присоединенных молекул карбазола (рис. 2, в).

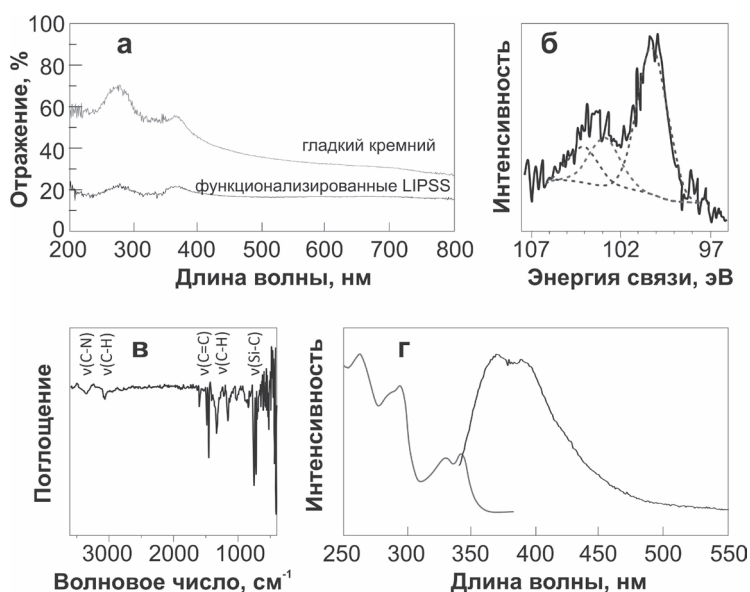


Рис. 2. Физические свойства текстурированной кремниевой поверхности, функционализированной карбазолом: а – спектр отражения (аналогичный спектр гладкой поверхности приведен для сравнения), б – линия Si2p РФЭС-спектра (сплошная кривая), аппроксимированная тремя компонентами химических состояний (пунктирные кривые), в – нормированный ИК-спектр поглощения; г – спектры возбуждения (слева) и эмиссии (справа) флуоресценции

Спектры возбуждения флуоресценции образца и разбавленного раствора N-винилкарбазола аналогичны, в то время как спектр эмиссии смещен в красную область. Широкая полоса флуоресценции в диапазоне 350–500 нм представляет собой суперпозицию двух полос с максимумами 370 и 400 нм, которые соответствуют разным центрам эмиссии. В литературе сообщается, что такое изменение спектра флуоресценции связано с плотностью упаковки молекул карбазола и образованием эксимеров различной пространственной структуры [5, 7, 8]. Красное смещение усиливается с увеличением перекрытия соседних молекул, что, в свою очередь, зависит от кристаллографической ориентации функционализированной поверхности. Эта особенность подробно обсуждалась в нашей предыдущей работе по химической функционализации так называемого черного кремния

(остроконечная поверхность кремния, полученная с использованием метода реактивного ионного травления) [14].

Структуры, полученные в данной работе, были апробированы для детектирования водных растворов, содержащих следовые количества нитробензола, который был использован в качестве модельного аналита. Предварительные исследования тушения флуоресценции в динамическом режиме показали быструю реакцию сенсора на присутствие аналита в воде и полное восстановление исходного сигнала после промывки образца растворителем.

Результаты титрования исследуемого раствора нитробензолом представлены на рис. 3. При постепенном добавлении аналита наблюдалось пропорциональное увеличение соответствующего отклика. Зависимость эффективности тушения $n_q = (I_0 - I)/I_0$ (где I_0 и I – интенсивности флуоресценции, измеренные в отсутствие или в присутствии аналита соответственно) от концентрации нитробензола представлена на рис. 3, б, а линейный диапазон – на рис. 3, в. Разработанный хемосенсор продемонстрировал линейную зависимость между величиной отклика и концентрацией аналита в диапазоне 0–1 мкМ. Исходя из отношения сигнал / шум = 3, предел обнаружения оцениваем как 40 нМ.

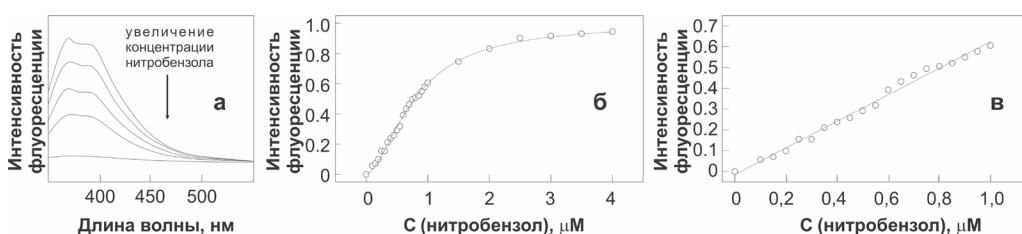


Рис. 3. Сенсорные характеристики текстурированной кремниевой поверхности: а – изменение спектров флуоресценции при изменении концентрации аналита, б – зависимость величины отклика от концентрации аналита, в – линейный диапазон отклика

Заключение

В настоящей работе представлен новый одностадийный метод получения химически функционализированных кремниевых наноструктур. Этот метод заключается в периодическом структурировании поверхности под действием фс-лазерных импульсов в химически контролируемой среде и позволяет одновременно изменять оптические свойства подложки и осуществлять химическую функционализацию поверхности. Уникальные структуры с иерархической шероховатостью и антиотражающими свойствами, функционализированные сенсорным флуорофором, проявляют высокую чувствительность за счет реализации эффекта поверхностно-усиленной флуоресценции. Используя N-винилкарбазол в качестве функционализирующего агента, мы демонстрируем одноэтапное изготовление высокопроизводительного сенсора для обнаружения нитробензола в воде с пределом обнаружения 40 нМ. Данный подход может быть использован при разработке ряда высокочувствительных флуоресцентных сенсоров для ряда биомедицинских или экологических задач.

ЛИТЕРАТУРА

1. Alessandri I., Lombardi J.R. Enhanced Raman scattering with dielectrics // Chem. Rev. 201. Vol. 116. P. 14921–14981.
2. Avramenko V.A., Bratskaya S.Yu., Karpov P.A., Mayorov V.Yu., Mironenko A.Yu., Palamarchuk M.S., Sergienko V.I. Macroporous catalysts for liquid-phase oxidation on the basis of manganese oxides containing gold nanoparticles // Doklady Phys. Chem. 2010. Vol. 435. P. 193–197.

3. Baffou G., Quidant R. Thermo-plasmonics: using metallic nanostructures as nano-sources of heat // *Laser Photonics Rev.* 2013. Vol. 7. P. 171–187.
4. Bontempi N., Biavardi E., Bordiga D., Candiani G., Alessandri I., Bergese P., Dalcanale E. Probing lysine mono-methylation in histone H3 tail peptides with an abiotic receptor coupled to a non-plasmonic resonator // *Nanoscale.* 2017. Vol. 9. P. 8639–8646.
5. Davidson K., Soutar I., Swanson L., Yin J. Photophysics of carbazole-containing systems. 1. Dilute solution behavior of poly(N-vinyl carbazole) and N-vinyl carbazole/methyl acrylate copolymers // *J. Polym. Sci. B: Polym. Phys.* 1997. Vol. 35. P. 963–978.
6. Eves B.J., Sun Q.-Y., Lopinski G.P., Zuilhof H. Photochemical attachment of organic monolayers onto H-terminated Si(111): Radical chain propagation observed via STM studies // *J. Am. Chem. Soc.* 2004. Vol. 126. P. 14318–14319.
7. Ghosh D., Chattopadhyay N. Characterization of the excimers of poly(N-vinylcarbazole) using TRANES // *J. Lumin.* 2011. Vol. 131. P. 2207–2211.
8. Itaya A., Okamoto K., Kusabayashi S. Singlet excitation energy transfer in the vinyl polymers with pendant carbazolyl groups // *Bull. Chem. Soc. Jpn.* 1977. Vol. 50. P. 22–26.
9. Krasnok A., Caldarella M., Bonod N., Alu A. Spectroscopy and biosensing with optically resonant dielectric nanostructures // *Adv. Opt. Mater.* 2018. Vol. 6. 1701094.
10. Kuznetsov A.I., Miroshnichenko A.E., Brongersma M.L., Kivshar Y.S., Luk'yanchuk B. Optically resonant dielectric nanostructures // *Science.* 2016. Vol. 354. aag2472.
11. Linford M.R., Chidsey C.E.D. Alkyl monolayers covalently bonded to silicon surfaces // *J. Am. Chem. Soc.* 1993. Vol. 115. P. 12631–12632.
12. Makarov S.V., Zalagina A.S., Tajik M., Zuev D.A., Rybin M.V., Kuchmizhak A.A., Juodkazis S., Kivshar Y. Light-induced tuning and reconfiguration of nanophotonic structures // *Laser Photonics Rev.* 2017. Vol. 11. 1700108.
13. Mironenko A., Tutov M., Chepak A., Zadorozhny P., Bratskaya S., Mironenko A. A novel rhodamine-based turn-on probe for fluorescent detection of Au³⁺ and colorimetric detection of Cu²⁺ // *Tetrahedron.* 2019. Vol. 75, N 11. P. 1492–1496.
14. Mironenko A.Yu., Tutov M.V., Sergeev A.A., Mitsai E.V., Ustinov A.Yu., Zhizhchenko A.Yu., Linklater D.P., Bratskaya S.Yu., Juodkazis S., Kuchmizhak A.A. Ultratrace nitroaromatic vapor detection via surface-enhanced fluorescence on carbazole-terminated black silicon // *ACS Sensors.* 2019. Vol. 4. P. 2879–2884.
15. Mitsai E., Kuchmizhak A., Pustovalov E., Sergeev A., Mironenko A., Bratskaya S., Linklater D.P., Balcytis A., Ivanova E., Juodkazis S. Chemically non-perturbing SERS detection of a catalytic reaction with black silicon // *Nanoscale.* 2018. Vol. 10. P. 9780–9787.
16. Mitsai E., Naffouti M., David T., Abbarchi M., Hassayoun L., Storozhenko D., Mironenko A., Bratskaya S., Juodkazis S., Makarov S., Kuchmizhak A. Si_{1-x}Ge_x nanoantennas with a tailored Raman response and light-to-heat conversion for advanced sensing applications // *Nanoscale.* 2019. Vol. 11. P. 11634–11641.
17. Pavliuk G., Pavlov D., Mitsai E., Vitrik O., Mironenko A., Zakharenko A., Kulinich S.A., Juodkazis S., Bratskaya S., Zhizhchenko A., Kuchmizhak A. Ultrasensitive SERS-based plasmonic sensor with analyte enrichment system produced by direct laser writing // *Nanomaterials.* 2020. Vol. 10, N 1. 49.
18. Peng W., Rupich S.M., Shafiq N., Gartstein Y.N., Malko A.V., Chabal Y.J. Silicon surface modification and characterization for emergent photovoltaic applications based on energy transfer // *Chem. Rev.* 2015. Vol. 115. P. 12764–12796.
19. Sergeeva K.A., Tutov M.V., Voznesenskiy S.S., Shamich N.I., Mironenko A.Yu., Sergeev A.A. Highly-sensitive fluorescent detection of chemical compounds via photonic nanojet excitation // *Sens. Actuators, B: Chem.* 2020. Vol. 305. 127354.
20. Tutov M.V., Sergeev A.A., Zadorozhny P.A., Bratskaya S.Yu., Mironenko A.Yu. Dendrimeric rhodamine based fluorescent probe for selective detection of Au // *Sens. Actuators, B: Chem.* 2018. Vol. 273. P. 916–920.
21. Zhou Z., Xu J., Cheng Y., Xu Z., Sugioka K., Midorikawa K. Surface-enhanced Raman scattering substrate fabricated by femtosecond laser direct writing // *Jpn. J. Appl. Phys.* 2008. Vol. 47. P. 189–192.

Л.Н. ГАРУСОВА

Угрозы и риски безопасности США на фоне пандемии COVID-19: рефлексия американского общества

Проанализирована взаимосвязь внешней и внутренней политики США с общественной рефлексией на нее. В ходе исследования были выявлены особенности восприятия американской элитой и обществом традиционных и новых угроз национальной и международной безопасности. Рассмотрены вопросы влияния COVID-19 на экономику, электоральный процесс и внешнюю политику США, а также возрастание роли Китая в региональных и международных отношениях, проблема американского мирового лидерства, вызовы международного терроризма и т.д. Особое внимание было уделено неэффективной «антиэпидемической» стратегии Трампа, повлиявшей на результаты президентских выборов 3 ноября 2020 г. Избранный президент Байден считает главной задачей своей администрации борьбу с пандемией COVID-19 и видит в ней возможность укрепления международного лидерского статуса США. Выявлена связь между официальными внешнеполитическими доктринами и мнением американских граждан. Активная внешняя политика Вашингтона и претензия США на роль мирового лидера на протяжении последних десятилетий во многом обусловлены одобрением такой позиции американским обществом.

Ключевые слова: внешняя политика, США, стратегия, рефлексия, общественное мнение, Россия, Китай, национальная безопасность, коронавирус.

Threats and risks to the US security in the context of the COVID-19 pandemic: reflection on the American society. L.N. GARUSOVA (Institute of History, Archaeology and Ethnography of the Peoples of the Far East, FEB RAS, Vladivostok; Far Eastern Federal University, Vladivostok).

This article analyzes the relationship and correlation of US foreign and domestic policy with public reflection on it. Through the course of the research, the peculiarities of perception of the American society and its elite towards traditional and new threats to national and international security were revealed. The issues of COVID-19 influence on the economy, electoral process and foreign policy of the United States, the growing role of China in regional and international relations, problems of the American world leadership, challenges of international terrorism, etc. are considered. Special attention was paid to the ineffective “anti-epidemic” strategy of Trump, which affected the results of the presidential election on November 3, 2020. President-elect Biden considers the main task of his administration to fight the COVID-19 pandemic and sees it as an opportunity to strengthen the US leadership status in the world. The connection between official foreign policy doctrines and the opinion of American citizens was found out. Washington’s active foreign policy and the US claims to become a world leader, over the past decades are largely due to the approval of this position by the American society itself.

Key words: foreign policy, USA, strategy, reflection, public opinion, Russia, China, national security, coronavirus.

Введение

Второе десятилетие XXI в. оказалось в целом достаточно успешным для Соединенных Штатов Америки. Страна сумела преодолеть последствия финансового кризиса 2008 г., нарастить темпы экономического роста, сохранить статус ведущей мировой

ГАРУСОВА Лариса Николаевна – доктор исторических наук, главный научный сотрудник (Центр глобальных и региональных исследований Института истории, археологии и этнографии народов Дальнего Востока ДВО РАН, Владивосток), профессор (Дальневосточный федеральный университет, Владивосток). E-mail: lgarusova@mail.ru

державы, что, однако, не исключает появления новых или актуализации традиционных угроз в будущем. Институт Гэллага (американский институт изучения общественного мнения – American Institute of Public Opinion) в декабре 2019 г. назвал риски, которые станут ключевыми для США в течение следующих 10 лет (2020–2030 гг.) и, соответственно, привлекут наибольшее внимание граждан. Среди них глобальное лидерство Америки, угрозы международной безопасности, взаимодействие США с наиболее влиятельными мировыми акторами, иммиграционные процессы и т.д. Экономическое, политическое и социально-психологическое состояние самого американского общества, в том числе реакция населения на внешние и внутренние раздражители (стресс, беспокойство и т.д.), также окажутся в фокусе общественного мнения. В силу понятных причин пандемия COVID-19 не была включена в перечень угроз, однако именно она стала в 2020 г. одним из главных вызовов для экономики и политики США. Цель данного исследования – рассмотреть наиболее значимые традиционные и новые риски для Америки, в том числе на фоне пандемии COVID-19, в восприятии и оценках ее граждан и проследить взаимосвязь общественного мнения и политики Вашингтона.

Материалы и методы исследования

Факторы дестабилизации социально-политической и экономической жизни, вызовы интересам США в мире рассматриваются и анализируются в официальных документах государства (Стратегия национальной безопасности, Стратегия национальной обороны, обращения к нации президента Д. Трампа, доклады и отчеты комитетов и должностных лиц Конгресса и министерств). Однако понимание современного состояния и перспектив страны будет неполным без учета рефлексии общества на действия властей, т.е. мнений и настроений американских граждан, с которыми приходится считаться политикам и правительству. Методологической основой работы является анализ и сравнение результатов социологических опросов ведущих американских исследовательских центров (Институт Гэллага, Центр Пью), статистических данных, материалов обзоров и научных статей, а также официальных документов по изучаемой проблематике.

Результаты и обсуждение

Экономика. На протяжении последних 10 лет экономика США успешно развивалась (ежегодный прирост ВВП составлял в среднем около 2,5 %). Этот оптимистичный для американцев факт нашел отражение в опросах общественного мнения. К началу 2020 г. две трети населения демонстрировало максимальное удовлетворение экономикой и своими перспективами трудоустройства. Для сравнения: 10 лет назад, в январе 2010 г., только 9 % респондентов сказали о том, что это «хорошее время, чтобы найти достойную работу» [6].

Опросы показали, что американцы верят в свою экономику и ее мировое лидерское предназначение. По данным Института Гэллага на начало февраля 2020 г. (еще до развития коронавирусной эпидемии в стране), большинство американцев – более 50 % (в октябре 2020 г. – 52 %) впервые за 10 лет назвали именно США, а не Китай (39 %) ведущей мировой экономической державой. Минимум респондентов оценивали другие державы (2 % – Россию и 1 % – Индию) в качестве возможных мировых экономических лидеров [4].

Поскольку вслед за экономическим подъемом всегда следует спад, постольку многие эксперты накануне 2020 г. прогнозировали некоторое замедление темпов экономического роста США и умеренную рецессию в ближайшие два года. Однако вряд ли кто-то из них ожидал катастрофических потрясений в экономике, вызванных пандемией коронавируса COVID-19. Экономисты рассчитали, что ВВП США во II и III кварталах 2020 г. снизится

на 25 % в годовом выражении, и это будет сильнейшим падением в истории страны. Журналисты влиятельного информационно-аналитического агентства Блумберг (Bloomberg) в апреле 2020 г. провели опрос среди 69 экспертов о том, как финансовая система Соединенных Штатов Америки отреагирует на пандемию и что будет с уровнем безработицы в государстве. Типичным в этом смысле представляется прогноз Джеймса Найтли (ING Financial Markets): «Даже если экономика снова откроется в середине мая, более 20 млн американцев потеряют работу. Падение ВВП составит около 13 %, что будет в три раза больше, чем во время мирового финансового кризиса 2008 г.» [3].

Опросы населения США дополнили и конкретизировали картину экономических потрясений, выявив сопутствующие им общественные настроения. Уже в марте 2020 г. около 80 % американцев выразили обеспокоенность ситуацией вокруг распространения нового коронавируса на территории США. Согласно опросу ABC News и Ipsos, 72 % респондентов отметили изменения в своей жизни, связанные со вспышкой вируса, работой из дома были заняты уже 17 % американцев [1].

В следующем месяце экономическая ситуация и настроения граждан стали еще более тревожными, даже депрессивными. Так, в Вашингтоне, округ Колумбия (опрос 1–14 апреля 2020 г.), подавляющее большинство опрошенных заявили, что не решаются возобновить свою обычную деятельность. На вопрос о том, как быстро они вернуться к своей привычной жизни, если правительство снимет ограничения, а бизнес и школы начнут вновь открываться, 71 % граждан ответили, что они подождут и посмотрят, что произойдет с распространением вируса, а еще 10 % будут ждать бесконечно. Только 20 % заявили, что они немедленно вернулись бы к своей обычной жизни и работе [10].

Неэффективный кризисный менеджмент президента Трампа сводился преимущественно к преуменьшению опасности COVID-19, сравнению его с обычным сезонным гриппом, а также к ожиданию вакцины против вируса. Уже летом 2020 г. Трамп объявил, что к октябрю в стране будет 100 млн доз вакцины. Однако ситуация с коронавирусной эпидемией не улучшилась и к осени. На протяжении многих месяцев США продолжают сохранять первое место в мире по заболеваемости COVID-19. По данным Университета имени Хопкинса, в Балтиморе на 18 ноября 2020 г. зарегистрировано около 12 млн случаев заболевания американцев, более четверти миллиона смертей от COVID-19, и этот процесс продолжается. По заявлению руководителей группы по коронавирусу при президенте Трампе, сделанному в ноябре, «приемные отделения больниц каждую неделю принимают на 25 % больше пациентов, смертность в стране еженедельно увеличивается на 25 %» [2]. Это во многом объясняет причины недоверия американцев к администрации Трампа, отразившиеся в негативных для него результатах президентских выборов 2020 г.

По заявлению Саманты Паэур (известного политика от Демократической партии, бывшего посла США в ООН), несмотря на то, что правительство Трампа закупило у фармацевтических компаний 800 млн доз вакцины от COVID-19 для населения страны, насчитывающего 328 млн человек, подобных мер недостаточно для «благополучия американцев» и американской экономики. «Глобальная пандемия не закончится полностью, и экономика США полностью не восстановится до тех пор, пока COVID-19 все еще бушует в других странах» [9]. Это означает, что новый президент Джо Байден и его администрация должны включиться в международные программы по борьбе с коронавирусом, от которых отказался Дональд Трамп. Речь идет прежде всего о программе вакцинации COVAX с участием 184 стран, направленной на обеспечение доступности 2 млрд доз вакцины для групп высокого риска и медицинских работников по всему миру до конца 2021 г.

