



ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

2018 Том 46 № 1

Физика океана и
климат

Биоокеанология

Морская геология,
геофизика и
геохимия

Краткие сообщения

История и
персоналии

Информация



РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
ИНСТИТУТ ОКЕАНОЛОГИИ им. П.П. Ширшова



РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
Институт океанологии им. П.П. Ширшова

ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

2018 Том 46 № 1

Основан в 1959 г.
Выходит 6 раз в год
Print ISSN: 1564-2291 Online ISSN: 2587-9634

Главный редактор: **А.Г. Костяной**

Редакционная коллегия:

А.И. Азовский, О.Р. Андерсон (O. R. Anderson, USA), Д.А. Астахов, С.И. Бадулин, С. Бланк (S. Blanc, Argentina), В.В. Вельтищев, А.В. Гебрук, С.К. Гулев, А.В. Дриц, А.В. Дубинин, П.О. Завьялов, Дж. Зодиатис (G. Zodiatis, Greece), Э. Кампос (E. Campos, Brazil), Л.И. Лобковский, А.Г. Матуль, Е.Г. Морозов, О.О. Моллер (O.O. Möller Jr., Brazil), С.Л. Никифоров, Г.В. Новиков, А.Г. Островский, Н.А. Римский-Корсаков, Б.Я. Розман, Н.О. Сорохтин, П.А. Стунжас, Р.Ю. Тараканов, Й. Тиде (Jö. Thiede, Germany), А.С. Ульянов, М.В. Флинт, В.П. Шевченко, Л. Шемер (L. Shemer, Israel)

Ответственный редактор, заведующий редакцией
С.А. Свиридов

Адрес редакции: 117997, Москва, Нахимовский пр., д. 36
Институт океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии наук,
тел. +7 (495) 719-0035, e-mail: jorboard@ocean.ru официальный сайт: <https://www.jor.ocean.ru>

УДК 551.46

ББК 26.221

Научный журнал «Океанологические исследования» издается с 1959 года специальными тематическими выпусками и является известным печатным изданием в области океанологии. С 2017 года журнал издается в печатной и электронной сетевой версии и публикует оригинальные научные статьи по актуальным вопросам развития технологий для морских исследований, по результатам теоретических и экспериментальных исследований в области физической, химической, биологической и геологической океанологии, исследований морских экосистем, по изучению процессов в океане и атмосфере и их взаимодействию, в том числе, с использованием информационных технологий и спутникового мониторинга для решения фундаментальных и прикладных задач океанологии. Публикуемые в нем научные статьи, тематические обзоры и информация о конференциях, симпозиумах, экспедициях и других событиях представляют интерес для российского и международного океанологического научного сообщества: специалистов в области океанологии, гидрометеорологии, климатологии, географии, дистанционного зондирования Земли из космоса, морского приборостроения, разработки комплексных систем для морских исследований, мониторинга океана, моделирования природных и антропогенных систем и процессов. Журнал может быть полезен также преподавателям, аспирантам и студентам вузов соответствующего профиля. Членами Редколлегии журнала являются ведущие ученые России и международного научного сообщества в области океанологии.

«Океанологические исследования». Том 46. № 1. М.: ИО РАН. 2018. 191 с.
Journal of Oceanological Research, Vol. 46, No. 1, Moscow: IO RAS, 2018, 191 p.

DOI: 10.29006/1564-2291.JOR-2018.46(1)

The scientific Journal of Oceanological Research is published since 1959 by special thematic issues. Since 2017, the Journal is published in an electronic online version in the field of ocean sciences and publishes original scientific articles on topical issues of technology development for marine research, theoretical and experimental results in physical, chemical, biological and geological oceanology, marine ecosystem research, processes in the ocean and the atmosphere and their interaction, and obtained by different methods, in particular, using information technologies and satellite monitoring systems to solve the fundamental and applied problems of oceanography. The scientific articles, thematic reviews and information on conferences, symposiums, expeditions and other important events published in the Journal are of interest to international ocean scientific community.

This issue contains the original papers in Russian and abstracts in English on physical oceanography, marine biology, marine chemistry, geophysics, and R&D engineering.