Политическая жизнь. За последние 10 лет в сфере политической жизни США более заметно, чем в экономике, проявились дестабилизирующие тенденции. В частности, усилилась политическая поляризация внутри элиты и общества, что препятствует принятию Вашингтоном сбалансированных и одобряемых большинством населения решений, а также делает почти невозможным обеспечение однозначной поддержки конкретным политическим лидерам. Республиканцы и демократы расходятся во взглядах даже по относительно

«неполитическим» – экономическим и социальным – вопросам. Данная тенденция ярко проявилась на президентских выборах в ноябре 2020 г. Эпидемия COVID-19 не сплотила элиты, конкурирующие между собой за власть и влияние в стране.

Сложная ситуация, связанная с новой нетрадиционной угрозой – эпидемией COVID-19 в США, создала как определенные возможности, так и риски для президента Дональда Трампа. Его шансы на переизбрание во многом зависели от того, как правительство проявит себя в борьбе с ней. В начале мировой пандемии (февраль–март 2020 г.) правительство США не придало ей особого значения. Но уже в конце марта риторика, а вместе с ней и направление предвыборной кампании Трампа изменились. Если раньше президент строил свои выступления на успехах в экономике, то теперь они в большей степени были сосредоточены на борьбе с эпидемией. США полностью закрыли свои границы для иностранцев, на уровне отдельных штатов был введен режим ЧС, а на поддержку экономики были выделены рекордные 1,3 трлн долл. Оказывается помощь пострадавшим от вируса. Речь идет о лечении граждан без страховки, бесплатных тестах на COVID-19 и гарантированных выплатах за отпуск по болезни. По опросу ABC News / Ipsos от 19 марта, действия президента поддержали 55 % респондентов, хотя в начале марта положительно решения государства оценивали лишь 43 % граждан. Этот показатель менялся в зависимости от партийных предпочтений американцев. Так, 69 % демократов негативно относятся к решениям Трампа по борьбе с эпидемией, а среди республиканцев одобряют действия президента 92 % [1].

Поскольку борьба с эпидемией затянулась, а экономика и общество несли значительные потери, то и настроения американцев постоянно менялись, постепенно граждане США стали в большей степени испытывать раздражение, считая политику Трампа недостаточно эффективной. Согласно опросам, действия Трампа в апреле одобряли около 43 % граждан, что на 6 % меньше по сравнению с мартом. В июле уровень одобрения снизился еще сильнее – до 38 %. Однако в октябре рейтинг Трампа поднялся в среднем до 44 % [5], что можно объяснить активизацией его предвыборной кампании и новыми обещаниями немедленной массовой вакцинации против COVID-19.

Ответ США при администрации Трампа на главную проблему в современном мире – пандемию коронавируса – был менее эффективным, чем у многих других стран. Это, в свою очередь, испортило международный имидж страны. Согласно опубликованным в октябре 2020 г. результатам опроса Центра Пью (Pew Research Center), [11], проведенному в 14 крупных экономически развитых государствах, включая США, в среднем 84 % респондентов согласились с тем, что Соединенные Штаты плохо справляются с COVID-19 [9].

Оппоненты Трампа от Демократической партии на протяжении всего 2020 г. пытались использовать ситуацию с коронавирусом для критики политики президента. Они указывали на неготовность американской системы здравоохранения к эпидемии, nepозволительное затягивание Трампом введения режима ЧС, невозможность получения помощи из-за отсутствия единой медицинской страховки, критиковали чрезвычайно преувеличенные обещания Трампа на скорую или даже немедленную вакцинацию широких масс населения и т.п.

На этом фоне победивший на президентских выборах кандидат от Демократической партии Байден заявил о создании нового кризисного центра для борьбы с эпидемией. Разработанный им план действий вступит в силу 20 января 2021 г. – в день его инаугурации. При этом надо понимать, что борьба администрации Байдена с эпидемией не начнется с нуля, преэсущественность в сфере здравоохранения (как и в других сферах жизни американского общества), безусловно, сохранится.

Внешняя политика. Внешняя политика США на уровне как принятия решений, так и восприятия / одобрения этих решений населением сегодня крайне поляризована (возможно, еще в большей степени, чем внутренняя). Данная тенденция сохранится и в дальнейшем. С приходом к власти администрации от Демократической партии внешнеполитическая деятельность Вашингтона в краткосрочной перспективе вряд ли существенно

изменится. Новые акценты во взаимодействии с ключевыми мировыми акторами будут расставляться постепенно, по мере изменения баланса сил внутри самой американской политической элиты.

По взглядам на внешнеполитические проблемы американское общество сегодня разделено, как минимум, на 5 групп (со сложной внутренней иерархией и политико-идеологическими приоритетами), крайними противоположностями выступают традиционные «ястребы» и «голуби». Из опросов Гэллпа 2017–2019 гг. следует, что мнение консервативно-агрессивных «ястребов» (куда входят представители всех основных партий) по вопросам военного вмешательства США в международные дела весьма весомо, его поддерживают 21 % американцев. Настроения неоизоляционистов – «голубей», выступающих против военного и невоенного воздействия Америки на мировую политику, разделяют 18 % населения [13]. Помимо этих крайних по своим взглядам групп, есть промежуточные, что делает достижение консенсуса при принятии решений в высокой степени сложным. В целом поле формирования внешней политики США становится все более эклектичным. В последние несколько лет ситуация нередко усугублялась противоречивой риторикой и действиями президента Трампа.

Проблема мирового лидерства США. Важнейшим внешнеполитическим вопросом для американского общества на протяжении последних десятилетий остается вопрос о том, какое место США должны занимать в системе международных отношений. Следует ли Америке продолжать играть ведущую роль в решении мировых и региональных проблем или же стоит согласиться на более низкий уровень участия в мировой политике, даже перейти к неучастию? В 2019 г. почти 70 % американцев считали, что США должны играть важную роль в мировых делах. При этом 23 % респондентов говорили о ведущей роли, 46 % – о главной, однако 30 % предпочли, чтобы США не вмешивались в чужие дела (25 % – за второстепенную роль и 5 % – чтобы США вообще не играли никакой роли) [13]. В период последних трех президентских администраций (Буша-младшего, Обамы и Трампа) американцы в большинстве своем высказывались за активную внешнюю политику Вашингтона. Тем не менее доля выражающих изоляционистские тенденции увеличилась с 23 % после 11 сентября 2001 г. до 30 % в 2019 г.

Маловероятно, что в ближайшие несколько лет настроения американцев по вопросу о мировом лидерстве США значительно изменятся. Это означает, что общественная рефлексия, воплощенная во внешнеполитических действиях Вашингтона, неизбежно усложнит его отношения с другими ключевыми игроками (КНР, РФ, Индией, Францией, Германией и т.д.), предпочитающими воспринимать современный мир как многополярный.

Восприятие США в других странах в качестве мирового лидера изменилось в худшую сторону. Согласно опросам службы Гэллпа, за последние три года одобрение лидерства США в более чем 130 странах значительно снизилось [9], что вполне коррелирует с внешней политикой президента Трампа, проходившей под лозунгом «Америка превыше всего», а также с его неудачной стратегией борьбы с пандемией коронавируса.

С приходом в Белый дом новой администрации вопрос о мировом лидерстве Америки и ее взаимоотношениях с остальным миром вновь актуализировался. Байден неоднократно заявлял, что его первым внешнеполитическим ходом будет обращение к иностранным лидерам с призывом: «Америка вернулась: теперь вы можете рассчитывать на нас», а дополнительными инструментами мирового лидерства Соединенных Штатов могут стать следующие ресурсы: распространение вакцины против COVID-19, расширение возможностей иностранных студентов получить образование в Соединенных Штатах, участие Америки в борьбе с коррупцией внутри страны и за рубежом и т.д.

Угроза международного терроризма. В американском общественном мнении под влиянием действующей внешнеполитической стратегии сформировались достаточно стабильные представления об угрозах и вызовах национальной безопасности. Одной из таких угроз на протяжении последних 20 лет американцы считают международный терроризм. После событий 11 сентября 2001 г. эта проблема настолько актуализировалась, что нашла

свое отражение в ключевых внешнеполитических документах США, в том числе во всех «Стратегиях национальной безопасности» с 2002 по 2017 г.

В некоторые годы тема терроризма в массовом сознании американцев опережала по своей значимости традиционную в стране проблему «стрелков» и случаев массового насилия с применением огнестрельного оружия в школах, торговых центрах и иных публичных местах. Беспокорство населения по поводу терроризма, как правило, нарастает в ответ на конкретные террористические акты в США и за рубежами страны. Взрывы на Бостонском марафоне в 2013 г. увеличили в два раза число американцев, которые верили, что произойдет еще один теракт. После терактов 2015 г. в Париже опасения американцев по поводу возможности будущих терактов вошли в перечень 15 главных угроз для США. В 2017 г. рекордно высокий процент взрослых американцев сообщил, что они реже посещают крупные мероприятия из-за опасения террористических атак. В октябре 2019 г. почти половина американцев заявили о своей обеспокоенности, что они или члены их семей могут стать жертвами терроризма. Однако, по мнению аналитиков института Гэллага, беспокорство американцев по поводу терроризма за последние десять лет было чем-то вроде пережитка предыдущего десятилетия и событий 11 сентября 2001 г. [6], что может свидетельствовать о постепенной смене внешнеполитических приоритетов США и соответствующей ей трансформации общественных представлений о главных угрозах.

В период президентства Трампа на первый план внешней политики вышли отношения с мировыми державами, бросающими вызов американскому влиянию и интересам, что нашло отражение в «Стратегии национальной безопасности» 2017 г. и других документах. На этом фоне проблема международного терроризма потеряла свою приоритетность. Так, в «Стратегии национальной обороны» 2018 г. заявлено, что «главной проблемой национальной безопасности США теперь является межгосударственная стратегическая конкуренция, а не терроризм. Ключевой приоритет – это долгосрочная стратегическая конкуренция с Китаем и Россией» [12]. Вероятно, данный вектор политики не потеряет значимости и при президенте Байдене.

Интересы США в Азии. Состояние экономики США и возможные политические трансформации после президентских выборов 2020 г. беспокоят не только американцев, но и остальной мир, включая Азию. Так, А. Панда, редактор влиятельного новостного сайта «Дипломат» (The Diplomat), пишет: «от исхода этих выборов зависит все – от будущего американо-китайской торговой войны до дипломатического процесса на Корейском полуострове и альянсов США. Еще четыре года при Трампе будут выглядеть совсем иначе, чем четыре года при администрации демократов. Демократы мыслят совсем по-другому, когда речь заходит об азиатской политике» [8].

На самом деле внешняя политика США в Азии вряд ли радикально изменится, по крайней мере в первый год правления администрации Байдена. Нерешенные вопросы, сложившиеся отношения и международные договоренности обеспечивают скорее ее преемственность, нежели резкую трансформацию. Можно предположить, что политика Байдена будет более предсказуемой и, скорее всего, новый президент вернется к вопросу о торговом сотрудничестве в Тихоокеанском регионе.

В последние десятилетия интерес США к различным регионам Азии очевиден. Именно здесь сосредоточены наибольшие угрозы и вызовы американскому мировому доминированию, равно как и возможности для его сохранения. Так, ресурсом влияния Соединенных Штатов в регионе являются их союзнические отношения с Японией, Южной Кореей, Индией, Австралией, Вьетнамом и т.д. Очевидными «азиатскими» рисками для Америки продолжают оставаться региональные конфликты в Южно-Китайском море, доминирование Китая и ситуация вокруг Корейского полуострова. Северная Корея – это страна, которую американцы многие годы воспринимают (за редким исключением) в качестве своего самого большого противника. Согласно опросам Гэллага в феврале 2020 г., только 12 % американцев относятся к Северной Корее позитивно, а 86 % – негативно [7].

В Восточноазиатском регионе также нередко формируются нетрадиционные угрозы мирового масштаба – стихийные бедствия (цунами, лесные пожары и т.д.), новые инфекционные заболевания (свиной и птичий грипп, SARS, COVID-19) и т.д., на которые Соединенным Штатам приходится реагировать.

Отношения с Китаем. Среди рисков и вызовов США в Азии особое место занимает Китай. Последние 10 лет он является открытым конкурентом США в борьбе за мировое лидерство и одновременно самым значимым торгово-экономическим партнером Америки. Такой дуализм отрефлексирован американским обществом в формат мнения о Китае как о недружественном государстве при одновременном отказе от резко негативных его оценок. Тем самым общественное мнение в США в отношении Китая заметно отличается от оценок, например, ближневосточных стран или КНДР как пособников терроризма и безответственных государств-изгоев.

Опрос, проведенный Институтом Гэллапа 3–16 февраля 2020 г., отражает напряженность между США и Китаем на фоне продолжающейся торговой войны и пандемии COVID-19. Согласно исследованию, 22 % американцев считают Китай главным врагом Америки (для сравнения: в 2018 г. Китай негативно воспринимали лишь 11 %, в 2016 г. – 12 %). Такое отношение к Китаю при президенте Трампе сопоставимо лишь с нынешним отрицательным восприятием гражданами США России (23 %) [4]. Однако, в отличие от Китая, недружественное отношение к нашей стране в США за последний год не возросло, а даже немного снизилось (на 9 % по сравнению с 2019 г.), что создает потенциальную вероятность налаживания элементов конструктивного взаимодействия двух стран (даже при антироссийски настроенной администрации США). Несмотря на жесткую риторику в отношении России, Белый дом, вероятно, все же попытается найти точки соприкосновения с Кремлем в том числе для установления более сбалансированных отношений с Китаем, что позволит России, в свою очередь, снизить зависимость от последнего. Также вероятно продление еще на 5 лет взаимовыгодного российско-американского договора СНВ-3 об ограничении стратегических наступательных вооружений.

Обвинение Китая президентом Трампом в развязывании пандемии коронавируса, подозрение в шпионаже китайских студентов и ученых в американских колледжах, продолжающаяся борьба с китайской компанией Huawei, вызванная предполагаемым хищением американских технологий и т.п., способствуют дальнейшему снижению благоприятного рейтинга КНР в США. Усиление антикитайских настроений американцев в настоящее время стало благоприятным фактором и фоном для трансформации политики Вашингтона в отношении Китая. Так, 20 мая 2020 г. Белый дом опубликовал документ «Стратегический подход США в отношении КНР», подготовленный всеми ведомствами администрации президента Трампа. В нем Вашингтон в жесткой форме обвиняет Пекин в протекционизме и несправедливой торговле, кибершпионаже, краже технологических секретов и нарушении интеллектуальных прав, попытках изменить международные правила через реализацию проекта «Один пояс – один путь», вмешательстве во внутренние дела суверенных государств, заключая, что Китай является угрозой национальной, региональной (Восточная Азия) и международной безопасности. «По мере роста мощи Китая растет готовность и способность Коммунистической партии Китая использовать запугивание и принуждение в попытках устранить предполагаемые угрозы своим интересам и продвижению своих стратегических целей в глобальном масштабе. Пекин ... попирает свои обязательства перед соседями, участвуя в провокационных военных и полувоенных действиях в Желтом, Восточно-Китайском и Южно-Китайском морях, Тайваньском проливе и китайско-индийских пограничных районах» [14, р. 6]. Разумеется, единственно возможным ответом на угрожающие действия Китая, по мнению администрации Трампа, должна стать политика, согласно которой правительство Соединенных Штатов будет всеми способами и методами, включая военные, защищать американские интересы и укреплять американское влияние.

С приходом к власти администрации Байдена отношение к Китаю вряд ли радикально изменится. При этом, однако, вероятно более широкое привлечение американских союзников и партнеров к антикитайскому сотрудничеству. В пользу такого предположения свидетельствуют опубликованные в октябре 2020 г. результаты опроса Центра Пью в 14 наиболее экономически развитых странах, включая США, об отношении к Китаю. Большинство респондентов в каждой стране выразили преимущественно негативное мнение о Китае. В Австралии, Великобритании, Германии, Нидерландах, Швеции, Соединенных Штатах, Южной Корее, Испании и Канаде уровень неблагоприятной оценки Китая оказался наивысшим с тех пор, как Центр начал проводить опросы на эту тему более десяти лет назад. Негативное отношение к Китаю наиболее сильно в Австралии – его выразили 81 % опрошенных (что на 24 пункта выше, чем в 2019 г.). В Великобритании около трех четвертей респондентов заявили о том, что негативно воспринимают Китай, а это на 19 % больше, чем год назад. В США негативное отношение к Китаю выросло почти на 20 % с тех пор, как президент Дональд Трамп вступил в должность и на 13 % – по сравнению с 2019 г. Высокими остаются и сомнения в этих странах относительно того, как Китай справился с пандемией: в среднем 61 % опрошенных согласились с тем, что Пекин плохо боролся против изначальной вспышки вируса на своей территории [11].

При этом надо понимать, что США не заинтересованы в серьезном конфликте с Китаем, новая американская администрация, безусловно, продолжит поиск общих тем с Пекином. Среди них контроль над вооружениями, политика в области климата, международная торговля и т.д. По мнению политиков от Демократической партии, Китай и США вместе несут ответственность за состояние мировой экономики, и это основа для их взаимодействия. Одновременно США будут заниматься нейтрализацией китайского геополитического и технологического наступления.

Заключение

Общественное мнение в Соединенных Штатах во многом зависит от особенностей их внутренней и внешней политики, а также от ситуативных причин. В 2020 г. главным ситуативно-детерминирующим фактором стала пандемия COVID-19. Оценки и настроения американцев иллюстрируют происходящие в обществе процессы, а также сходства и различия в интересах и ожиданиях тех или иных групп населения. В свою очередь, рефлексия общества, т.е. его реакция на экономические и политические раздражители, становится фактором корректировки деятельности властей и даже формирования новой стратегии государства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Поплавский А. Уничтожить демократов: Трамп вооружился коронавирусом. – https://www.gazeta.ru/politics/2020/03/20_a_13015315.shtml (дата обращения: 29.03.2020).
2. Штурм Д.Ф. Третья волна грозит свергнуть США в хаос. Die Welt. ИноСМИ. 23.11.2020. – <https://inosmi.ru/politic/20201123/248593361.html> (дата обращения: 27.11.2020).
3. Эксперты Bloomberg предрекли сильнейший спад экономики в истории США. – <https://iz.ru/998211/2020-04-10/eksperty-bloomberg-predrekli-silneishii-spad-ekonomiki-v-istorii-ssha> (дата обращения: 17.04.2020).
4. Jones J. Fewer in U.S. Regard China favorably or as leading economy. – <https://news.gallup.com/poll/287108/fewer-regard-china-favorably-leading-economy.aspx> (дата обращения: 23.04.2020).
5. Jones J. National Satisfaction Rises as Election Nears. October 29, 2020. – <https://news.gallup.com/poll/323234/national-satisfaction-rises-election-nears.aspx> (дата обращения: 31.10.2020).
6. McCarthy J. Gallup decade in review: 2010–2019. – <https://news.gallup.com/opinion/gallup/273377/gallup-decade-review-2010-2019.aspx> (дата обращения: 15.02.2020).
7. McCarthy J. Iran, North Korea liked least by Americans. – <https://news.gallup.com/poll/287153/iran-north-korea-liked-least-americans.aspx> (дата обращения: 27.04.2020).

8. Panda A. Top risks in Asia in early 2020. 2020 in the Asia–Pacific is off to a busy start. What are the big things to watch for? // The Diplomat. 2020. Jan., 10. – <https://thediplomat.com/2020/01/top-risks-in-asia-in-early-2020/> (дата обращения: 12.02.2020).
9. Power S. The Can-Do Power America’s Advantage and Biden’s Chance // Foreign Affairs. 20.11.2020. – <https://www.foreignaffairs.com/articles/united-states/2020-11-20/samantha-power-can-do-power> (дата обращения: 27.11.2020).
10. Saad L. Americans remain risk averse about getting back to normal. – <https://news.gallup.com/poll/308264/americans-remain-risk-averse-getting-back-normal.aspx> (дата обращения: 07.05.2020).
11. Silver L., Devlin K., Huang Ch. Unfavorable views of China reach historic highs in many countries. October 6, 2020. – <https://www.pewresearch.org/global/2020/10/06/unfavorable-views-of-china-reach-historic-highs-in-many-countries/> (дата обращения: 28.11.2020).
12. Summary of the 2018 National Defense Strategy. – <https://dod.defense.gov/portals/1/documents/pubs/2018-national-defense-strategy-summary.pdf> (дата обращения: 10.04.2020).
13. Tarrance V.L. Measuring the fault lines in current U.S. foreign policy. – <https://news.gallup.com/opinion/polling-matters/248354/measuring-fault-lines-current-foreign-policy.aspx> (дата обращения: 28.04.2020).
14. United States strategic approach to the People’s Republic of China. – <https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2020/05/U.S.-Strategic-Approach-to-The-Peoples-Republic-of-China-Report-5.20.20.pdf> (дата обращения: 23.05.2020).

Е.А. ГОРЯЧЕВА

Эпидемия коронавирусной инфекции в Японии как фактор дестабилизации режима Синдзо Абэ

В Японии в начале 2020 г. одновременно с началом распространения коронавирусной инфекции нового типа стали заметнее проявляться тенденции недовольства населения внутривнутриполитическим курсом, проводимым премьер-министром С. Абэ. Оно обусловлено, в частности, недостаточно оперативным реагированием правительства на вызовы и угрозы благосостоянию общества Японии в постоянно меняющейся обстановке, недостаточным объемом поддержки для групп населения с низким доходом и безработных. Ряд принятых в марте–апреле 2020 г. кабинетом министров мер по нормализации ситуации вызвал острую критику в общенациональных СМИ, транслировавших точку зрения не только журналистов, но и отражавших отношение к ситуации населения Японии. В текущей ситуации характерный не только для Синдзо Абэ, но и прочих политических лидеров Японии паттерн принятия решений, характеризующийся длительным по времени обсуждением и согласованием со всеми вовлеченными сторонами, может представлять угрозу стабильности политического режима страны.

Ключевые слова: Япония, политический режим, Абэ, коронавирус, безопасность.

Japan coronavirus outbreak as a factor of destabilization for Shinzo Abe regime. E.A. GORIACHEVA (Global and Regional Studies Center, Institute of History, Archeology and Ethnography of Peoples of Far East, FEB RAS, Vladivostok).

In Japan, at the beginning of 2020, when the spread of a new type of coronavirus infection occurred, trends of discontent with regard to the domestic policy pursued by Prime Minister S. Abe showed up more clearly. This discontent is due to a number of factors: less than prompt response of the Japanese government to the challenges and threats to the well-being of Japan's society in an ever-changing environment of new coronavirus, insufficient support for low-income groups and the unemployed people. A number of measures taken in March–April 2020 by the Cabinet of Ministers to normalize the situation drew sharp criticism in the national media, broadcasting the point of view of not only journalists, but also reflecting the attitude of the Japanese population towards the situation. At the present time, the former decision-making pattern of not only of Shinzo Abe, but also of other political leaders of Japan, characterized by long-term discussion and pursuing agreement with all parties involved, may pose a threat to the stability of the Japan's political regime.

Key words: Japan, political regime, Abe, coronavirus, security.

В российской информационной сфере в разгар пандемии коронавирусной инфекции высоко оценивались опыт борьбы с распространением болезни в Японии и меры, предпринимаемые властями этой страны в сложной ситуации. Так, в многочисленных статьях «Известий» [4], ТАСС [3], ИА «Востокмедиа» [16], ИА РБК [2], РИА «Новости» [15] перечисляются основные составляющие секрета «японского успеха»: дисциплинированность японцев, существование норм этикета, предписывающих соблюдать дистанцию (теперь уже и социальную) и носить защитные маски в сезон простудных заболеваний и при малейших признаках болезни у себя. Вызывала похвалы предусмотрительность властей

ГОРЯЧЕВА Елена Александровна – научный сотрудник (Сектор международной безопасности Центра глобальных и региональных исследований Института истории, археологии и этнографии народов Дальнего Востока ДВО РАН, Владивосток). E-mail: solo888@yandex.ru

Японии, выделяющих достаточное финансирование на содержание учреждений здравоохранения и большие суммы материальной помощи согражданам.

Однако в самой Японии действия руководства, а особенно бывшего в начале 2020 г. премьер-министром Синдзо Абэ, подвергались в то время резкой критике. Если премьер-министру прощали его пассивность в ведении диалога с В.В. Путиным по вопросу урегулирования территориальной проблемы и заключения мирного договора с Россией, то в текущей ситуации отсутствие ярко выраженной позиции и полумеры, как видится, могли стать одной из причин того, что долгое нахождение С. Абэ подошло к концу. Напомню: в ноябре 2019 г. С. Абэ установил новый рекорд пребывания в качестве премьер-министра Японии, обогнав своих предшественников на этом посту – Т. Кацуру, Э. Сато и Х. Ито, и, как ожидалось, С. Абэ будет занимать пост главы правящей Либерально-демократической партии Японии, дающий ему право возглавлять правительство страны, до сентября 2021 г. Однако этого не произошло и С. Абэ был вынужден подать в отставку со своего поста в конце августа 2020 г.

Основные причины недовольства премьер-министром С. Абэ, озвучиваемые в 2020 г. СМИ Японии: запоздалое реагирование на меняющуюся ситуацию и несвоевременное принятие соответствующих назревших мер, недостаточный объем поддержки для групп населения с низким доходом и лишившихся работы. Помимо этого его обвиняли в неумелых манипуляциях симпатиями населения, использовании ситуации общенациональной борьбы с коронавирусом в целях повышения собственной популярности как политика. Как результат, регулярно проводимый вещательной корпорацией NHK общенациональный опрос показал, что с распространением по Японии коронавирусной инфекции (рис. 1) поддержка населением политики своего премьер-министра неуклонно снижалась (рис. 2). Так, согласно опросу от 14 апреля 2020 г., 89 % населения испытывали крайнюю и умеренную обеспокоенность в связи с распространением инфекции и боязнью заражения, 75 % населения считали введение режима ЧС (на момент опроса ЧС объявили в 7 префектурах) слишком поздним решением правительства, 46 % положительно оценивали действия правительства в этой ситуации, в то время как 50 % дали им негативную оценку [5]. Более контрастные результаты показал опрос газеты «Майнити» от 18/19 апреля 2020 г.: 53 % населения Японии не одобрили пакет мер по борьбе с коронавирусом кабинета С. Абэ, в то время как положительно оценили эти действия 39 % населения [8].

Правительство Японии последовательно обнародовало несколько программ борьбы с распространением инфекции и поддержки населения. План поддержки, анонсированный 28 марта 2020 г., в связи с объявлением 7 апреля 2020 г. на территории 7 префектур Японии режима чрезвычайной ситуации (ЧС), был расширен и обнародован в день объявления

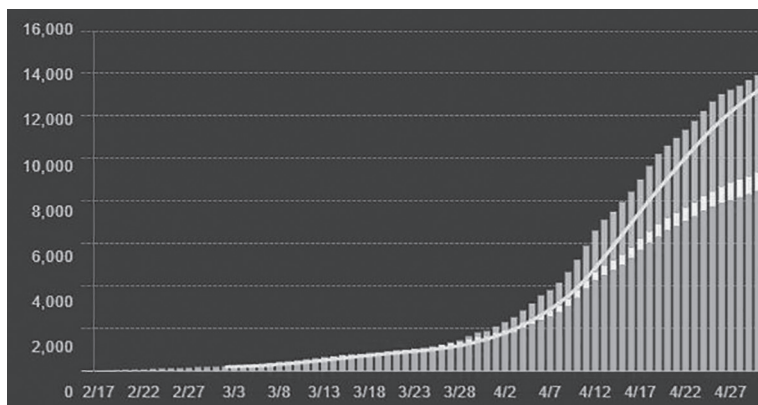


Рис. 1. Распространение коронавирусной инфекции в Японии с 17.02.2020 г. (46 случаев) до 30.04.2020 г. (13 929 случаев) [11]. По вертикали – число заболевших, по горизонтали – даты

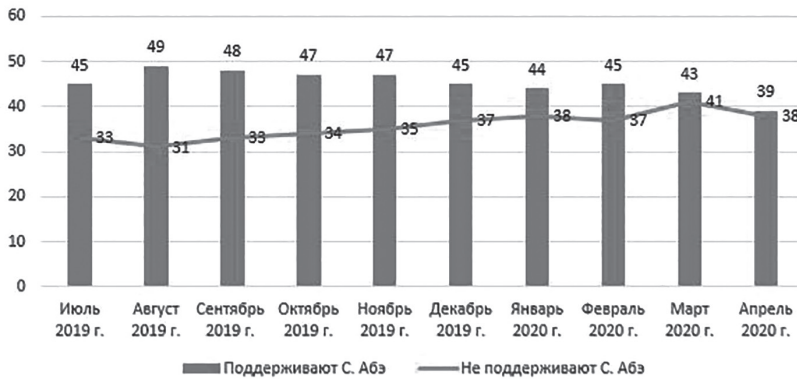


Рис. 2. Динамика поддержки населением Японии политики кабинета С. Абэ (%) с июля 2019 г. – даты проведения выборов в Палату советников парламента Японии до апреля 2020 г. – введения более активных мер по борьбе с коронавирусом) [10]

общенационального режима ЧС – 16 апреля 2020 г. [7]. Данный режим был введен в соответствии с пунктом 1 ст. 32 Закона об особых мерах по борьбе с гриппом нового типа [6]. Еще до принятия решения об общенациональном ЧС позиция С. Абэ, а именно его сомнения в отношении того, стоит ли объявлять данный режим или нет, критиковалась прессой. Так, 3 апреля на заседании парламента С. Абэ заявил, что «если необходимо, я не колеблясь объявлю режим чрезвычайной ситуации», но в то же время отметил, что не верит, будто инфекция достаточно широко распространилась по территории страны [17]. Еще до принятия расширенного пакета мер о защите населения С. Абэ заявлял о решении предоставить для примерно 50 млн японских семей защитные тканевые маски в расчете 2 шт. на одну семью (одно домохозяйство), что породило волну саркастических карикатур и комментариев в социальных сетях (рис. 3, 4). По аналогии с «абэномикой» эту меру назвали «абэномаской» (アベノマスク), и заверения премьер-министра о том, что он рассматривает этот шаг лишь как срочную меру, одну из многих, предварительную, не помогли ему избежать критики [21].

Меры материальной поддержки включали выделение 100 000 иен на одного человека, максимум 2 млн иен для предприятий малого и среднего бизнеса, до 1 млн иен индивидуальным предпринимателям и фрилансерам [19]. Данное решение также было подвергнуто критике, ведь изначально речь шла о поддержке меньшей части населения, но большими суммами, и это решение – выплата 300 000 иен лицам, чей доход значительно уменьшился из-за распространения коронавируса, – даже получило одобрение правительства, однако риторика представителя партии Комэйто убедила С. Абэ пересмотреть это решение в пользу больших масштабов помощи. Этот беспрецедентный факт в истории японского правительства – отмену уже утвержденного властями решения – аналитики склонны считать еще одним свидетельством слабости С. Абэ как политического лидера, под давлением оппозиции меняющего свой курс [9].

Критика С. Абэ весной 2020 г. распространялась не только на комплекс введенных им мер. Когда премьер-министр попытался на личном примере убедить население соблюдать режим самоизоляции, оставаясь дома, и разместил в личном аккаунте социальной сети Twitter видео с подобным обращением к согражданам [12], эта попытка была негативно воспринята многими японцами и вызвала у них прямо противоположные эмоции – гнев и злость. Основной причиной недовольства было то, что японцев призвали оставаться дома, причем на добровольной основе, а также самостоятельно решать проблему финансового обеспечения семьи в условиях падения доходов. В этой ситуации видеобращение главы государства, наследника состоятельной династии, наслаждающегося чашечкой кофе в обществе своей собаки на фоне элегантного интерьера загородной резиденции, не



Рис. 3. Карикатурный монтаж видеокadra «TV Nippon», изображающий премьер-министра Японии в двух защитных масках [13]. Перевод надписи на экране: «Срочная новость! Премьер-министр Абэ заявил о поддержке каждого домохозяйства в Японии предоставлением двух тканевых масок»

могло не вызвать шквала гневных обвинений со стороны его избирателей, вынужденных проводить самоизоляцию в более скромных условиях [18]. На следующий день один из популярнейших японских таблоидов «Никкан спортс» на первой полосе разместил посвященный этому событию материал под броским заголовком «Абэ – аристократ???»», где проводились исторические параллели между поведением премьер-министра и вопиющим отношением французской королевы Марии-Антуанетты к своему народу, вызвавшим Великую французскую революцию [1]. Тактической ошибкой, возможно, было и время размещения подобного обращения к населению: 1 апреля 2020 г. появилось заявление о раздаче тканевых масок населению, 12 апреля – видеообращение, и только 16 апреля С. Абэ озвучил решение оказать материальную помощь согражданам в размере 100 000 иен на человека. Таким образом, многие японцы могли подумать, что помощь со стороны государства большинству населения ограничится лишь тканевыми масками и призывами к сознательной самоизоляции.

С. Абэ обвиняли также и в том, что он использовал ситуацию с коронавирусом в личных политических целях, а именно для манипуляции датой выборов – досрочного, до окончания своих полномочий осенью 2021 г., их назначения. Источники, знакомые

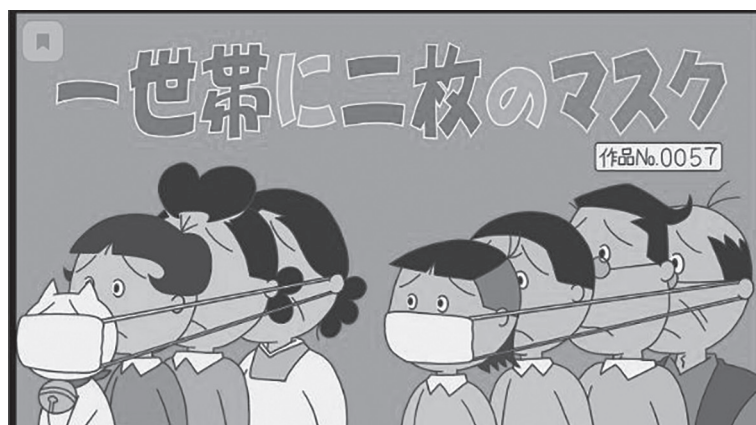


Рис. 4. Карикатура «Как максимизировать использование двух масок» [14]. Перевод надписи: «Две маски на семью»

с мнением Абэ, говорили, что он в начале 2020 г. внимательно следил за развитием ситуации с распространением коронавируса, одновременно тщательно подбирая наилучшие сроки роспуска Нижней палаты японского парламента, чтобы обеспечить себе победу на внеочередных выборах [20].

Пандемия коронавируса обострила одну из фундаментальных проблем японского общества. Дело не только в С. Абэ как в политическом лидере, который находился дольше кого бы то ни было из своих предшественников на посту премьер-министра Японии. С. Абэ, как и многим политикам Японии, свойствен специфический стиль принятия решений, требующий значительного времени и тщательной подготовительной работы, – т. н. *нэмаваси*. Данный стиль обладает значительными достоинствами, но в условиях цейтнота (например, после разрушительного землетрясения в марте 2011 г. и аварии на АЭС «Фукусима-1») он уже демонстрировал свои недостатки. Такой способ принятия решений по-прежнему не отвечает требованиям времени.

Японию обычно воспринимают как страну социально, политически, экономически стабильную. Однако пандемия коронавируса проявила многие проблемы в японском обществе и на политической арене, которые ставят под вопрос дальнейшее сохранение стабильности в государстве. В начале 2020 г. значительно выросло число недовольных «вечным» нахождением у власти С. Абэ. Вопрос, придет ли к власти после выборов в сентябре 2021 г. представитель оппозиции либо другой кандидат от ЛДПЯ, любой политик, более активно принимающий решения, остается открытым. Во всяком случае этому политику придется иметь дело не с политически инертным обществом, в общей массе благосклонно реагирующим на инициативы власти, как это было прежде, а с народом, трезво и подчас резко оценивающим действия своего лидера. Ситуация в Японии может также осложниться экономическими проблемами – экономическим спадом, непоступлением средств от отложенной Олимпиады-2020.

ЛИТЕРАТУРА

1. Видеообращение Абэ критикуют даже близкие. В других странах это вызвало бы революцию = 安倍首相動画“身内”も批判…他国なら「革命起こる」 // Никкан спортс. 2020. 4 апреля. Яп. яз. – <https://www.nikkansports.com/general/nikkan/news/202004120000447.html> (дата обращения: 02.05.2020).
2. Власти Японии решили раздать деньги всем жителям страны из-за эпидемии. – <https://www.rbc.ru/society/17/04/2020/5e9973129a7947590027876b> (дата обращения: 05.05.2020).
3. Головин В. Традиции против коронавируса. За счет чего Японии удастся избежать массового заражения. – <https://tass.ru/opinions/8064075?from=teaser> (дата обращения: 05.05.2020).
4. Доронина О., Логинова К. Поклон, еще поклон: почему Япония успешно справляется с эпидемией? // Известия. 2020. 3 апреля. – <https://iz.ru/994992/olga-doronina-kseniia-loginova/poklon-eshche-poklon-pochemu-iarponiia-uspeshno-spravliaetsia-s-epidemie> (дата обращения: 05.05.2020).
5. Ежемесячный опрос населения о политической проблематике (апрель 2020 г.) = 2020年4月 政治意識月例調査. Яп. яз. – <https://www.nhk.or.jp/senkyo-data/shijiritsu/pdf/aggregate/2020/y202004.pdf> (дата обращения: 02.05.2020).
6. Закон об особых мерах по борьбе с гриппом нового типа / Мин-во здравоохранения, труда и благосостояния Японии. Яп. яз. – https://www.mhlw.go.jp/web/t_doc?dataId=78ab2871&dataType=0&pageNo=1 (дата обращения: 02.05.2020).
7. Заседание № 29 штаба по разработке мер по борьбе с коронавирусной инфекцией = 新型コロナウイルス感染症対策本部(第29回). Яп. яз. – https://www.kantei.go.jp/jp/98_abe/actions/202004/16corona.html (дата обращения: 02.05.2020).
8. Опрос газеты «Майнити»: не оценили работу правительства 53 %, рейтинг кабинета министров на плато 41 % = 新型コロナ 政権対応「評価せず」53% 内閣支持横ばい41% 毎日新聞世論調査 // Майнити. 2020. 20 апреля. Яп. яз. – <https://mainichi.jp/articles/20200420/ddm/001/010/093000c> (дата обращения: 02.05.2020).
9. Пособия во время коронавируса: видные насквозь метаморфозы правительства = コロナ給付金 10万円の「乱」、透けた政権の変質 // Асахи. 2020. 3 мая. Яп. яз. – <https://digital.asahi.com/articles/DA3S14464586.html> (дата обращения: 05.05.2020).
10. Рейтинг поддержки кабинета министров = 内閣支持率. Яп. яз. – <https://www.nhk.or.jp/senkyo/shijiritsu/> (дата обращения: 02.05.2020).

11. Ситуация по числу зараженных коронавирусом нового типа в Японии = 新型コロナウイルス国内感染の状況 . Яп. яз. – <https://toyokeizai.net/sp/visual/tko/covid19/> (дата обращения: 30.04.2020).
12. Твиттер-аккаунт пользователя @AbeShinzo. Яп. яз. – https://twitter.com/AbeShinzo/status/1249127951154712576?ref_src=twsrc%5Etfw%7Ctwcamp%5Etweetembed%7Ctwterm%5E1249127951154712576&ref_=https%3A%2F%2Fbunshun.jp%2Farticles%2F-%2F37214 (дата обращения: 02.05.2020).
13. Твиттер-аккаунт пользователя @HirokoTabuchi. Яп. яз. – <https://twitter.com/HirokoTabuchi/status/1245348736068456449> (дата обращения: 02.05.2020).
14. Твиттер-аккаунт пользователя @LFC_Mayuyu. Яп. яз. – https://twitter.com/LFC_Mayuyu/status/1245354268736946178 (дата обращения: 02.05.2020).
15. Япония будет выплачивать каждому гражданину около 930 долларов. – <https://ria.ru/20200417/1570164029.html> (дата обращения: 05.05.2020).
16. «Японский секрет»: почему в Стране восходящего солнца коронавирус удастся сдерживать? – <https://vostokmedia.com/article/general/27-03-2020/yaponskiy-sekret-pochemu-v-strane-voshodyashego-solntsa-koronavirus-udayotsya-sderzhivat> (дата обращения: 05.05.2020).
17. Abe cautious about declaring emergency despite spike in virus cases // Japan Times. 2020. Apr., 3. – <https://www.japantimes.co.jp/news/2020/04/03/national/politics-diplomacy/shinzo-abe-state-of-emergency-coronavirus/> (дата обращения: 02.05.2020).
18. Abe's 'stay home' message has fueled anger // Mainichi. 2020. Apr., 13. – <https://mainichi.jp/english/articles/20200413/p2g/00m/0na/069000c> (дата обращения: 02.05.2020).
19. Ryo Aibara. Abe apologizes for bungling cash payment plan on coronavirus // Asahi Shimbun. 2020. Apr., 18. – <http://www.asahi.com/ajw/articles/13308276> (дата обращения: 02.05.2020).
20. Speculation rife in Japan of a post-pandemic, pre-Olympic poll // Japan Times. 2020. May, 31. – <https://www.japantimes.co.jp/news/2020/03/31/national/politics-diplomacy/abe-snap-election-pandemic-olympics/> (дата обращения: 02.05.2020).
21. Tomohiro Osaki. Abenomask? Prime minister's 'two masks per household' policy spawns memes on social media // Japan Times. 2020. Apr., 2. – <https://www.japantimes.co.jp/news/2020/04/02/national/abe-two-masks-social-media/> (дата обращения: 02.05.2020).