Москва

Издательство: Институт океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии наук (ИО РАН)
ISSN: 1564-2291

© ИО РАН, 2018

ОГЛАВЛЕНИЕ

Физика океана и климат

<i>Морозов Е.Г.</i> Внутренний прилив на плато Сантос	5
<i>Серых И.В.</i> О динамике и структуре Глобальной атмосферной осцилляции в климатических моделях и реальности	14

Биоокеанология

<i>Демидов А.Б., Гагарин В.И.</i> Первичная продукция и хлорофилл в Северной Атлантике по материалам 44 рейса НИС «Академик Иоффе» в июле 2014	29
<i>Саидова Х.М.</i> Бентосные фораминиферы в позднечетвертичных отложениях на восточном континентальном склоне Камчатки (колонка SO201-2-12KL).....	39

Морская геология, геофизика и геохимия

<i>Бараш М.С.</i> Геомагнетизм и биоразнообразие в фанерозое	56
<i>Дунаев Н.Н.</i> Неотектонический прогноз развития Вислинской косы Балтийского моря	67
<i>Иванов В.В., Кортаев В.Н., Мысливец В.И., Поротов А.В., Пронин А.А., Римский-Корсаков Н.А., Тихонова Н.Ф.</i> Геофизические и гидрографические изыскания на восточном шельфе полуострова Крым (Феодосия-Керчь-Анапа).....	82
<i>Соколова Е.А.</i> Миграция климатических зон в Атлантическом океане и прилегающих регионах в среднем и позднем туроне по планктонным фораминиферам.....	102
<i>Федулов В.Ю., Беляев Н.А., Колоколова А.Н., Сажин А.Ф.</i> Базовые геохимические параметры верхнего слоя вод юго-западной части Карского моря в зимний период.....	115

Краткие сообщения

<i>Мельников И.А.</i> Мониторинг водно-ледовой экосистемы фьорда Нелла в период работ Российской Антарктической экспедиции (2018)	123
<i>Никитин О.П., Постнов А.А.</i> Измерения уровня моря в неблагоприятных условиях окружающей среды.....	128

История и персоналии

<i>Гинзбург А.И.</i> Ученый радиофизик Владимир Лобыцын	134
<i>Леонидов В.В.</i> Русский офицер Владимир Лобыцын	137
<i>Журбас В.М.</i> К 90-летию со дня рождения Ростислава Всеволодовича Озмидова (1928–1998).....	144
<i>Пальшин Н.А., Шишкина Н.А.</i> Ученый и поэт: к 85-летию Александра Городницкого.....	150
<i>Сорохтин Н.О.</i> К 70-летию Леопольда Исаевича Лобковского	157
<i>Копелевич О.В.</i> К 100-летию выдающего советского ученого профессора К.С. Шифрина.....	165

Информация

<i>Гинзбург А.И., Зацепин А.Г.</i> Международный симпозиум МСП-2018, посвященный 90-летию член-корреспондента АН СССР К.Н. Федорова.....	187
<i>Степанова Н.Б.</i> Первая научная школа в рамках образовательной программы «Плавучий университет ИО РАН»	189

**Journal of Oceanological Research,
2018, Vol. 46, No. 1
Contents**

Ocean physics and climate

- Morozov E.G.* Internal tides over the Santos Plateau 5
Serykh I.V. On the dynamics and structure of the
global atmospheric oscillation in climate models and reality 14

Biological oceanology

- Demidov A.B., Gagarin V.I.* Primary production and chlorophyll
in the North Atlantic in July 2014 according to data of 44th cruise
of RV «Akademik Ioffe»..... 29
Saidova Kh.M. Benthic foraminifera in the Late Quaternary sediments
on the Eastern continental slope of Kamchatka
(core SO201-2-12KL)..... 39

Marine geology, geophysics and geochemistry

- Barash M.S.* Geomagnetism and biodiversity in the Phanerozoic 56
Dunaev N.N. Neotectonic forecast of development
of the Vistula Spit of the Baltic Sea 67
*Ivanov V.V., Korotaev V.N., Myslivets V.I., Porotov A.V., Pronin A.A.,
Rimsky-Korsakov N.A., Tikhonova N.F.*
Geophysical and hydrographical surveys at the eastern
shelf of the Crimea Peninsula (Feodosiya-Kerch-Anapa) 82
Sokolova E.A. Migration of climatic zones of the Atlantic Ocean
and adjacent regions in the middle and late Turonian
based on planktic foraminifera 102
Fedulov V.Y., Belyaev N.A., Kolokolova A.N., Sazhin A.F.
Base geochemical parameters of the surface water
layer Southwestern Kara Sea in the winter season..... 115

Brief reports

- Melnikov I.A.* Monitoring of the Nell fjord water-ice ecosystem
during the period of work the Russian Antarctic
expedition (2018) 123
Nikitin O.P., Postnov A.A. Sea-level measurements
in hostile conditions..... 128