В.Ю. МИШИН

Меры Республики Корея и КНДР по борьбе с COVID-19 как составная часть национальной и региональной безопасности

Представлен анализ мер, предпринятых государствами Корейского полуострова по локализации корона-вирусной инфекции в начальный и наиболее активный период ее распространения. Установлено, что высшее руководство и социум обеих стран по-разному восприняли угрозы и последствия пандемии. Вместе с тем соседство двух государств и угроза национальной катастрофы объединили Юг и Север Кореи в понимании необходимости принятия политических и медико-санитарных мер по недопущению проникновения COVID-19 как извне, так и через общую государственную границу. У двух государств разный уровень социально-экономического развития и разный политический строй. Соответственно конкретные и превентивные меры принимались исходя из финансовых и технологических особенностей двух Корей. Сделан вывод, что общие меры по борьбе с COVID-19 явились неотъемлемой частью обеспечения национальной и региональной безопасности на Корейском полуострове. Общая угроза пандемии не является условием примирения двух враждующих государств, однако может инициировать оздоровление межкорейских отношений в среднесрочной перспективе.

Ключевые слова: коронавирус, Республика Корея, КНДР, национальная и региональная безопасность, межкорейские отношения, лечебно-профилактические меры.

Measures of the Republic of Korea and the DPRK to combat COVID-19 as a component of the national and regional security. V.Yu. MISHIN (Institute of History, Archaeology and Ethnology of the Peoples of the Far East, FEB RAS, Vladivostok).

The article presents an analysis of the measures taken by the states of the Korean Peninsula to localize coronavirus infection in the initial and most active period of its spread. It has been established that the top leadership and society of the North and South of Korea differently perceived the threats and consequences of the pandemic. At the same time, the close location of the two states and the threat of a national catastrophe united the South and North Korea in understanding the need to take political and health measures to prevent the penetration of COVID-19 both from the outside and across the common state border. The two states have different levels of socio-economic development and different political systems. Respectively, the definite and the preventive measures were taken based on the financial and technological characteristics of the two Koreas. Author concluded that general measures to combat COVID-19 were an integral part of ensuring national and regional security on the Korean Peninsula. The common threat of a pandemic is not a condition for reconciliation between the two warring states, but it can initiate the improvement of inter-Korean relations in the medium term.

Key words: coronavirus, Republic of Korea, DPRK, national and regional security, inter-Korean relations, medical-preventive measures.

В начале 2020 г. международное сообщество столкнулось с глобальными вызовами для современного миропорядка и всего человечества. Причиной тому стала распространяющаяся по миру эпидемия коронавирусной инфекции, получившей название COVID-19. В связи со стремительной экспансией и высокой летальностью этого вируса

МИШИН Валерий Юрьевич – научный сотрудник (Институт истории, археологии и этнографии народов Дальнего Востока ДВО РАН, Владивосток). E-mail: val.mishin@mail.ru

Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) своим решением от 11 марта назвала COVID-19 чрезвычайной ситуацией в системе общественного здравоохранения и объявила о пандемии. Пандемия – это распространение нового заболевания в мировых масштабах. Вирусы, вызывавшие прежние пандемии, обычно происходили от вирусов гриппа животных [6].

До того как COVID-19 добрался из Китая до Европы, второй по распространенности вируса страной была Южная Корея (далее РК). С 18 по 19 февраля с.г. она приняла первый удар COVID-19, число заболевших росло лавинообразно. Подобная эпидемия в РК уже была: в 2015 г. произошла вспышка вируса MERS (ближневосточный респираторный синдром). Тогда, опасаясь паники, правительство много дней скрывало от населения истинные масштабы угрозы, хотя, по причине слабой контагиозности MERS, число погибших было небольшим – 36 человек.

Последствия от COVID-19 оказались гораздо масштабнее. В начале апреля 2020 г. в Южной Корее было зафиксировано 10 156 заразившихся, более 200 умерших, 6325 вылечившихся [2]. Причинами быстрого роста заболеваемости стали недостаточно оперативное и недостаточно адекватное реагирование руководства страны на начальной стадии эпидемии, несвоевременное закрытие границы и транспортного сообщения с КНР, запоздавшая дезинфекция помещений учебных заведений, точек общепита и других общественных мест.

Стремительное распространение COVID и летальные случаи вызывали резкое недоверие населения РК, вылившееся в кампанию по сбору подписей за процедуру импичмента президенту Мун Чжэ Ину. Было собрано более 1,3 млн подписей. В вину Муну вменялось сокрытие масштабов бедствия, нежелание принять своевременные жесткие меры в угоду отношениям с КНР, его упрекали в том, что он действует «как китайский, а не южнокорейский президент» [2]. Справедливости ради необходимо отметить: как только появились первые сообщения из КНР о новом коронавирусе, власти Южной Кореи были готовы к тому, что инфекция может проникнуть через границу. Однако превентивные меры принять не удалось, поскольку своевременно не был выявлен очаг инфекции в среде последователей религиозной секты Синчхонджи, которые скрыли от властей факт своего недавнего пребывания в Ухане, откуда вернулись инфицированными.

Имея опыт борьбы с вирусом MERS-15, южнокорейские власти довольно оперативно среагировали и приложили максимум усилий к тому, чтобы взять ситуацию под контроль. Прежде всего был блокирован г. Тэгу, где наиболее активно распространялся вирус, что позволило локализовать вспышку инфекции и при этом не ограничивать основные свободы всех граждан. Эффективно осуществлялось информирование населения о действиях властей и проведении профилактических мер. Правительственные органы и Минздрав действовали максимально открыто, не утаивая важные для общества сведения. С первых же дней объявления эпидемии Минздрав проводил регулярные брифинги, в ходе которых сообщались оперативные данные о развитии ситуации и предпринимаемых мерах. В свою очередь, операторы мобильной связи во взаимодействии с медиками организовали рассылку текстовых сообщений, в которых население информировалось о новых случаях заболеваний и районах страны, где их зафиксировали, о местах и заведениях, которые посещали выявленные зараженные. Регулярно приходили СМС-сообщения о профилактических мерах, напоминавшие о необходимости носить маски, чаще мыть руки, соблюдать социальную дистанцию. Власти страны разработали специальное приложение, позволяющее людям самостоятельно отслеживать состояние своего здоровья и при необходимости оперативно связываться с врачами. Премьер-министр Чон Се Гюн 22 февраля в своем заявлении сказал: «Ситуация серьезная, но мы будем бороться все как один» [12]. В тот же день он возглавил штаб по борьбе с вирусом и лично руководил его работой, выезжая в самые проблемные зоны с наибольшим числом заболевших.

Эффективными оказались и различные карантинные меры, введенные в первую очередь в медицинских учреждениях. Для приема больных с высокой температурой, кашлем

и иными симптомами коронавируса были отведены отдельные здания. На входе в лечебное заведение все пациенты заполняли анкеты о состоянии здоровья, о внутренних перемещениях и заграничных поездках за последние недели, а также оставляли свой номер телефона [1]. Кроме этого, власти РК разработали своеобразную тактику борьбы с вирусами, которая получила название «Три “Т”» (от англ.: trac – отследить, test – протестировать, treat – вылечить).

Сразу же после появления COVID-19 в КНР корейский Центр контроля и профилактики болезней приступил к разработке собственной системы тестирования и в кратчайшие сроки организовал взаимодействие с коммерческими производителями диагностических средств. Производство национальных тестов увеличилось до 15 тыс. в сутки. Были запущены 43 передвижные диагностические станции по всей стране. Людей не смущало то, что тест был платным – около 100 долл. США. Но если коронавирус выявлялся, то деньги за анализы и последующее лечение возвращались, притом что в РК отсутствует система оказания бесплатной медицинской помощи. Всего было протестировано почти 280 тыс. чел. Таким образом, на каждый миллион населения пришлось 5200 тестов (к примеру, по состоянию на апрель 2020 г. США проводили 74 теста на миллион населения) [4]. Программу тестирования дополнили масштабные усилия по изоляции и помещению на карантин всех заболевших.

Наряду с лечебно-профилактическими мерами власти оперативно реагировали на дефицит лекарств и спекуляцию ими. Каждый житель страны, зарегистрированный в системе государственного страхования и имеющий ID-карту, мог раз в неделю прийти в аптеку и гарантированно приобрести несколько защитных масок по номинальной цене.

Были приняты дополнительные решения и на законодательном уровне. В начале марта введена административная и уголовная ответственность за уклонение от тестирования, решительно пресекались различные митинги и собрания.

На фоне тяжелых тенденций, вызванных пандемией в КНР, странах Европы и США, РК стала образцом для подражания в плане борьбы с COVID-19. Страна с 50-миллионным населением в сравнительно короткие сроки смогла замедлить темпы распространения эпидемии без карантинной изоляции городов и населенных пунктов, других жестких административных мер, как в КНР. Этому способствовали опыт борьбы с вирусом MERS-15, а также дополнительные возможности, которые получили властные структуры. В частности, им было предоставлено право собирать данные о владельцах сотовых телефонов, кредитных карт, а также другую информацию о гражданах страны, позволяющую контролировать передвижение и отслеживать контакты лиц, у которых был выявлен коронавирус. В первые дни марта 2020 г. Министерство внутренних дел РК в сотрудничестве с операторами мобильной связи запустило приложение для смартфонов, которое дало возможность следить за людьми в карантине и собирать данные о состоянии их здоровья.

Несмотря на попытки оппозиции критиковать президента и нивелировать деятельность его команды по локализации распространения вируса, рейтинг Мун Чжэ Ина среди южнокорейского населения заметно вырос. Согласно результатам опросов, проведенных рейтинговым агентством Realmeter в апреле, работу главы государства поддержали более 54,4 % корейцев, что явилось рекордным показателем за предыдущие 17 месяцев (с ноября 2018 г.) [11]. Мун Чжэ Ин продолжает оставаться одним из самых популярных лидеров в истории РК. Несмотря на то что он занимает президентский пост уже три года, уровень его поддержки еще ни разу не опускался ниже 30 %. Ситуация нетипичная для политической жизни страны, где рейтинги президентов обычно резко падают во второй половине их пребывания на посту.

Важной особенностью внутриполитической ситуации в РК в условиях пандемии стали прошедшие в апреле парламентские выборы в Национальное собрание. Они засвидетельствовали высокий уровень доверия Мун Чжэ Ину и его команде и предопределили политическую судьбу лидера, которому остается всего два года до окончания полномочий. За три минувших года у граждан накопилось немало претензий к президенту и по

поводу ситуации в межкорейских отношениях, и в связи с обострением экономических проблем, снижением жизненного уровня, частыми коррупционными скандалами в ближайшем окружении Муна. Но пандемия коронавируса неожиданно изменила расклад политических сил в РК. Четкие и эффективные действия властей положительно отразились на настроениях электората и добавили популярности правящей демократической партии Тобуро. Кроме того, в пользу демократов сыграло принятое решение по снижению возрастного ценза избирателей с 19 до 18 лет. Пропрезидентскими политтехнологами было верно просчитано, что южнокорейская молодежь придерживается более левых взглядов, чем старшее поколение.

В то же время пандемия негативно сказалась на рейтинге оппозиционной правой Объединенной партии будущего (ОПБ), предвыборная программа которой предусматривала «народный суд» над Мун Чжэ Ином и его однопартийцами. Недовольство южнокорейцев провоцировало призыв сторонников ОПБ к игнорированию карантинных мер, проведение ими массовых акций и митингов, а также их связь с представителями секты Синчхонджи, которые завезли вирус из Уханя в корейский г. Тэгу.

Меры властей по обеспечению безопасности на избирательных участках стали залогом высокой явки населения на нынешних выборах, которая превысила 66 %, что стало самым высоким показателем с 1992 г. На всех 14 тыс. избирательных участков присутствовали дезинфекционные команды, все выборщики обеспечивались перчатками и масками, на входе измерялась температура, строго соблюдалась дистанция между голосующими. В праве выбора не отказывалось даже находящимся на карантине (но только тем, кто не имел явных признаков коронавируса).

Согласно обнародованным 16 апреля 2020 г. итогам голосования демократическая партия Тобуро получила 180 мест в 300-местном парламенте, а ее конкурент – Объединенная партия будущего – 103 [8]. Голосование в экстремальных условиях пандемии стало волеизъявлением доверия президенту Мун Чжэ Ину. Его партия получила карт-бланш на принятие любых законов (кроме внесения поправок в Конституцию).

Опыт РК может служить для других государств примером и одновременно предупреждением: количественное сокращение инфицированных и рост выздоровевших не дают права на эйфорию и расслабление, так как предстоит еще долгая и трудная работа по восстановлению социальной и экономической ситуации в стране.

Что касается Северной Кореи, то в плане мер по нераспространению коронавируса она избрала несколько иную тактику, чем РК. Прежде всего это раннее реагирование, что оказалось важнейшим фактором успеха. Первые шаги по оценке рисков и локализации эпидемии были сделаны уже в начале января 2020 г., т.е. вскоре после того, как стали поступать сообщения о случаях заболевания в китайском Ухане.

Отличительной особенностью является то, что Пхеньян не стал традиционно делать никакой тайны из происшедшего. В конце января Ким Чен Ын провел расширенное заседание Политбюро ЦК Трудовой партии Кореи, на котором обсуждались чрезвычайные карантинные меры. Лидер КНДР приказал блокировать все возможные каналы проникновения нового вируса на территорию республики и дал указание, что не должно быть никаких привилегий, так как иначе последствия будут весьма серьезными. Сразу после этого северокорейские власти приняли решение о полной изоляции страны, прекратив все виды сообщения с КНР и РФ. Находящимся на территории КНДР иностранцам запретили покидать пределы посольств и дипломатических кварталов в Пхеньяне [3].

Чем можно объяснить успех в борьбе с распространением коронавируса такого слабо развитого в техническом и экономическом плане государства, как КНДР? Прежде всего социальной сплоченностью, очень высоким уровнем самодисциплины у народа и его солидарностью с властью.

Есть и другие аспекты, к примеру, отмечаемые А. Ланьковым. Известно, что существующая в КНДР политэкономическая система, которую называют национальным сталинизмом, имеет много недостатков. Вместе с тем несправедливо утверждать, что она функционирует

одинаково плохо во всех областях жизнедеятельности и государственного управления. Есть сферы, где подобная модель работает сравнительно хорошо. Северокорейское здравоохранение – одна из них. С первых дней своего образования КНДР выбрала не западную, а советскую модель национального здравоохранения. Одной из отличительных ее особенностей стало принципиально другое отношение к врачам, ставка на не слишком подготовленный, но многочисленный и дешевый медицинский персонал. Неслучайно по количеству врачей на каждые 10 тыс. чел. Северная Корея по сей день превосходит Францию и США. По данным ВОЗ, в 2016 г. в КНДР на 10 тыс. населения приходится 37 врачей, тогда как в США этот показатель – 26, а во Франции — 32 [5]. Диспансеризация в КНДР обязательна, и до недавнего времени ни один гражданин не имел права ее избежать, за этим следили все инстанции государственного аппарата. В целом неплохо, по меркам бедной страны, контролируются санитарно-гигиеническая обстановка и водоснабжение.

В условиях надвигающейся эпидемии власти Северной Кореи ввели жесткий режим изоляции. Еще в феврале разведывательное агентство РК предоставило сведения, что на карантине в КНДР находятся около 7000 чел. [10].

В конце января Пхеньян пошел на еще один беспрецедентный шаг, официально запретив контрабандные операции на границе с КНР. Если раньше, в условиях экономических санкций, контрабанда поощрялась, то с января ситуация кардинально изменилась. Местные власти и правоохранительные органы закрыли границу, заблокировали каналы перемещения контрабандных товаров, а чиновников и их исполнителей, пытавшихся тайно вести дела с китайцами, жестко наказывали несмотря на чины и звания [7]. Несомненно, что принимаемые правительством решительные меры носят вынужденный характер. Они неизбежно нанесут существенный урон северокорейской экономике, однако народнохозяйственные потери не так катастрофичны, как последствия пандемии.

Несмотря на разницу в подходах Северной и Южной Кореи к предотвращению распространения COVID-19, некоторые отличия в характере и методах противодействия инфекции, две Кореи объединяет одно: борьба с пандемией коронавируса является важнейшей задачей обеспечения национальной и региональной безопасности наравне с военными, политическими и экономическими составляющими. 4 марта лидер КНДР Ким Чен Ын направил письмо президенту РК Мун Чжэ Ину, в котором поддержал народ Юга и изложил свою позицию по нынешней политической ситуации на Корейском полуострове, подчеркнув, что взаимодействие двух государств в вопросах региональной безопасности – это условие сохранения нации. Ким Чен Ын заявил, что Южная Корея «обязательно победит в этой борьбе», и предложил свою «непоколебимую дружбу и доверие» [9]. В тот же день Мун Чжэ Ин направил ответ, в котором поблагодарил за поддержку и также выразил уверенность в победе над коронавирусом.

Пандемия коронавируса явилась общей угрозой и вызовом для Юга и Севера Кореи. Пока нет оснований говорить, что эта общая беда примирила два государства. Однако совместное понимание и противостояние эпидемии могут послужить импульсом к оздоровлению межкорейских отношений и объединить нацию в долгожданном мире на Корейском полуострове.

ЛИТЕРАТУРА

1. Варивода С. Южнокорейский рецепт победы над вирусом: мощная экономика, дисциплина и соседство с КНДР. – <https://tass.ru/opinions/8112781> (дата обращения: 30.03.2020).
2. Воронцов А. Как Южная Корея обуздала коронавирус. – <https://russiancouncil.ru/analytics-and-comments/analytics/kak-yuzhnaya-koreya-obuzdala-koronavirus/> (дата обращения: 10.04.2020).
3. Кирьянов О. Как Южной Кореи и КНДР удалось справиться с COVID-19. – <https://rg.ru/2020/04/05/kak-iuzhnoj-koree-i-kndr-udalos-spravitsia-s-covid-19.html> (дата обращения: 05.04.2020).
4. Кирьянов О. Научились жить в «тонусе». Почему Южная Корея сумела быстро справиться с COVID-19. – <https://rg.ru/2020/03/30/pochemu-iuzhnaia-koreia-sumela-bystro-spravitsia-s-covid-19.html> (дата обращения: 18.03.2020).

5. Ланьков А. Карантин по Киму. Почему Северная Корея готова к эпидемии лучше многих. – <https://carnegie.ru/commentary/81320> (дата обращения: 19.03.2020).
6. Что такое пандемия? / Всемирная организация здравоохранения. – https://www.who.int/csr/disease/swineflu/frequently_asked_questions/pandemic/ru/ (дата обращения: 12.03.2020).
7. Bernal G. North Korea's silent struggle against Covid-19. – <https://asiatimes.com/2020/03/north-koreas-silent-struggle-against-covid-19/> (дата обращения: 05.04.2020).
8. General Elections. – https://world.kbs.co.kr/service/contents_view.htm?lang=e&menu_cat=issues&board_seq=383020 (дата обращения: 19.04.2020).
9. Kim Jong Un opens door to South Korea thaw with coronavirus letter. – <https://www.japantimes.co.jp/news/2020/03/06/asia-pacific/politics-diplomacy-asia-pacific/kim-jong-un-opens-door-south-korea-thaw-coronavirus-letter/#.ХqaPKykbcs> (дата обращения: 15.03.2020).
10. Kim's letter to Moon. – http://www.koreatimes.co.kr/www/opinion/2020/03/202_285805.html (дата обращения: 15.03.2020).
11. Moon's approval rating hits 17-month high on coronavirus response: poll. – <https://en.yna.co.kr/view/AEN20200413004600315> (дата обращения: 16.04.2020).
12. PM Chung calls for public cooperation to contain COVID-19. – http://world.kbs.co.kr/service/news_view.htm?lang=e&Seq_Code=151524 (дата обращения: 22.03.2020).

Е.А. РАЗУМОВ

Новые тенденции в системе социального рейтинга и информационной безопасности КНР в условиях обострения эпидемиологической ситуации

Анализируются меры правительства Китайской Народной Республики для укрепления системы социально-го кредита и кибербезопасности в условиях пандемии COVID-19. Делается вывод, что, несмотря на активные попытки китайского руководства внедрить высокие технологии и искусственный интеллект в обычную жизнь граждан, на практике при решении локальных проблем по выявлению контактных лиц с инфицированными коронавирусом не принесли должных успехов. Отмечается, что в случае возникновения таких нестандартных ситуаций, как пандемия коронавирусной инфекции, китайская система соцкредита и кибербезопасности может дать заметный сбой. Но при этом автором было замечено, что пандемия коронавирусной инфекции в значительной степени ускорила развитие интернет-торговли и телемедицины.

Ключевые слова: коронавирус, Китайская Народная Республика, система социального кредита, кибербезопасность, искусственный интеллект.

New trends in the system of social rating and information security of China in the face of escalation of epidemiological situation. E.A. RAZUMOV (Institute of History, Archaeology and Ethnology of the Peoples of the Far East, FEB RAS, Vladivostok).

The article provides an analysis of the measures taken by the government of the People's Republic of China to strengthen the social credit system and cybersecurity in the context of the COVID-19 pandemic. The author concluded that the Chinese leadership active attempts to introduce high technologies and artificial intelligence into the ordinary life of citizens did not work when local authorities needed to identify people who came into contact with infected with the coronavirus. Author noted that in the event of such non-standard situations as a pandemic of coronavirus infection, the Chinese system of social credit and cybersecurity can give a noticeable failure. At the same time, the author noted that the coronavirus pandemic has greatly accelerated the development of internet commerce and telemedicine.

Key words: coronavirus, People's Republic of China, social credit system, cyber security, artificial intelligence.

Начало 2020 г. ознаменовалось появлением в китайском г. Ухань коронавирусной инфекции, к которой не были готовы даже самые развитые государства мира. Новая пандемия явилась серьезнейшим испытанием для китайского общества во всех сферах, включая информационную безопасность и систему социального кредита.

Лидер КНР Си Цзиньпин отметил, что «Китай из большого государства в области информационных технологий должен перерасти в крупную сверхдержаву», и этот план «активно реализуется государственными органами страны» [5]. До вспышки COVID-19 правительство КНР определило несколько стратегических направлений развития в информационной сфере: 1) формирование централизованной системы на основе больших

данных, включая сбор и обработку массивов информации о переписке, экономических транзакциях и геолокации граждан и предприятий, возложенные на государственные комиссии, функционирующие в каждом административном округе КНР; 2) совершенствование технологий с использованием искусственного интеллекта [8]. В целях реализации установки руководителя КНР правительство страны приняло документ «Программа создания системы социального кредита на 2014–2020 гг.» [9], согласно которому эта система должна обрабатывать различные данные о физическом или юридическом лице и у каждого гражданина КНР появится рейтинг, позволяющий (при соответствии определенным условиям) получать определенные услуги в социальной, банковской и иных сферах.

Таким образом, между государством и гражданином выстраивается следующий алгоритм взаимодействия: если гражданин законопослушен, поддерживает линию партии, не связан с криминалитетом, то он получает различные преференции от государства. С одной стороны, «доверие государства» упрощает жизнь населения, включая юридические лица и госчиновников: цифровизация используется для получения определенного вида услуг без личного обращения в различные инстанции. Но, с другой стороны, «оцифрованность» граждан КНР позволяет соответствующим службам осуществлять тотальное слежение за каждым человеком. Это в полной мере проявилось в период карантина и самоизоляции китайцев из-за COVID-19.

Вместе с тем, несмотря на попытки китайских властей применять ноу-хау при цифровизации населения, на сегодняшний день общей информационной системы в области социального кредита и тотальной слежки пока нет. Единую систему, которую планировали начать использовать в конце 2020 г., в конечном итоге не внедрили, так как каждая провинция разработала свои системы соцкредита, а также планы развития информатизации, исходя из собственных технологических мощностей. Центральное руководство КНР критически отнеслось к местным инициативам, в результате чего провинции Хэйлуцзян, Цзилинь, Ляонин и автономный район Внутренняя Монголия подписали соглашение о создании общей системы соцкредита [4].

Пандемия коронавирусной инфекции выявила существенные недоработки и упущения в действующей системе соцкредита и наблюдения за населением. Предпринимаемые действия китайских властей не увенчались успехом, несмотря на установку около 20 млн камер с функцией распознавания лица [10]. Дело в том, что в КНР отсутствует единый механизм по сбору и обработке полученных данных, так как каждая провинция или автономный район исходит из имеющихся в наличии технологических мощностей. Кроме этого, камеры с распознаванием лиц не смогли показать собственную эффективность из-за введения местными властями масочного режима: государственным органам удавалось фиксировать только факт передвижения граждан по городу, но не идентифицировать того или иного человека. Необходимо отметить, что с подобной проблемой китайские власти уже сталкивались во время так называемой революции зонтиков в Гонконге в 2019 г. Тогда протестующие активно игнорировали официальные призывы не носить защитные маски. В результате подавить очаги восстания оказалось невозможно, так как местных организаторов митингов невозможно было опознать.

С учетом выявленных недоработок в ноябре 2019 г. Государственный комитет по стандартизации выпустил постановление, в котором призывал технологические компании приступить к разработке систем распознавания лиц [1]. Предполагалось, что новые меры помогут решить проблему идентификации человека, даже если он носит маску или иной защитный элемент.

Кроме этого, в системе социального рейтинга и информационной безопасности КНР в условиях резкого обострения эпидемиологической обстановки активно использовались данные платежных систем Alipay и WeChat Pay, которые давали возможность государственным органам отслеживать нахождение граждан и определять их активность во время карантина. К нарушителям режима самоизоляции применялись различные административные меры.

С введением карантинных мер в систему социального кредита были включены поощрения и наказания. Так, если гражданин нарушал правила самоизоляции, он терял возможность перемещаться внутри страны на высокоскоростном транспорте [2]. Однако это имело значение, только если билет приобретался на обычный поезд или автобус. В данном случае информация о пассажире помещалась на локальные сервисы той или иной компании, а после передавалась в местные правоохранительные органы. Поскольку большая китайская бюрократическая машина при всей ее информатизации и цифровизации довольно-таки неповоротлива, отслеживание тех или иных граждан в заметной степени усложняется.

В целях оптимизации контроля за населением крупная китайская информационная корпорация Tencent запустила в мессенджере WeChat мини-приложение Yiqing, которое позволило пользователям из КНР наблюдать, как в их местности или населенном пункте развивается эпидемиологическая ситуация [9].

К жестким реалиям пандемии стала приспосабливаться и внутренняя торговля. Большинство продуктовых и промышленных магазинов разработали собственные мини-приложения, в которых клиенты могли в удаленном формате заказывать различные товары. Так, магазин «K11» в г. Гуанчжоу предоставлял покупателям возможность дистанционно выбирать себе одежду: рассмотреть ее с разных сторон, на цифровой модели увидеть, как она будет выглядеть на фигуре [6].

Новые тенденции коснулись и медицины.

Например, новинкой в использовании информационных технологий в период карантина стало применение практически во всех городах КНР программ, разработанных начинающими / небольшими компаниями, для сбора биометрических данных и т.п. [7].

С января 2020 г. многие медицинские учреждения КНР подключились к программе «Умная больница» [3]. Суть ее состоит в консультировании врачами в удаленном формате. Данная программа положительно зарекомендовала себя, так как в заметной степени снизила процент инфицирования пациентов непосредственно во время посещения больниц. Также была оптимизирована коммуникация между медицинскими учреждениями посредством проведения видеоконференций через «Умную больницу». Все данные указанной программой передавались в провинциальные оперативные штабы, где составлялась статистика зараженных коронавирусной инфекцией. Это позволяло местным властям в режиме реального времени контролировать эпидемиологическую ситуацию в регионах.

Что касается тотального слежения за населением, то в местах вероятного появления больных и больших скоплений людей была установлена система видеоконтроля, оснащенная технологией искусственного интеллекта. Соответствующим образом подготовленные специалисты-компьютерщики имели возможность осуществлять мониторинг количества населения на улицах и выявлять в потоке прохожих людей с высокой температурой. Наиболее активно подобная система использовалась в метро, на железнодорожных вокзалах, на широкополосных магистралях. Кроме этого, для контроля за трафиком населения применялись специальные дроны.

Несмотря на то что китайским властям благодаря принятию комплексных мер по локализации коронавирусной инфекции удалось переломить ситуацию в положительную сторону, были выявлены серьезные недостатки в системе социального кредита и информационной безопасности страны. Результаты показали, что в случае резкого обострения ситуации, при которой необходим удаленный контроль за населением, система может дать серьезный сбой. Нет сомнений в том, что руководство КНР учтет выявленные просчеты и недостатки и в ближайшее время разработает соответствующие программные документы на партийном и государственном уровнях.

ЛИТЕРАТУРА

1. В Пекине состоялось собрание технического подкомитета Государственного комитета по стандартизации = 全国信标委生物特征识别分技术委员会换届大会在京召开. – https://share.gmw.cn/economy/xinxi/2019-11/21/content_33339258.htm (дата обращения: 23.04.2020). Кит. яз.
2. Уведомление Госсовета КНР о Программе создания системы социального кредита на 2014–2020 гг. = 国务院关于印发社会信用体系建设规划纲要 (2014–2020年) 的通知. – http://www.gov.cn/zhengce/content/2014-06/27/content_8913.htm (дата обращения: 02.05.2020). Кит. яз.
3. Интеллектуальные технологии помогают развитию медицины. Эксперты оценивают «умную больницу» будущего = 智慧技术助力医疗发展 业界展望“智慧医院”新未来. – http://www.xinhuanet.com/health/2019-10/21/c_1125132992.htm (дата обращения: 29.04.2020). Кит. яз.
4. Провинции Хэйлуцзянь, Ляонин, Цзилинь и Внутренняя Монголия подписали рамочное соглашение о создании единой системы социального кредитования на северо-востоке Китая = 黑龙江省和辽宁吉林内蒙古签署框架协议 东北共建区域统一社会信用体系. – <http://hlj.people.com.cn/n2/2019/11/17/c220027-33547715.html> (дата обращения: 23.04.2020). Кит. яз.
5. Си Цзиньпин: превращая наше государство из крупной интернет-державы в Великую интернет-державу = 习近平:把我国从网络大国建设成为网络强国. – http://news.xinhuanet.com/politics/201402/27/c_119538788.htm (дата обращения: 02.05.2020). Кит. яз.
6. Borak M. I took a walk through China's VR mall without ever leaving my couch. – <https://www.abacusnews.com/tech/i-took-walk-through-chinas-vr-mall-without-ever-leaving-my-couch/article/3078619> (дата обращения: 25.04.2020).
7. China now has the most valuable AI startup in the world. – <https://www.bloomberg.com/news/articles/2018-04-09/sensetime-snags-alibaba-funding-at-a-record-3-billion-valuation> (дата обращения: 02.05.2020).
8. Liu Xuanzun. Chinese military could deploy blockchain management. – <http://www.globaltimes.cn/content/1170370.shtml> (дата обращения: 02.05.2020).
9. WeChat запустил новую функцию «Yiqing». Tencent запустил ряд технических продуктов, которые помогут предотвратить и контролировать эпидемию = 微信开通“疫情督察”功能 腾讯推出多款技术产品助力防控疫情. – http://www.xinhuanet.com/politics/2020-01/26/c_1125503824.htm (дата обращения: 23.04.2020). Кит. яз.
10. Yuan Yang, Madhumita Murgia. Facial recognition: how China cornered the surveillance market // Financial Times. 2019. Dec., 7. – <https://www.ft.com/content/6f1a8f48-1813-11ea-9ee4-11f260415385> (дата обращения: 23.04.2020).

М.И. КОПЫЛОВ, Д.Г. ФЕДОСЕЕВ, А.Д. СНЫЧКОВ

Новые долговременные методы защиты от коронавируса COVID-19 с использованием цеолита

В качестве долговременных защитных мер от коронавируса предлагается использовать материалы, выполненные из цеолита. Цеолит высокопористый материал (15–30 %) пропитывается воздухом с захватом коронавирусных молекул и действует как молекулярное сито. Цеолит рекомендуется использовать как напылительный или эмульсионный материал на маски, мембраны, обои стен, для обработки потолков, кают, комнат, автобусов. Он может не только нейтрализовать молекулы коронавируса, но и очищать воздух от многих вредных газов.

Ключевые слова: коронавирус, цеолит, молекулярное сито, нейтрализация молекул, защита, маски, мембраны, обои.

New long-term methods of protection from COVID-19 coronavirus using zeolite. M.I. KOPYLOV (Yu.A. Kosygin Institute of Tectonics and Geophysics, FEB RAS, Khabarovsk), D.G. FEDOSEYEV (Far East Geological Institute, FEB RAS, Vladivostok), A.D. SNYCHKOV («Dalceolite Company», LLC, Khabarovsk).

The materials made of zeolite are proposed to be used as the long-term coronavirus-protective measures. Zeolite is a highly porous material (15–30 %) and it is saturated with air while capturing coronavirus molecules, acting as a molecular sieve depending on the diameter of the molecule. Zeolite is proposed to be applied as a spray or emulsion material for masks, membranes, wallpaper walls, ceilings, cabins, rooms and buses. It not only neutralizes the coronavirus molecules, but also purifies the air from many harmful gases.

Key words: coronavirus, zeolite, molecular sieve, neutralization of molecules, protection, masks, membranes, wallpaper.

Введение

Биологи, вирусологи, медики бьются сегодня над разрешением проблемы происхождения коронавируса. Откуда и каким образом появился этот агрессивный вирус? Какие способы защиты существуют, чтобы не заразиться опасным вирусом? Специалисты изучают сотни геномов вируса из анализов пациентов, чтобы понять, где началась вспышка заражения, как вирус перемещается с одного конца планеты на другой. И главное, они пытаются предсказать ранние факторы появления будущих очагов инфекции. По предварительным данным, коронавирус COVID-19 мутирует примерно два раза в месяц. Это не сильно влияет на его распространение, но помогает биологам, вирусологам, медикам понять, как вирус перемещается, и составить его своеобразное «семейное древо» [11–13] (<https://www.canada.ca/en/public-health/services/diseases/2019-novel-coronavirus-infection/>

КОПЫЛОВ Михаил Иннокентьевич – доктор геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник (Институт тектоники и геофизики им. Ю.А. Косыгина ДВО РАН, Хабаровск), *ФЕДОСЕЕВ Дмитрий Геннадьевич – кандидат геолого-минералогических наук, научный сотрудник (Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, Владивосток), СНЫЧКОВ Александр Дмитриевич – президент (ООО Компания «Дальцеолит», Хабаровск). *E-mail: dmitry_fedoseev@bk.ru

symptoms.html). Летальность от COVID-19 значительно увеличивается с возрастом пациента, это приводит к росту общей смертности от пандемии коронавируса. Люди старшего возраста и с ослабленной иммунной системой находятся в зоне риска тяжелого заболевания. Изначальным переносчиком вируса 2019-nCoV, как предполагают ученые, стали животные с рынка морепродуктов в Ухани (Китай), где шла активная торговля не только рыбой, но и сурками, змеями и летучими мышами.

Заражение вирусом вызывает лихорадку, кашель, проблемы с дыханием и постоянное отхаркивание. Инкубационный период длится несколько недель, затем практически мгновенно начинается сильнейшая лихорадка. Больные умирают от истощения, осложнений и сопутствующих инфекций. В разных странах эпидемия развивается по-разному, и на это влияет множество факторов: в одних наибольшую роль играет средний возраст населения и принятые в обществе культурные и гигиенические нормы, в других – общее состояние системы здравоохранения, в третьих – опыт ранее пережитых эпидемий, который помог властям вовремя принять необходимые меры.

Наибольшее число погибших зафиксировано в США, Бразилии, Индии, Италии, Испании, где эпидемию COVID-19 выявили почти с двухмесячной задержкой. В итоге буквально за пару недель число пациентов в этих странах взлетело до десятков тысяч. Системы здравоохранения США, Италии, Испании не выдержали пиковой нагрузки. Итальянские врачи говорили, что они не были готовы к эпидемии и что у них недостаточно персонала. Весной 2020 г. ситуация там была настолько катастрофичной, а больных так много, что врачам приходилось выбирать, кого лечить, а кому дать умереть – по законам военного времени. Итальянский Институт анестезии, реанимации и интенсивной терапии опубликовал рекомендации для врачей в чрезвычайных условиях, в которых советует лечить тех, у кого «больше шансов на выздоровление».

В Италии и Испании были закрыты школы и университеты, места массового скопления людей, бары и рестораны, магазины, кроме продуктовых и аптек, многие предприятия. Только после этого быстрый рост распространения коронавируса приостановился. За время пандемии стало ясно, что важно ограничивать контакты каждого конкретного человека с внешним миром, а вот закрывать города и страны совсем необязательно. Симуляции показывают, как изменяется кривая количества зараженных в зависимости от выбранной стратегии: не делать ничего, закрыть город на карантин, социально изолировать четверть населения, изолировать 7/8 населения. Следует отметить, что стратегия мягкой изоляции выигрывает у карантина, а почти полная изоляция – наиболее надежный способ остановить эпидемию.

Коронавирус и вирус гриппа могут иметь сходные симптомы, но генетически они абсолютно разные. Вирусы гриппа размножаются очень быстро, симптомы проявляются через 2–3 дня после заражения, а коронавирусу требуется для этого до 14 дней. Особенно опасен коронавирус тем, что в течение нескольких дней после заражения человек не испытывает никаких симптомов, но уже может заражать других. Это существенно затрудняет стратегию изоляции зараженных.

В конце января 2020 г. Всемирная организация здравоохранения объявила режим международной чрезвычайной ситуации, связанный со вспышкой коронавирусной пневмонии.

Молекулярные биологи из США получили первую трехмерную реконструкцию белков оболочки коронавируса 2019-nCoV, вызвавшего вспышку пневмонии в Китае. Это помогает ученым создать вакцины и лекарства от данной болезни. Получены биофизические и структурные свидетельства того, что белки оболочки 2019-nCoV прикрепляются к рецепторам заражаемых клеток сильнее, чем это делает вирус атипичной пневмонии (SARS). Вдобавок нашло подтверждение, что несколько уже известных антител, которые нейтрализуют SARS, не могут соединяться с белками нового коронавируса.

Британские врачи считают, что тех, кто вылечился от коронавируса, могут ждать серьезные проблемы со здоровьем в будущем [10]. Согласно их исследованию у 30 % переболевших COVID-19 в дальнейшем может развиваться фиброз легких – болезнь, при

которой в легких образуется рубцовая ткань, что приводит к нарушению дыхательной функции. У половины выздоровевших могут наблюдаться физические, когнитивные и психологические нарушения, а у 10 % пациентов выявлено острое поражение сердца. По мнению ученых, коронавирус способен вызвать повреждения мозга, которые впоследствии могут привести к болезни Альцгеймера. О том, что COVID-19 грозит организму человека тяжелыми последствиями, в апреле сообщили и российские ученые. Ученый-вирусолог Российской академии наук Феликс Ершов указал, что у заразившегося могут возникнуть серьезные повреждения головного мозга. Как и вирусы гриппа и герпеса, коронавирус способен приводить к отмиранию целых участков мозга и сильно ослаблять иммунитет.

В настоящее время в Российской Федерации и других странах ведутся клинические испытания вакцины. В России тестируют сразу несколько вариантов, но массовое их производство начнется не раньше 2021 г. За это время коронавирус может принести миру много бед. Большинство экспертов настроены оптимистично относительно действенности разрабатываемых вакцин, но стопроцентной гарантии ее высокой эффективности нет. Как пример, поиски вакцины от ВИЧ безрезультатно ведутся уже 35 лет. Впрочем, за это время появилось несколько препаратов для эффективной профилактики заболевания.

Размеры коронавируса и способы защиты от него

Немного о коронавирусе и его размерах, чтобы понимать, какие маски и респираторы могут его отфильтровывать, а какие нет и какие меры будут эффективными для длительной защиты.

Средний размер вируса – 0,1 мкм. Зная примерно размер опасного объекта, мы уже можем говорить о масках, которые могут полностью отфильтровать вирус и не способны этого сделать, но могут отфильтровать частички пыли, спор, капли влаги или даже слюны человека. Согласно исследованиям [11–13] вирус «приклеивается» к этим носителям и перемещается вместе с ними.

Начнем с устройства с самой высокой защитой – PAPR (Powered Air-Purifying Respirator). Данное устройство имеет конструкцию герметичного шлема, в котором сложный, комбинированный и очень дорогой входной фильтр очищает воздух и защищает человека от токсичных газов, вирусов и бактерий. Такой шлем имеет централизованную систему подачи воздуха. В ряде случаев дыхательная смесь может подаваться даже не через фильтр, а из отдельной емкости с абсолютно чистой дыхательной смесью. Компрессор приводится в действие электрическим мотором, поддерживает в зоне дыхания необходимое давление и доставляет к лицу человека совершенно чистый воздух. Но это слишком сложно, неудобно, дорого и недоступно большинству населения [12].

Следующий по надежности уровень защиты от коронавируса имеют полнолицевые маски со сменными картриджами. Такая защита лица убережет человека от попадания вируса на слизистую глаз, а правильно подобранный картридж защитит от вдыхания вируса через нос и рот. Однако эта система защиты слишком дорогая, поэтому в настоящее время ею пользуются только врачи и исследователи.

Более простая защита – респираторы полулицевые (Half-Mask Respirator), т.е. маски, не защищающие лицо полностью (глаза открыты). В этом случае нужно дополнительно предусмотреть защиту глаз очками, а лица – щитком либо прозрачным щитком с пристроенными очками.

Самый высокий уровень защиты имеют фильтрующие полумаски марки FFP (Filtering Face Piece). Они способны полностью отфильтровать коронавирус, и именно этот тип масок рекомендован для использования врачами в клиниках. В настоящее время респираторы этого класса поступают только для защиты врачей – в больницы и клиники. Некоторые производители респираторы и маски FFP3 маркируют просто как P3.

Более слабая защита у респираторов FFP2 (средний уровень) и FFP1 (низкий уровень). Эти респираторы могут не отфильтровать сам коронавирус (размер коронавируса меньше ячеек фильтрующей системы), но снизят вероятность заражения благодаря созданию преград для проникновения в организм человека частичек, к которым чаще всего крепится коронавирус. Респираторы с легкостью могут задержать и отфильтровать эти частицы, а значит шансы не заразиться довольно высоки. Для данных респираторов тоже возможна упрощенная маркировка – соответственно P2 и P1.

В продаже встречаются респираторы или сменные фильтры для респираторов под маркой РМ2.5. Цифры в названии таких респираторов означают размер частицы в микронах, которую фильтр способен задержать. В США производятся и продаются респираторы № 95 с фильтрующей способностью для частиц размером более 0,3 мкм.

Не следует пренебрегать и самодельными трехслойными масками из марли. Ученые из Эдинбургского университета проверяли способность различных масок справляться с фильтрацией частичек размером 0,007 мкм (почти на 2 порядка меньше размера коронавируса). Результаты тестирования хирургической маски (не самодельной, а промышленного производства) показали, что такая маска задерживает до 80 % частичек, т.е. риск заражения становится меньше как минимум в 5 раз по сравнению с ситуацией, когда человек вообще не пользуется средствами защиты. Даже самый простой хлопчатобумажный шарф, согласно результатам испытаний, может остановить 28 % частичек. Согласитесь, это намного лучше, чем ничего. Ведь врачи оценивают вирусную нагрузку, а чем меньше копий вируса попадает в организм, тем эффективнее иммунная система справляется с болезнью. Поэтому важно защищать себя любыми доступными типами масок. Даже самодельными, это лучше и разумнее, чем вообще не пользоваться средствами защиты.

Маску должны носить не только те, кто болен и не хочет заражать других, но и здоровые люди, если хотят избежать болезни. Сколько времени можно носить маску и нельзя ли ее восстановить или продлить срок использования? Можно ли стирать и стерилизовать маски? Какое время можно пользоваться респираторами?

Маски постепенно увлажняются и теряют способность фильтрации: фильтр задерживает частички не только и не столько за счет размера ячеек, сколько благодаря эффекту электризации, а с увлажнением маски этот эффект теряется. Максимально допустимое время использования масок 8 ч, но следует помнить, что после 6 часов использования их защитная способность стремительно падает. Хирургическая трехслойная марлевая маска пригодна в течение 2 ч, после чего ее следует осторожно снять и утилизировать.

Респираторы марок FFP1, FFP2 и FFP3 рассчитаны на эффективную работу в течение 2, 4 и 6 ч соответственно. Респиратор нельзя использовать повторно, его необходимо утилизировать сразу после снятия с лица.

Приведенные выше массовые средства защиты относятся к одноразовым. Учитывая масштабы и опасность заражения коронавирусом, следует искать надежные природные материалы, которые могут длительное время защищать и нейтрализовать вирусные молекулы. Одним из таких материалов может стать минерал цеолит, запасы которого в природе значительные.

Свойства цеолитов как материала для использования в средствах защиты от коронавируса

Цеолиты – большая группа близких по составу и свойствам минералов, водные алюмосиликаты кальция и натрия из подкласса каркасных силикатов со стекляннным или перламутровым блеском. Эти минералы известны своей способностью отдавать и вновь поглощать воду в зависимости от температуры и влажности. Другое важное свойство цеолитов – способность к ионному обмену, избирательному выделению и впитыванию различных веществ.

Микроскопически (по габитусу, строению) выделяют следующие типы цеолитов: волокнистые (натролит, томсонит, сколецит, ломонтит, гоннардит, эдингтонит, морденит, эрионит, жисмондин (абразит), феррьерит и др.), листоватые, или пластинчатые (стильбит, гейландит, брюстерит и др.), и изометрические (шабазит, филлипсит, гармотом, гмелинит, дакиардит, клиноптилолит и др.).

Кристаллическая структура природных и искусственных цеолитов образована тетраэдрическими группами $\text{SiO}_{2/4}$ и $\text{AlO}_{2/4}$, объединенными общими вершинами в трехмерный каркас, пронизанный полостями и каналами (окнами) размером 2–15 Å. Открытая каркасно-полостная структура цеолитов $[\text{AlSi}]_n\text{O}_{4n}^-$ имеет отрицательный заряд, компенсирующийся противоионами (катионами металлов, аммония и др., введенных по механизму ионного обмена) и легко дегидратирующимися молекулами воды. Размеры окон цеолита гораздо меньше размера коронавируса, что позволяет полностью преградить коронавирусу дорогу для проникновения в организм человека.

Каждый вид цеолитов характеризуется определенным размером полостей и окон, поэтому молекулы других веществ при фильтрации поглощаются и пропускаются цеолитами избирательно. Это явление называют молекулярно-ситовым эффектом [2].

Сырьевая база цеолитов

Цеолиты образуются в щелочных условиях среды в процессе диагенеза или катагенеза. Цеолитизация в вулканогенно-осадочных и осадочных погребенных породах происходит на стадии катагенетического изменения при погружении осадков на глубины от 200 м до 5–15 км. Встречаются в миндалинах вулканических и трещинах эффузивных пород, где образуются как продукт поствулканических процессов, в песчаниках, аркозах и граувакках, а также в трещинах и пустотах гнейсов и кристаллических сланцев. Наиболее распространенные представители группы цеолитов – натролит, шабазит, гейландит, стильбит (десмин), морденит, томсонит, ломонтит, клиноптилолит. С глубиной глинистые минералы (главным образом каолинит) преобразуются в высококремнистые клиноптилолит, морденит и др. в кислых породах или шабазит, сколецит, гейландит, вайрацит и др. – в более основных. Более глубинные зоны изменения характеризуются развитием пропиловитовой ассоциации (альбит, эпидот, хлорит), в которую из цеолитов входит ломонтит. Яркие примеры такой зональности прослеживаются на Паужетском месторождении на Камчатке и в гидротермально измененных породах Новой Зеландии.

Месторождения цеолита многочисленны и известны во многих странах мира. Основные разведанные запасы природных цеолитов сосредоточены в Европе, России, Японии и США. Объем разведанных запасов цеолитов в странах СНГ составляет порядка 1,6 млрд т [4–6, 9, 15].

В России к наиболее крупным и перспективным с точки зрения разработки месторождениям относятся Хотынецкое (Орловская область), Татарско-Шатрашанское (Республика Татарстан), Пегасское (Кемеровская область), Сахаптинское и Пашенское (Красноярский край), Холинское, Шивыртуйское и Бадинское (Читинская область), Хонгуруу (Республика Саха), Куликовское и Вангинское (Амурская область), Чугуевское (Приморский край), Середочное (Хабаровский край), Лютогское и Чеховское (Сахалинская область), Пастбищное (Чукотский АО) и Ягоднинское (Камчатская область).

Проявления цеолитизации широко распространены в природе, однако обычно валовое содержание цеолитов невысокое. Практический интерес они представляют только в случае мощных или протяженных тел. В качестве примера можно привести цеолитосодержащие базальтовые покровы Сибирской платформы триасового возраста [6, 8]. Эти покровы, излившиеся на обводненные осадочные и вулканогенно-осадочные породы пермского и нижнетриасового возраста, имеют среднюю мощность 1200 м и протяженность 330 тыс. км². Количество пустот в них достигает 50 % объема породы. Пустоты

на 40–50 % выполнены гейландитом, стильбитом, морденитом, ломонитом, натролитом. Аналогичного типа покровы, содержащие 35–40 % шабазита, известны в Приамурье – месторождение Середочное [7]. На Кяхтинском месторождении (Бурятия) в верхних частях базальтовых потоков миндалины выполнены шабазитом, реже сколецитом или шабазитсколецит-стильбитовыми с гейландитом образованиями. Содержание цеолитов здесь составляет 12 % объема породы [3].

По состоянию на 2016 г. ежегодная добыча природного цеолита в мире составляет около 3 млн т. Основными добытчиками в 2010 г. были: Китай (2 млн т), Южная Корея (210 тыс. т), Япония (150 тыс. т), Иордания (140 тыс. т), Турция (100 тыс. т), Словакия (85 тыс. т) и США (59 тыс. т).

Использование цеолитов в промышленности, медицине и космосе

Доступность богатой цеолитом породы по низкой цене и нехватка конкурирующих минералов и горных пород, вероятно, являются наиболее важными причинами широкомасштабного использования цеолитов.

Цеолиты, в том числе искусственные пермутиты, находят широкое применение в доочистительных приборах в качестве адсорбентов, ионообменников, молекулярных сит; применяют их также в качестве доноров и акцепторов электронов [1, 2]. Цеолиты используются в вакуумных насосах сорбционного типа. Весьма широкое применение они получили как гетерогенные катализаторы, в том числе катализаторы при производстве нефтехимической продукции и продуктов нефтепереработки. Цеолиты используются в аналитической химии в качестве цеолит-модифицированных электродов, а также для обнаружения газов, в разделительных и концентрационных процессах.

Из цеолитов благодаря их пуццолановой активности изготавливают активные минеральные добавки для цементов, бетонов и строительных растворов.

Важной сферой применения цеолитов является космос. В системах жизнеобеспечения космических станций «Мир», МКС, «Скайлэб» они использовались и используются для поглощения углекислого газа, выделяемого космонавтами при дыхании. Цеолит способен пропитываться газом, но не любым, а с определенным диаметром молекул. Углекислота цеолитом захватывается, а азот и кислород почти нет, т.е. цеолит действует как молекулярное сито. Чтобы цеолит не вымокал (на станции нормальная влажность, каждый человек выдыхает за сутки 1 л воды), сначала воздух сушится и охлаждается, после чего подается в камеру с цеолитом. В российской установке «Воздух» таких камер три, в американской системе удаления углекислого газа CDRA (Carbon Dioxide Removal Assembly) – две. Какое-то время одна из камер впитывает углекислый газ, затем поток воздуха подается в следующую. В это время внутри предыдущих камер создается вакуум и цеолит подогревается. Углекислый газ выходит из цеолита за пределы станции – в космос. После этого первая камера вновь используется для наполнения воздухом, а две другие работают в режиме выветривания в вакуум. Цеолитовые адсорбенты используются многократно.

Многочисленными работами зарубежных и отечественных ученых доказана эффективность применения природных сорбентов для очистки дымовых газов от пыли и диоксида серы, влияющих на иммунитет человека, а также для очистки воздуха от патогенных бактерий, грибков и вирусов [1, 2, 14].

У цеолитов не выявлено противопоказаний для перорального, аэрозольного или аппликационного способов применения. Использование биомедицинского природного цеолита («камня 21 века») дает положительный эффект при очистке крови, инсулина, лечении аллергических, кожных заболеваний и стоматитов. Цеолиты применяются в медицине для детоксикации, особенно тяжелых металлов, и лечения желудочно-кишечных болезней, в том числе диареи и язвы.

Цеолиты в роли барьеров для нейтрализации молекул коронавируса

Рассмотрим процессы физической адсорбции на сорбентах с высокоразвитой поверхностью. Обычно различают адсорбцию, когда поглощение веществ из раствора происходит только поверхностью коллоидов, и сорбцию, когда поглощение осуществляется всей массой сорбента. К сорбентам, которые поглощают вещество всей своей массой, относятся цеолиты, активированные угли и алюмосиликаты.

Физическая адсорбция осуществляется только за счет сил межмолекулярного взаимодействия. Молекулы адсорбента сохраняют свою индивидуальность, поэтому физическую адсорбцию называют молекулярной [2]. Физическая адсорбция, как правило, уменьшается с ростом температуры. Однако есть и исключения из этого правила: например, адсорбция аргона и азота на цеолитах проходит через максимум. Влияние давления на физическую адсорбцию газов прямо противоположно: с ростом давления адсорбция возрастает. Поскольку теплота физической адсорбции в 5–10 раз ниже теплоты хемосорбции, а следовательно, и энергия регенерации гораздо ниже, чем для процессов хемосорбции, выгодно организовать циклический процесс очистки по типу сорбция–регенерация.

При полярной (ионной) адсорбции происходит поглощение из природных вод катионов или анионов. Отрицательно заряженные коллоиды адсорбируются из растворов в катионы, а положительно заряженные – в анионы. В природе наиболее распространены коллоиды с отрицательным зарядом, в связи с чем основное значение имеет адсорбция катионов. При неполярной адсорбции из раствора поглощаются целые молекулы вещества. Так глины и почвы поглощают газы и пары. В результате барьерных явлений в глинах, торфах, углях и других адсорбентах, имеющих отрицательный заряд, возможно накопление меди, цинка, свинца и других катионов.

Адсорбция подчиняется закону действия масс: она тем интенсивнее, чем выше концентрация катионов в веществе, воде. Наиболее энергично поглощаются многовалентные катионы. Среди ионов с одинаковой валентностью энергия поглощения растет с ростом атомного веса и радиуса ионов – $Li < Na < K < Rb < Cs$. Существенные коррективы вносятся также на адсорбционном барьере, с образованием комплексных ионов и других явлений. Минералы с ковалентной и ионной связью атомов имеют различные механизмы растворения. Одно из различий – совмещенное растворение между твердой и жидкой фазами за счет привноса током в поровое пространство ионов, образующих с компонентами твердой фазы легко растворимые соединения. Ионы натрия, хлора и некоторых других элементов обычно способствуют растворению карбонатов и силикатов. Поступление ионов железа и CO_3^{2-} , наоборот, обуславливает образование новых соединений в твердой фазе, которые заполняют поровое пространство и приводят к сужению и зарастанию пор. Общий характер растворения сходен для разных минералов и горных пород. Все минералы подвержены растворению. Кремний преимущественно оказывается в анионной, кальций, магнетит, железо, медь, свинец, никель и другие металлы – в катионной форме. Однако 20–30 % перечисленных металлов нередко находится в форме анионов. Процесс растворения интенсифицируется во времени, вызывая при постоянной напряженности поля усиление разрушения минералов. Наиболее легко в подвижное состояние переходят компоненты из акцессорных минералов, образовавшихся в поздние стадии формирования пород и находящихся в низкой концентрации. Компоненты породообразующих минералов, присутствующие в макроконцентрациях, наоборот, оказываются более закрепленными.

Практически важными при удалении из воздуха молекул коронавируса и CO_2 являются процессы адсорбции при повышенном и десорбции при атмосферном (или даже пониженном) давлении, что не требует расхода тепла при десорбции. Для полного удаления из воздуха молекул коронавируса процессы адсорбции–десорбции должны протекать при разных температурах. Полный технологический цикл включает стадию адсорбции, нагрев слоя адсорбента, стадию десорбции и охлаждение перед проведением следующего цикла.

Конструкции устройств для регенерации воздуха и нейтрализации коронавируса с использованием материалов из цеолита

Рассмотрим различные конструкции устройств с использованием цеолитового материала для регенерации воздуха и нейтрализации коронавируса в герметичных обитаемых объектах – на кораблях, подводных лодках, в поездах, общественных и жилых помещениях, машинах скорой помощи и т.д.

С течением времени любые вредные вещества, тем более молекулы коронавируса, находящиеся в замкнутом пространстве, накапливаясь, дают кумулятивный эффект. В малом пространстве наличие токсичных веществ даже в небольшой концентрации может привести к опасной для жизни человека ситуации. Это наглядно можно проиллюстрировать на примере выкуривания в замкнутом пространстве только одной сигареты: в результате образуется около $3,0 \cdot 10^{-5}$ м³ оксида углерода. Подобная картина наблюдается в любом обитаемом герметичном объекте.

Оценка влияния газового состава атмосферы подводных лодок и космических обитаемых объектов на самочувствие экипажа и возможностей создания чистой атмосферы в условиях длительного пребывания в замкнутых объектах дана в работах [1, 2, 6, 7, 9] на основе накопленного опыта, а также обобщения и анализа экспериментальных данных. По данным авторов работ [2, 9], в атмосфере атомных подводных лодок первого поколения (начало XX в.) было обнаружено более 1000 соединений, в основном углеводороды ряда алканов и циклоалканов от CH_4 до C_2H_4 , непредельные углеводороды, алифатические спирты (кетоны, альдегиды) и различного вида хладоны. Концентрации каждого из веществ изменялись в широком диапазоне – от одного до четырех порядка величины. В монографии Н.Ф. Гладышева, Т.В. Гладышевой, С.И. Дворецкого [5] обобщены материалы по адсорбционной очистке и регенерации воздуха в герметичных обитаемых объектах различного назначения, дана оценка современного состояния и перспектив развития систем поддержания газового состава атмосферы в таких объектах, подробно описаны системы регенерации воздуха с использованием надпероксида калия.

При мониторинге состава воздуха на космической станции «Мир» были обнаружены повышенные концентрации вредных веществ (порядка $10\text{--}10^2$ мг/м³). После одного года пилотирования по большинству веществ концентрация превышала предельно допустимую, при этом в полете была выявлена более высокая загрязненность воздуха по сравнению с наземным экспериментом, что связано с появлением техногенных загрязнений от работы механизмов.

Реализация космических орбитальных полетов на околоземной орбите, а также планирование и осуществление межпланетных полетов предполагают создание максимально замкнутой системы жизнеобеспечения нового поколения с использованием новых конструкций и материалов и применением интенсивных физико-химических процессов регенерации.

При появлении такого агрессивного вируса, как COVID-19, для регенерации и очистки воздуха в герметичных обитаемых объектах гражданского и военного назначения, учитывая масштаб мероприятий, требуются естественные дешевые и эффективные материалы. К таким материалам относится, в частности, цеолит. Однако новые материалы обуславливают необходимость создания новых конструкций, форм и составов химических компонентов, способных нейтрализовать действие коронавируса и одновременно очистить воздух.

С применением цеолита можно изготавливать пластины типа штукатурки, обои на стены, щиты, маски, мембраны, кассеты для респираторов. Это позволит сделать защитные средства многоразовыми, а некоторые из них установить в жилых и общественных помещениях. Для усиления эффекта обмена воздуха со штукатуркой, обоями, пластинами, щитами предлагается с помощью существующих или специально сделанных фильтровентиляционных устройств поддерживать напор воздуха. Перед проведением дезинфекции с

продувкой воздуха вентилятором необходимо закрыть окна и двери в помещениях, подлежащих обработке.

Для индивидуальной защиты от коронавируса предлагается изготавливать многообразные мембраны, кассеты, пластины с покрытием их цеолитовой суспензией.

На сегодняшний день можно говорить о трех типичных модификациях мембранных элементов: плоской, рулонной, трубчатой в виде полых волокон.

Трубчатые мембраны представляют собой трубки диаметром от нескольких миллиметров до 1–2 см, изготовленные из пористого материала – цеолита. Они могут быть симметричными или асимметричными. Симметричная мембрана имеет одинаковую пористость по всему объему материала. У асимметричной же трубки на одной из поверхностей, наружной или внутренней, при изготовлении формируют тонкий слой такого же или другого материала с гораздо большей плотностью. Этот слой и является работающим, так как именно он определяет задерживающую способность мембраны. Более крупнопористый материал играет роль подложки с дренажными свойствами.

Мембраны в виде полых волокон тоже имеют трубчатую форму, но диаметр трубок составляет обычно от 0,1 до 0,5 мм. Из-за их малого размера в единицу объема фильтровального аппарата можно поместить огромное количество волокон, а суммарная рабочая поверхность таких мембран будет в десятки и даже сотни раз выше, чем у трубчатых мембран большого диаметра. Имея развитую рабочую поверхность, волоконные фильтры обладают и гораздо большей по сравнению с трубчатыми производительностью при прочих равных условиях – давлении, размере пор и т.д. Но обладая высокой плотностью упаковки, волокна имеют и самый толстый рабочий слой мембраны (относительно всей толщины стенки), поэтому их пропускная способность в пересчете на единицу рабочей поверхности может уступать мембранам других типов.

Рулонные мембраны выполнены в виде пакета материалов, герметично соединенных между собой по периметру. При этом внутренняя трубка изготовлена из непроницаемого для газа полимера, а внешняя часть, в которой содержится адсорбент, – из пористого полимера. В качестве адсорбента рекомендуем использовать цеолит с высоким содержанием кремнезема, например ZSM5, или другие материалы типа молекулярных сит – MCM41 или MCM48.

Природные цеолиты (клиноптилолиты и др.), являющиеся молекулярными ситами, могут очищать воздух от бактерий, грибов и вирусов. Через цеолиты, способные пропускать через себя молекулы воды размером 0,25–0,28 мкм, не проходят молекулы непатогенной кишечной палочки M-17 (*E. coli* M-17), имеющие размерность 0,4–3,0 мкм, молекулы энтерококка (*Str. faecalis* – фекальный стрептококк) размером 0,6–2,5 мкм и тем более крупные шаровидные молекулы коронавируса размером 75–160 мкм.

Плоские мембраны производят в виде пленок, покрытых цеолитовой суспензией. Они могут быть бесподложечными (однородное вещество), армированными (с тканевой основой и нанесенным на нее пористым материалом) и подложечными (с подложкой из крупнопористого материала и нанесенным рабочим слоем).

Процесс мембранного разделения основан на различной способности компонентов газов воздуха проникать через пористое препятствие – мембрану. Данный метод более предпочтителен для удаления молекул коронавируса и CO₂, поскольку он требует меньше энергии, чем методы химической (газ–жидкость) и адсорбционной (газ – твердое тело) очистки. Неорганические мембраны в основном изготавливаются из цеолитов типа NaY, KY и пористых стекол. Они разделяются на две структурные группы – пористые и плотные. В пористых мембранах верхний слой состоит из пористого металла или керамики, которые обеспечивают механическую прочность при малом сопротивлении переносу воздуха. Такие мембраны характеризуются высокой проницаемостью, но низкой селективностью. Плотные неорганические мембраны состоят из тонкого слоя пленок из металлов, таких как палладий и его сплавы (Pd–Ag, Pd–Au, Pd–Cu, Pd–Pt и др.). Эти мембраны имеют высокую селективность, но малую проницаемость из-за очень низких коэффициентов диффузии по CO₂ в твердых веществах.

Существуют различные методы мембранной очистки. Один из них состоит в том, что удаление диоксида углерода проводится с использованием ионообменных мембран на основе цеолитов жабазитового типа. Активный компонент иммобилизован внутри пористой структуры несущей мембраны за счет капиллярных сил. Ионный обмен в порах мембраны происходит за счет диффузионных сил или под воздействием невысокого давления на мембрану. Такие мембраны являются предпочтительными из-за их высокой селективности, проницаемости и экологичности.

Для повышения эффективности действия защитные устройства типа щитов, экранов, предназначенные для нейтрализации коронавируса, могут подключаться к электрическим устройствам. Под действием электрических токов на катоде и аноде будут происходить электрохимические процессы с улавливанием на барьерах коронавирусных молекул.

Выводы

Предлагается нестандартный способ защиты людей от коронавируса на объектах военного (убежища гражданской обороны, корабли, подводные лодки, космические станции и др.) и гражданского (учебные учреждения, больницы, кинозалы, теплоходы, поезда и др.) назначения с помощью различных изделий с использованием природного вещества – цеолита и цеолитовой суспензии. Цеолитовый материал является многофункциональным: он не только нейтрализует молекулы коронавируса, но и очищает воздух от многих вредных газов. Наиболее эффективны цеолиты с высоким содержанием кремнезема (такие как ZSM5) или материалы типа молекулярных сит – MCM41 и MCM48. Основное технологическое решение базируется на свойствах мембран с фильтрами из высокоэффективных сорбентов – цеолитов. Нейтрализация молекул коронавируса через пористое препятствие – мембрану является эффективным, поскольку требует меньше энергии, чем другие методы.

Основываясь на практике применения цеолитов в медицинских целях, можно полагать, что использование этого материала в устройствах (мембранах, кассетах, пластинах, щитах, экранах), предназначенных для защиты от коронавируса, является безопасным для человека.

По материалам исследований готовится патент на изобретение совместно с ООО «Дальцеолит», которое уже имеет ряд аналогичных изобретений (например, патенты на изготовление фильтров для очистки воды, биологической очистки сточных вод, на способ снижения содержания железа в воде и др.). Свои технологические решения и разработки компания «Дальцеолит» неоднократно представляла на Межрегиональной Приамурской торгово-промышленной ярмарке и в 2004 г. была удостоена золотой медали за бытовой фильтр «Цеолитовый» для очистки питьевой воды. Разработка данного фильтра отмечена также дипломом Всероссийского выставочного центра. В 2003 г. компании как участнику Недели высоких технологий в Санкт-Петербурге вручен диплом «За содействие в развитии научно-промышленного комплекса». Компания «Дальцеолит» награждена также дипломом Министерства образования и науки Российской Федерации за активное участие в Первой международной выставке «Перспективные технологии XXI века», состоявшейся в мае 2004 г. в Москве.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аксель-Рубинштейн В.З. Санитарная химия атмосферы гермообъектов. СПб.: Пресс-Сервис, 2010. 354 с.
2. Андерсон У.Л., Снайдерс Р.А. Эволюция веществ в замкнутой атмосфере // Человек под водой и в космосе: пер. с англ. М.: Воениздат, 1967. С. 35–45.
3. Беляков Е.О. Построение петрофизических моделей фильтрационно-емкостных свойств текстурно-неоднородных терригенных коллекторов: на примере отложений АВ1 Самотлорского и БТ Яро-Яхинского и Заполярного месторождений : автореф. дис. ... к.г.-м.н. / Тюменский гос. нефтегазовый ун-т. Тюмень, 1998. 27 с.

4. Брек Д. Цеолитовые молекулярные сита. М.: Мир, 1976. 781 с.
5. Гладышев Н.Ф., Гладышева Т.В., Дворецкий С.И. Системы и средства регенерации и очистки воздуха обитаемых герметичных объектов. М.: Изд. дом «Спектр», 2016. 203 с.
6. Гладышева Т.В., Гладышев Н.Ф., Дворецкий С.И., Суворова Ю.А. Известковые хемосорбенты. Получение. Свойства. Применение. М.: Изд. дом «Спектр», 2015. 184 с.
7. Григорьев А.И., Баранов В.М., Сияк Ю.Е. и др. Результаты эксплуатации комплекса систем жизнеобеспечения космической станции «Мир» // XII конференция по космической биологии и авиакосмической медицине: материалы конф., 10–14 июня 2002 г., Москва. М., 2002. С. 308–309.
8. Казьмин Л.А., Мухина А.М. Особенности образования цеолитов в корях выветривания туфов основного состава // Литогенез, рудоносность и цеолиты. Николаевск-на-Амуре, 1987. С. 68–69.
9. Каймаков А.К., Кобзарь К.П., Волков Н.Е. и др. О цеолитонности главной железорудной зоны Тургая // Изв. АН КазССР. Серия геол. 1986. № 2. С. 66–70.
10. Карабаев М.С., Исмаилов М.И., Шааков Б.Б. Цеолиты Сарытауского вольфрамowego месторождения (Восточный Букантау, Центральные Кызыл-Кумы) // Узб. геол. журн. 1985. № 6. С. 67–70.
11. Самсонов Н.М., Бобе Л.С., Гаврилов Л.И. и др. Опыт работы регенерационных систем жизнеобеспечения экипажей на космических станциях «Салют», «Мир» и МКС // Авиакосмическая и экологическая медицина. 2008. Т. 42, № 6-1. С. 10–12.
12. Al-Tawfiq J.A., Memish Z.A. Update on therapeutic options for Middle East respiratory syndrome coronavirus (MERS-CoV) // Expert review of anti-infective therapy. 2017. Vol. 15, N 3. С. 269–275.
13. Behzadi M.A., Leyva-Grado V.H. Overview of current therapeutics and novel candidates against influenza, respiratory syncytial virus, and Middle East respiratory syndrome coronavirus infections // Front. Microbiol. 2019. Vol. 10. P. 13–27.
14. Chen N., Zhou M., Dong X. et al. Epidemiological and clinical characteristics of 99 cases of 2019 novel coronavirus pneumonia in Wuhan, China: a descriptive study // Lancet. 2020. Vol. 395. P. 507–513. DOI: 10.1016/S0140-6736(20)30211-7.
15. Sheppard R.A. Zeolites in Sedimentary Rocks: professional paper. 820 // United States mineral resources / eds D.A. Brobst, W.P. Pratt. Washington, DC: USGS, 1973. P. 689–695. DOI: 10.3133/pp820.

Какие уроки мир должен извлечь из пандемии

Китай «чихнул» – и мировая экономика покатила в тартарары. В западном политологическом мире паника: Пекин коварно воспользовался пришествием коронавируса и, эксплуатируя раздутые пропагандой успехи Китая в борьбе с ним, оттирает США с позиции мирового лидера. И после этого кто-то еще сомневается в глобальном статусе Китая?

Много говорят и пишут о том, что коронавирус изменяет мир. Не согласен. Мир начал кардинально меняться до эпидемии. Квинтэссенция этого изменения – утрата Западом многовекового политического, экономического и – главное – идеологического доминирования над Востоком. Глобальный марш Китая заставил многих политиков на Западе, которые сильно расслабились после крушения СССР, встряхнуться, оглядеться вокруг и неожиданно увидеть, что их почиванию на лаврах приходит конец. Более того, этот непонятный, амбициозный и неуступчивый Китай еще больше сдружился с неожиданно воспрянувшей Россией, и они вместе намерены переделать столь милый упомянутым политикам мир западного господства.

Эпидемия коронавируса лишь обнажила, выставила происходящие процессы на всеобщее обозрение. Она показала, насколько болезненно западный мир переживает эти изменения, которые демонстрируют эфемерность некоторых из его якобы универсальных ценностей, о которых моментально забывают, когда на кону стоит собственная жизнь. Мало кто вспоминает о свободе и демократии, когда речь идет о спасении человеческих жизней. Но в целом реакция Запада на не такую уж смертельно опасную эпидемию явно неадекватна ни с точки зрения организации борьбы с ней, ни с позиции морали.

Но она также показала, что азиатские цивилизации, где понятие «демократия» вторично по отношению к традиционной социальной организации, лучше подготовлены к борьбе с такой напастью. Опасения Запада по поводу того, что международное сообщество увидит в авторитарной модели КПК альтернативу западной выборной демократии и выдаст ей «кредит доверия» на развитие нового пути к миру, процветанию и современности, по которому могут последовать другие страны, имеют все основания. В своей борьбе с коронавирусом Китай представил эффективную систему управления обществом и решения экстремальных задач. Его выход из полосы экономического застоя будет еще одним доказательством эффективности этой системы.

Как мне кажется, мир должен извлечь из нынешних событий три важных урока.

Первый урок. Как говорят специалисты, нынешняя эпидемия – это экологически обусловленная проблема. Она возникла потому, что человек не смог приспособиться к изменениям окружающей среды, которые сам спровоцировал. Природа еще раз продемонстрировала свое нежелание подчиняться, напомнила о важности бережного к ней отношения и ее непрерывного изучения. Если бы не было эпидемии коронавируса, ее следовало бы придумать, чтобы напомнить человечеству о настоящих ценностях, которыми оно обладает: прозрачным воздухом, голубым небом, зелеными лесами, незамутненной водой и радостью человеческого общения.

Второй урок. Распространение коронавируса по планете наглядно продемонстрировало плюсы и минусы глобализации. Мы действительно все в одной лодке. Но только правда в том, что за кем-то примчатся спасатели, у кого-то есть спасательный круг, кого-то

эвакуируют вертолетом, а остальным приходится полагаться только на самих себя. Кто-то станет после всей этой вакханалии много богаче, а кому-то суждено умереть от голода. Это очередная проверка на прочность правительств и политиков, государств и народов, друзей и врагов. Не все ее выдерживают. Как в любой кризисной ситуации, есть обычные люди, которые проявляют лучшие человеческие качества: гуманизм, доброту, человечность, – а есть и фигуры с фальшивых пьедесталов, которые ведут себя как мелкие людишки.

Третий урок. Чтобы победить в гибридной войне, которая уже всюду полыхает на планете, надо вкладываться прежде всего не в вооружение, а в изучение человека и меняющейся среды его обитания. К сожалению, медицинская наука оказалась не готова к такому удару со стороны природы. Появление чего-то, подобного нынешнему COVID-19, ученые предполагали, но подготовиться к нему не смогли. Почти через полгода после вспышки коронавируса главным лекарством от него остается «сидим дома». Беда это общая, и эффективно бороться с ней можно только вместе. Международное сотрудничество в этом крайне необходимо. И не только в области медицинских исследований. Одно из заметных последствий эпидемии в России – внезапное осознание чиновниками значения медицины и значимости профессии врача. В здравоохранение пошли большие деньги. Заговорили о медицинской науке. Ученых и врачей стали приглашать на телевидение. Может, в повышении престижа и статуса медицинского работника и будет хоть один положительный результат эпидемии.

Не так важно, откуда появился коронавирус. Важно то, что западный мир пытается воспользоваться пандемией как еще одним инструментом для сохранения своих доминирующих позиций, своего влияния, следуя принципу «в борьбе все средства хороши». Предъявление правительству Китая иска за «укрытие информации об опасности коронавируса», конечно, выглядит глупо, кажется верхом цинизма и признанием собственной некомпетентности Трампа. Тогда самое время предъявить иск США за провалы в финансовом регулировании, нарушения в области корпоративного управления, создание «теневой» банковской системы, крах которой породил финансово-экономический кризис 2008 г. Но Трамп ничего не делает просто так. С одной стороны, он решает свои внутривнутриполитические проблемы, с другой – делает еще один пропагандистский ход, добавляет звено в цепочку действий, нацеленных на недопущение дальнейшего роста авторитета Китая в мире. Америка не видит своего будущего в Сообществе единой судьбы человечества и будет бороться против него любыми средствами.

Для российско-китайских отношений эпидемия коронавируса также стала тестом на дружбу и доверие. Когда в Китае разгоралась эпидемия, закрывались границы и в нашей стране появились первые инфицированные из Китая, были попытки инициировать новую волну китаефобии. Но они быстро сошли на нет. В Россию вирус занесли не из Китая, а из Европы. Не знаю, какие механизмы были задействованы, но даже узенькая лазейка для проникновения вируса из КНР в РФ была очень быстро и умело перекрыта. Россия помогла Китаю, Китай, оправившись от вируса, помог России. В этом, наверное, и заключается один из смыслов «стратегического партнерства», взаимного доверия между нашими странами и бескорыстной дружбы между людьми.

Эпидемия скоро закончится. Выиграет тот, кто лучше мобилизован и организован, кто трезво смотрит на мир, кто быстрее других справится с последствиями этого глобального помешательства. Я уверен, что Китай сделает это в первых рядах.

Но война за глобальное лидерство на этом не заканчивается. Уверен, что в арсенале Вашингтона найдется еще не одна заготовка, которая будет использована для того, чтобы остановить продвижение Китая к глобальному лидерству.

*В.Л. ЛАРИН,
академик РАН, доктор исторических наук, профессор,
научный руководитель (Институт истории, археологии и этнографии
народов Дальнего Востока ДВО РАН, Владивосток)
E-mail: victorlar@mail.ru*



Павленко Александра Павловна

Аспирант лаборатории молекулярной фармакологии и биомедицины Тихоокеанского института биоорганической химии им. Г.Б. Елякова ДВО РАН. В 2020 г. с отличием окончила Дальневосточный федеральный университет (Школа естественных наук) по направлению «Химия». После успешной защиты магистерской диссертации поступила в очную аспирантуру ТИБОХ ДВО РАН (руководитель к.х.н., доцент Е.В. Лейченко).

Объектом исследования молодого ученого являются пороформирующие токсины морских анемонов – актинопорины, получение их рекомбинантных аналогов и изучение биологической активности. Результаты работы были представлены на

Региональной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых по естественным наукам (Владивосток, 2019 г.) и XXXII Зимней молодежной научной школе «Перспективные направления физико-химической биологии и биотехнологии» (Москва, 2020 г.).

УДК 577.112

DOI: 10.37102/0869-7698_2021_215_01_18

А.П. ПАВЛЕНКО

Оптимизация условий экспрессии и выделения рекомбинантного аналога актинопорина Hct-A2 морской анемоны *Heteractis crispa*

Подобраны условия проведения экспрессии и выделения рекомбинантного аналога актинопорина Hct-A2 морской анемоны Heteractis crispa. Показано, что гомогенизация клеток под давлением позволяет существенно увеличить выход растворимой формы рекомбинантного актинопорина по сравнению с ультразвуковой обработкой.

Ключевые слова: актинопорины, пороформирующие токсины, морские анемоны, *Heteractis crispa*.

Expression and isolation optimization of recombinant analog of actinoporin Hct-A2 from sea anemone *Heteractis crispa*. A.P. PAVLENKO (G.B. Elyakov Pacific Institute of Bioorganic Chemistry, FEB RAS, Vladivostok).

The conditions of the expression and isolation of the recombinant analog of actinoporin Hct-A2 from sea anemone Heteractis crispa were selected. The high pressure homogenization of cells was found to increase the yield of recombinant actinoporin in a soluble form, in contrast to the ultrasonic cell destruction.

Key words: actinoporins, pore-forming toxins, sea anemones, *Heteractis crispa*.

Актинопорины являются наиболее представительной группой α -пороформирующих токсинов морских анемонов. В ядовитом секрете они присутствуют в виде

ПАВЛЕНКО Александра Павловна – аспирант (Тихоокеанский институт биоорганической химии им. Г.Б. Елякова ДВО РАН, Владивосток). E-mail: apavlenko141@gmail.com

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 18-74-10028.

комбинаторной библиотеки, включающей множество изоформ, кодируемых мультигенным семейством [3, 7, 13]. Актинопорины представляют собой небольшие основные полипептиды (17–20 кДа, 165–180 а.о.), образующие поры в мембранах клеток, содержащих сфингомиелин. Образование пор приводит к нарушению целостности, избирательной проницаемости клетки и в конечном итоге к ее гибели [2, 15]. Молекулы актинопоринов имеют пространственную структуру β -сэндвича (10–12 β -тяжей), к которому с двух сторон примыкают короткие α -спирали, при этом N-концевая α -спираль является важным функциональным элементом молекул актинопоринов, обуславливающим формирование катион-селективной поры.

Несмотря на важность актинопоринов для фундаментальной и прикладной химии, выделение отдельных их изоформ из природных источников с использованием хроматографических методов затруднено вследствие высокой идентичности аминокислотных последовательностей, а следовательно, и физико-химических свойств. Кроме того, выделение природных токсинов требует достаточно большого количества биологического сырья, что неблагоприятно сказывается на популяции морских анемонов. Один из путей решения данной проблемы – получение рекомбинантных аналогов этих токсинов путем гетерологичной экспрессии кодирующих их генов в бактериальной системе. Данный биотехнологический подход позволяет получить высоко очищенный белок при минимальных затратах [12]. Однако существуют определенные сложности с получением растворимой формы актинопоринов в достаточных количествах. Для большинства актинопоринов, экспрессированных в *Escherichia coli*, наблюдается очень низкий выход белка. Это связано с тем, что, с одной стороны, актинопорины проявляют высокую токсичность в отношении бактериальных клеток и их наработка не должна занимать много времени (оптимально 3–5 ч), с другой – короткая индуцируемая экспрессия дает высокую концентрацию актинопоринов, что приводит к их агрегации с образованием телец включения [1, 4, 5, 9, 11, 14], из которых с помощью процедур солиubilизации и рефолдинга могут быть извлечены рекомбинантные белки [10, 12]. Следует также отметить, что выделение актинопоринов из телец включения, а именно процедуры денатурации–ренатурации, может привести к возникновению нескольких различных конформаций полипептида, отличающихся от природной. Кроме того, существует риск «загрязнения» частично свернутыми формами и их агрегатами, как это наблюдалось, например, при получении рекомбинантного аналога стихолизина II (StII) морской анемоны *Stichodactyla helianthus* [8]. Еще одним важным фактором, влияющим на выход растворимой формы, является температура. Варьируя этим параметром, например снижая его, можно добиться увеличения времени инкубации после индукции с минимальным образованием телец включения и/или минимальным проявлением токсичности. Таким образом, стратегия оптимизации условий должна учитывать как минимум три фактора: время инкубации, температуру и концентрацию индуктора.

В данной работе с целью повышения выхода растворимой формы актинопорина проведена оптимизация условий экспрессии и выделения рекомбинантного аналога токсина Hct-A2 – представителя комбинаторной библиотеки актинопоринов морской анемоны *Heteractis crispa* [7]. Клетки *E. coli* штамма Rosetta (DE3) путем электропорации были трансформированы экспрессионной конструкцией pET-41a/Hct-A2, полученной ранее [6], и высеяны на чашки Петри со средой Лурия–Бертани (LB-агар). Целевой полипептид в такой системе синтезируется в виде гибридного белка, содержащего полигистидиновую последовательность, белок-партнер глутатион-S-трансферазу (GST) и сайт расщепления энтеропептидазой (Asp-Asp-Asp-Asp-Lys) для отделения целевого полипептида от белка-партнера. Подбор условий экспрессии производился по трем параметрам: концентрации индуктора экспрессии изопропил- β -D-1-тиогаллактопиранозид (ИПТГ), температуре и времени инкубации.

Анализ уровня экспрессии целевого гена выполнялся в присутствии 0,1, 0,2, 0,5 и 1,0 мМ ИПТГ при температуре 18, 30 и 37 °С. Через 3, 10, 15 и 20 ч после добавления

индуктора осуществлялся отбор проб для электрофоретического анализа. В результате оптимальными оказались условия инкубации клеток в присутствии 0,1 мМ ИПТГ при температуре 18 °С в течение 20 ч (см. таблицу).

Подбор условий экспрессии рекомбинантного аналога актинопорина Нсг-А2 морской анемоны *H. crispata*

Время инкубации, ч	Концентрация ИПТГ, мМ											
	0,1			0,2			0,5			1,0		
	Температура инкубации, °С											
	18	30	37	18	30	37	18	30	37	18	30	37
3	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
10	++	+	+	++	+	+	++	+	+	++	+	+
15	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++
20	+++	++	++	+++	++	++	+++	++	++	+++	++	++

Примечание. Экспрессия белка: «+» – в малых, «++» – небольших, «+++» – максимальных количествах.

Далее клетки Rosetta (DE3), трансформированные рекомбинантной плазмидой, растили в 1 л среды LB в подобранных условиях, затем клеточную суспензию разделяли на две части и осаждали. Разрушение клеток осуществляли двумя методами: обработкой ультразвуком и гомогенизацией под давлением.

Согласно литературным данным для выделения рекомбинантных актинопоринов, как правило, используется ультразвуковая обработка бактериальных клеток [12]. На электрофореграммах видно, что гибридный белок (50 кДа)

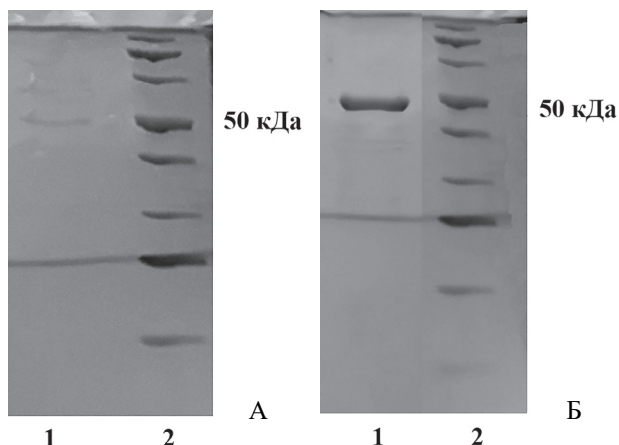


Рис. 1. Электрофореграммы гибридного белка GST-His6-gHct-A2, полученные после разрушения клеток ультразвуком (А) и гомогенизации клеток под давлением (Б). 1 – гибридный белок, 2 – маркер молекулярных масс

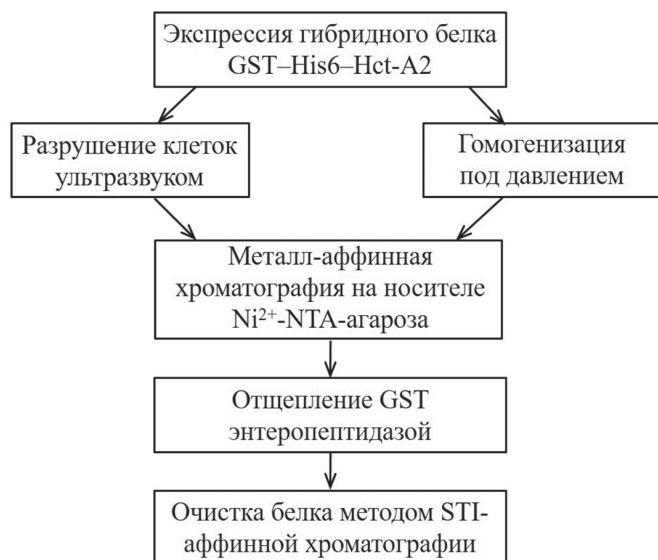


Рис. 2. Схема получения рекомбинантного актинопорина Нсг-А2

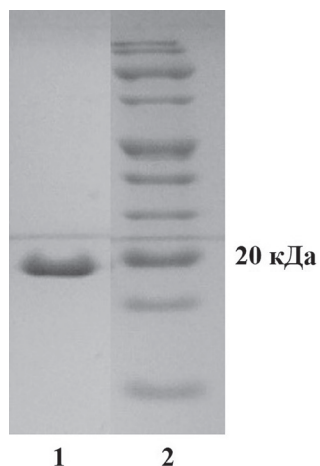


Рис. 3. Электрофореграмма актинопорина gHct-A2 после STI-аффинной хроматографии. 1 – gHct-A2, 2 – маркер молекулярных масс

после обработки ультразвуком присутствует в следовых количествах (рис. 1, А), тогда как после гомогенизации под давлением наблюдается выраженная полоса на уровне 50 кДа (рис. 1, Б). Эти результаты указывают на то, что гомогенизация под давлением является более подходящим методом разрушения клеток для получения растворимой формы актинопорина. Основным недостатком ультразвуковой обработки – выделение тепла, что может приводить к нагреву белка и его денатурации, тогда как при гомогенизации под давлением такого не происходит.

В дальнейшем актинопорин выделяли по схеме, представленной на рис. 2. Разделение белков клеточного лизата было проведено с помощью металл-аффинной хроматографии. Гибридный белок, связанный остатками гистидина с ионами никеля, подвергся расщеплению энтеропептидазой в присутствии 2 мМ CaCl₂ для высвобождения целевого актинопорина (молекулярная масса около 20 кДа). Последующая очистка от фермента проводилась на STI-агарозе (рис. 3). В результате выход rHct-A2 после гомогенизации под давлением составил около 1 мг/л клеточной культуры, тогда как выход после ультразвука – около 0,2 мг/л. Молекулярная масса rHct-A2 была определена с помощью МАЛДИ-ВП масс-спектрометрии и составила 19 142 Да, что соответствует расчетной.

Таким образом, подбор условий экспрессии рекомбинантного аналога Hct-A2 морской анемоны *H. crispa* и применение гомогенизации под давлением для разрушения бактериальных клеток позволили более чем в 5 раз увеличить выход рекомбинантного актинопорина в растворимой форме.

ЛИТЕРАТУРА

1. Anderluh G., Pungerčar J., Štrukelj B., Maček P., Gubenšek F. Cloning, sequencing, and expression of equinatoxin II // *Biochem. Biophys. Res. Comm.* 1996. N 2 (220). P. 437–442.
2. Anderluh G., Maček P. Cytolytic peptide and protein toxins from sea anemones (Anthozoa: Actiniaria) // *Toxicon*. 2002. Vol. 40, N 2. P. 111–124.
3. Anderluh G., Krizaj I., Štrukelj B., Gubenšek F., Maček P., Pungerčar J. Equinatoxins, pore-forming proteins from the sea anemone *Actinia equina*, belong to a multigene family // *Toxicon*. 1999. N 10 (37). P. 1391–1401.
4. Anderluh G., Gökçe I., Lakey J.H. Expression of proteins using the third domain of the *Escherichia coli* periplasmic-protein TolA as a fusion partner // *Protein Expression and Purification*. 2003. N 1 (28). P. 173–181.
5. Jiang X., Chen H., Yang W., Liu Y., Liu W., Wei J., Tu H., Xie X., Wang L., Xu A. Functional expression and characterization of an acidic actinoporin from sea anemone *Sagartia rosea* // *Biochem. Biophys. Res. Comm.* 2003. N 3 (312). P. 562–570.
6. Leichenko E.V., Monastirnaya M.M., Zelepuga E.A., Tkacheva E.S., Isaeva M.P., Likhatskaya G.N., Anastyuk S.D., Kozlovskaya E.P. Hct-A is a new actinoporin family from the *Heteractis crispa* sea anemone // *Acta Nat.* 2014. N 23 (6). P. 89–98.
7. Leychenko E., Isaeva M., Tkacheva E., Zelepuga E., Kvetkina A., Guzev K., Monastirnaya M., Kozlovskaya E. Multigene family of pore-forming toxins from sea anemone *Heteractis crispa* // *Mar. Drugs*. 2018. N 6 (16). P. 1–19.
8. Manchêo J.M., De Los Ríos V., Martínez Del Pozo Á., Lanio M.E., Ónaderra M., Gavilanes J.G. Partially folded states of the cytolytic protein sticholysin II // *Biochim. Biophys. Acta – Protein Structure and Molecular Enzymology*. 2001. N 1/2 (1545). P. 122–131.
9. Pazos F., Valle A., Martínez D., Ramírez A., Calderón L., Pupo A., Tejuca M., Morera V., Campos J., Fando R., Dyszy F., Schreier S., Horjales E., Alvarez C., Lanio M.E., Lissi E. Structural and functional characterization of a recombinant sticholysin I (rSt I) from the sea anemone *Stichodactyla helianthus* // *Toxicon*. 2006. N 8 (48). P. 1083–1094.
10. Terpe K. Overview of bacterial expression systems for heterologous protein production: From molecular and biochemical fundamentals to commercial systems // *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 2006. Vol. 72, N 2. P. 211–222.
11. Uechi G.I., Toma H., Arakawa T., Sato Y. Molecular cloning and functional expression of hemolysin from the sea anemone *Actinaria villosa* // *Protein Expression and Purification*. 2005. N 2 (40). P. 379–384.
12. Valle A., Hervis Y.P., Socas L.B.P., Canet L., Faheem M., Barbosa J.A.R.G., Lanio M.E., Pazos I.F. The multigene families of actinoporins (part II): Strategies for heterologous production in *Escherichia coli* // *Toxicon*. 2016. N 118. P. 64–81.
13. Wang Y., Yap L.L., Chua K.L., Khoo H.E. A multigene family of *Heteractis magnifica* lysins (HMgs) // *Toxicon*. 2008. N 8 (51). P. 1374–1382.
14. Wang Y., Chua K.L., Khoo H.E. A new cytolytic protein from the sea anemone, *Heteractis magnifica*: Isolation, cDNA cloning and functional expression // *Biochim. Biophys. Acta – Protein Structure and Molecular Enzymology*. 2000. N 1 (1478). P. 9–18.
15. Yap W.Y., Hwang J.S. Response of cellular innate immunity to cnidarian pore-forming toxins // *Molecules*. 2018. Vol. 23, N 10. P. 1–19.

Правила для авторов

Журнал «Вестник ДВО РАН» входит в рекомендованный Высшей аттестационной комиссией перечень ведущих российских рецензируемых научных журналов и изданий, в которых могут быть опубликованы значимые результаты диссертаций по следующим направлениям: 02.00.00 – химические науки; 25.00.00 – науки о Земле, 03.02.00 – общая биология (конкретные специальности по отраслям науки см.: распоряжение Минобрнауки России от 22 декабря 2020 г. № 443-р).

Журнал индексируется в Российском индексе научного цитирования (РИНЦ), размещается в базах данных на платформе EBSCO Publishing Inc. (Massachusetts, USA).

Журнал печатает ранее не публиковавшиеся проблемные, обзорные, дискуссионные статьи и оригинальные научные исследования, а также рецензии, хронику научной жизни, персоналии и др. В числе приоритетных – материалы о Дальнем Востоке.

Рецензирование статей. Представленную автором рукопись редакция направляет по профилю научного исследования или по тематике рассматриваемых в рукописи вопросов на рецензию ученым и специалистам в данной области (доктору наук, кандидату наук). Срок рецензирования – до 1,5 месяца. В случае получения отрицательной рецензии или рецензии, содержащей рекомендацию по доработке статьи, она направляется авторам для принятия соответствующего решения. Имя рецензента не разглашается.

После устранения недостатков, указанных рецензентом, переработанная статья, направленная в редакцию, регистрируется как вновь полученная, исправления согласуются с рецензентом.

Если автор не согласен с мнением рецензента, рукопись направляется на повторную экспертизу другому специалисту. При получении второго отрицательного отзыва редакция прекращает работу над статьей.

Участники процесса подготовки рукописи к изданию обязаны сообщать редакции о наличии потенциальных причин для возникновения конфликта интересов. Авторы имеют право указать в сопроводительном письме имена тех специалистов, кому, по их мнению, не следует направлять рукопись на рецензию в связи с возможным, как правило профессиональным, конфликтом интересов. Данная информация является строго конфиденциальной и принимается во внимание редакцией при организации рецензирования.

Рецензии хранятся в редакции не менее 5 лет.

При поступлении в редакцию соответствующего запроса копии рецензий направляются в Министерство науки и образования Российской Федерации.

Оформление статей. Текст набирается в программе Word любой версии, объем должен составлять до 18 страниц, обзорных статей – до 30 (включая список литературы, таблицы и рисунки с подрисуночными подписями, резюме). Шрифт 12 Times New Roman, интервал 1,5. Все поля, кроме левого, шириной 2 см, левое – 3 см. Страницы должны быть пронумерованы.

Титульный лист. В левом верхнем углу проставляется индекс статьи по таблицам Универсальной десятичной классификации, имеющейся в библиотеках, или с помощью интернет-ресурса <http://teacode.com/online/udc/>. Далее – инициалы и фамилии авторов, название статьи, резюме и ключевые слова на русском языке. Затем – резюме и ключевые слова на английском языке. Резюме на английском языке должно в начале текста содержать название статьи, инициалы и фамилию автора, после которых в круглых скобках указывается место работы автора. Если авторов несколько, у каждой фамилии и соответствующего учреждения проставляется цифровой индекс. Если все авторы статьи работают в одном учреждении, указывать место работы каждого автора отдельно не нужно,

достаточно указать учреждение один раз. Если у автора несколько мест работы, каждое обозначается отдельным цифровым индексом.

На титульном листе в подстрочной ссылке указываются сведения об авторах статьи: ФИО полностью, ученая степень, звание и должность, в круглых скобках – наименование места работы. Контактное лицо (обычно первый (основной) автор) помечается звездочкой и в конце сведений приводится его E-mail. Также в подстрочной ссылке помещается информация, касающаяся финансовой поддержки данной работы. (См. образцы оформления титульного листа на сайте журнала vestnikdvo.ru в текущем номере).

Структура статьи. Материал статьи должен быть изложен кратко, в научно-информационном стиле, данные таблиц и рисунков не должны повторяться в тексте. Статья должна быть четко структурирована. Структура оригинальных статей должна соответствовать формату IMRAD (Introduction, Methods, Results and Discussion): введение, отражающее состояние вопроса к моменту написания статьи; цели и задачи настоящего исследования; материал и методы; результаты; обсуждение; выводы по пунктам или заключение (по желанию авторов).

Иллюстративные материалы представляются в форматах: для фото, рисунков – .tif или .jpg (300 dpi для черно-белых и 600 dpi для цветных); графики, диаграммы, схемы и т.п. – excel, cdr. Если электронное графическое изображение создано в приложении Microsoft Office (Word, Power Point, Excel), то его следует представлять по принципу «как есть» в том же формате, чтобы обеспечить возможность внесения изменений. Цветные изображения представляются только по согласованию с редакцией.

Иллюстрации не должны превышать размеров полосы набора (135 × 225 мм).

Иллюстрации могут размещаться по тексту, но обязательно прилагаются в виде отдельных файлов. Подрисовочные подписи даются отдельным списком, в конце статьи, они должны содержать исчерпывающий комментарий к изображению; не допускается воспроизведение небуквенных и нецифровых знаков (квадраты, кружки и т.д.). Если рисунок состоит из нескольких частей (например, а, б, в), у них должен быть общий заголовок и отдельные поясняющие подписи для каждой части. В тексте все иллюстрации (фотографии, схемы, диаграммы, графики и т.д.) именуется рисунками. На все рисунки в тексте должны быть даны ссылки. Рисунки должны располагаться непосредственно после текста, в котором они упоминаются впервые.

Список литературы. В оригинальных статьях желательно цитировать не более 20–25 источников, в обзорных – до 50, при этом не менее 30 % из них должны быть новыми, т.е. опубликованными за 5 последних лет; самоцитирование (ссылки на работы авторов и соавторов статьи) не должно превышать 15 %. Ссылки на интернет-источники должны быть надежными. Как минимум следует давать полный URL-адрес и дату, когда ссылка была доступной. Ссылки должны быть проверяемыми.

Не следует без особой необходимости ссылаться на учебники, диссертации, а также авторефераты диссертаций. Если цитируемым источником являются документы (приказы, ГОСТы, патенты, медико-санитарные правила, методические указания, положения, постановления, санитарно-эпидемиологические правила, нормативы, федеральные законы), а также архивные материалы, их нужно указывать не в списках литературы, а давать в виде подстрочных сносок в тексте.

Авторы несут ответственность за правильность данных, приведенных в пристатейном списке литературы.

Список литературы составляется в алфавитном порядке, по фамилиям первых авторов и названиям работ без учета соавторов и хронологии, и нумеруется. При ссылке в тексте указывается порядковый номер источника в квадратных скобках. В списке идет литература сначала на русском языке, затем на иностранных. Приводятся полное наименование книги или статьи, место издания, издательство, год, количественная характеристика источников (для книги – общее количество страниц, для статьи или главы – страницы, на которых она помещена).

Пример нумерованного списка (библиографические сведения условны):

ЛИТЕРАТУРА

1. Виноградова К.Л., Перестенко Л.П. Видовой состав водорослей // Озерные экосистемы: тез. докл. Междунар. науч. конф. Минск: Белорус. гос. ун-т, 2003. С. 26–28.
2. Виноградова К.Л. Водоросли западного побережья. М.: Изд-во МГУ, 1974. 232 с.
3. Виноградова К.Л., Клочкова Н.Г., Перестенко Л.П. Список водорослей литорали. СПб.: Наука, 2003. 180 с. (Определители по фауне, изд. Зоол. ин-том РАН; вып. 171).
4. Виноградова К.Л. *Phycodryis* Rubens: таксономия // Журн. общ. биологии. 2001. Т. 62, № 4. С. 362–366.
5. Исследования экосистем / Центр информ. технологий РГБ. М.: Рос. гос. б-ка, 1997. – <http://www.rsl.ru> (дата обращения: 21.07.2011).
6. Селин Н.И. Рост мидии Грея // Тр. Биол. НИИ СПбГУ. 2000. Вып. 46. С. 53–64.
7. Селин Н.И., Жирмунский А.В., Левин В.С. Состав и распределение макроэпибентоса // Зоол. журн. 1996. Т. 75, вып. 6. С. 81–89.
8. Nevo E. Adaptive significance // Int. Echinoderm Conf. Tampa Bay: abstrs. Rotterdam: Balkema, 1982. P. 4–5.
9. Nevo E. Complex pollution effects of two heavy metals // J. Natur. Hist. 1995. Vol. 29, N 2. P. 271–562.
10. Nevo E., Lavie B. Differential viability of allelic isozymes // Can. J. Fish. Aquat. Sci. 1987. Vol. 44. P. 60–64.
11. Nevo E. Molecular evolutionary genetics // Cell. Mol. Biol. 2000. Vol. 46, N 2. P. 311–330.
12. Nevo E., Ben-Shlomo R., Lavie B. Pollution and genetic evolution // Mar. Pollut. Bull. 1994. Vol. 28. P. 3–15.
13. Nevo E. Population genetic structure // Encyclopaedia of biodiversity. N.Y.: Acad. Press, 2001. Vol. 5. P. 3–11.

Форма подачи рукописи. Материалы статей представляются по электронной почте на адрес vestnikdvo@hq.febras.ru (телефон редакции (8-423)222-25-88), а сопроводительные документы с оригинальными подписями прикрепляются к письму в формате PDF или JPG; кроме того, обычной почтой или нарочным в редакцию доставляется распечатка статьи (текст на одной стороне листа, кегль 12, через 1,5 интервала, страницы пронумерованы). Почтовый адрес: 690091, Владивосток, ул. Светланская, 50, каб. 51.

Сопроводительные документы. Сопроводительное письмо, подписанное всеми авторами статьи с указанием ФИО каждого автора и контактного телефона, которое должно содержать следующий текст:

Настоящим письмом гарантируем, что опубликование статьи [ФИО авторов. «НАЗВАНИЕ СТАТЬИ»] в журнале «Вестник ДВО РАН» не нарушает ничьих авторских прав. Автор (авторы) передает на неограниченный срок учредителю журнала неисключительные права на использование данной научной статьи путем ее воспроизведения в любой материальной форме и распространения на любой территории.

Автор (авторы) несет ответственность за неправомерное использование в научной статье объектов интеллектуальной собственности, объектов авторского права в полном объеме в соответствии с действующим законодательством РФ.

Автор (авторы) подтверждает, что направляемая статья нигде ранее не была опубликована и не направлялась для опубликования в другие научные издания.

Автор (авторы) согласен на обработку в соответствии со ст. 6 Федерального закона «О персональных данных» от 27.07.2006 г. № 152-ФЗ своих персональных данных, а именно: фамилия, имя, отчество, ученая степень, ученое звание, должность, место(а) работы и/или обучения, контактная информация по месту работы и/или обучения, в целях опубликования представленной статьи в научном журнале.

Также удостоверяем, что автор (авторы) согласен с правилами подготовки рукописи к изданию, принятыми в редакции журнала, опубликованными и размещенными на официальном сайте журнала.

В необходимых случаях к письму прилагается Акт экспертизы о возможности опубликования материала в открытой печати.

Рукописи, не отвечающие установленным требованиям, не регистрируются.

Заказные и ценные письма и бандероли редакция не получает.

Рукописи по почте не возвращаются.

Авторский экземпляр журнала можно получить в Центральной научной библиотеке ДВО РАН или в редакции.

Публикация статей бесплатная.

*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 В.В. Богатов
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. Мирмановой
Корректор Л.И. Горбулина
Переводчик Е.В. Фёдорова

Адрес редакции:
690091 Владивосток,
ул. Светланская, 50, к. 51,
тел. (423)222-25-88
E-mail: vestnikdvo@hq.febras.ru
<http://www.vestnikdvo.ru>

Издатели:

ФГБУ Дальневосточное отделение РАН
690091 Владивосток, ул. Светланская, 50.
Тел. +7(423)222-25-28
ФГБУНО Центральная научная библиотека ДВО РАН
690022 Владивосток, просп. 100-летия Владивостока, 159.
Тел. +7(423)231-78-38

Выход в свет 24.02.2021 г.
Формат 70 × 108/16
Печать офсетная
Усл. печ. л. 13,7
Уч.-изд. л. 12,15
Тираж 300 экз. Заказ
Цена свободная

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

Свидетельство Роскомнадзора о регистрации ПИ № ФС77-75560 от 12.04.2019 г.