History and personalities

<i>Ginzburg A.I.</i> The scientist radiophysician Vladimir Lobytsyn	134
<i>Leonidov V.V.</i> Russian officer Vladimir Lobytsyn (1938–2005).....	137
<i>Zhubas V.M.</i> To the 90 th anniversary of Rostislav Vsevolodovich Ozmidov (1928–1998)	144
<i>Palshin N.A. Shishkina N.A.</i> Scientist and poet to the 85 th anniversary of Alexander Gorodnitskiy.....	150
<i>Sorokhtin N.O.</i> To the 70 th anniversary of Leopold I. Labkovsky	157
<i>Konelevich O.V.</i> To the 100 th anniversary of the outstanding soviet scientist professor K.S. Shifrin	165

Information

<i>Ginzburg A.I., Zatsepin A.G.</i> International Symposium MSP-2018 dedicated to the 90 th anniversary of correspondent member of the USSR Academy of Sciences K.N. Fedorov	187
<i>Stepanova N.B.</i> The first scientific school within the educational program «Floating University of IO RAS»	189

INTERNAL TIDES OVER THE SANTOS PLATEAU

E.G. Morozov

*Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, 36,
Nahimovskiy prospekt, Moscow, 117997, Russia, e-mail: egmorozov@mail.ru*

Submitted 02.02.2018, Accepted 26.04.2018

We analyze internal tides over the Santos Plateau in the South Atlantic. The study is based on the measurements of temperature and currents on the line of moorings normal to the South America coast in the latitudinal band between 28°S and 31°S. The moorings were deployed at distances between 25 and 888 km (from the 500 m isobath) Southeast of the continental slope. The instruments were set at 900 m. Numerical modeling revealed the properties of internal tides (amplitudes, wavelength, and decay of amplitudes) along the line of their propagation from the continental slope. The amplitudes of internal tide decrease from the continental slope in the direction to the Vema Channel from 36 m to 15 m. The densities of the energy of tidal internal waves were calculated from the semidiurnal tidal components of current and temperature time series taking into account the vertical gradients of temperature and the Brunt-Väisälä frequency. Decay of the energy of internal tide occurs according to an inverse power law. Numerical modeling of the generation and propagation of internal tides reveals that beams of internal tides are formed near the continental slope. The energy decay based on modeling is similar to the measured data.

Keywords: internal tide, moorings, Santos Plateau, Brazil Basin, numerical modeling, energy decay

Introduction

The region of the Santos Plateau in the South Atlantic is interesting in the sense of Antarctic Bottom Water (AABW) spreading to the north. The dominating transport of AABW occurs through the Vema Channel (Morozov, 2008). Part of AABW transport occurs over the Santos Plateau (Speer and Zenk, 1993). The steady Northward flow of AABW is influenced by strong internal waves generated in the region. It was shown in (Morozov 1995) that internal tides in the South Atlantic are very intense. Internal tides are generated by the interaction of the strong barotropic tide with the slopes of bottom topography. When flowing over the continental slope of South America and the slopes of the Mid-Atlantic Ridge tidal currents obtain a significant vertical component. This leads to the generation of strong internal tides of high amplitude that propagate from the slopes of bottom topography to the open ocean. In this study we analyze the data of measurements on moorings in the region and use the Vlasenko numerical model to get a general concept of the processes of internal tide generation and propagation. We also estimate the decay of internal tide energy in the course of internal wave propagation from the continental slope of South America. Previous measurements of internal tides in the region are reported in several publications. Pereira and Castro (2007) report about

the measurements of the internal tides in 2001 near Brazil in the region of Cabo Frio (23°S, 42°W). According to their estimates, the amplitudes of the semidiurnal internal tides reached 30 m.

Mooring data

In 1991–1992, moored experiments have been conducted in the Brazil Basin over the Santos Plateau in the region between 28–31°S. Several moorings were deployed in a line: WOCE ACM 12 moorings at 27°54'S, 46°42'W, 27°59'S, 46°20'W, 28°16'S, 45°13'W, 39°46'S, 31°12'W; and WOCE ACM 3 moorings at 28°28'S, 44°28'W, 29°03'S, 43°29'W, 30°05'S, 41°44'W. These moorings were part of the experiments ACM-3 and ACM-12 (Deep Ocean) of the WOCE Program. Locations of moorings and bottom topography are shown in Fig. 1. The experiments were dedicated to the investigation of the bottom circulation in the Atlantic. The experiments were organized by the scientists from WHOI (USA) (ACM 3) and Meereskunde (Germany) (ACM 12). We used the temperature and velocity measurements in the layer 800–1000 m to analyze the variations in internal tides over the line of moorings from the continental slope.

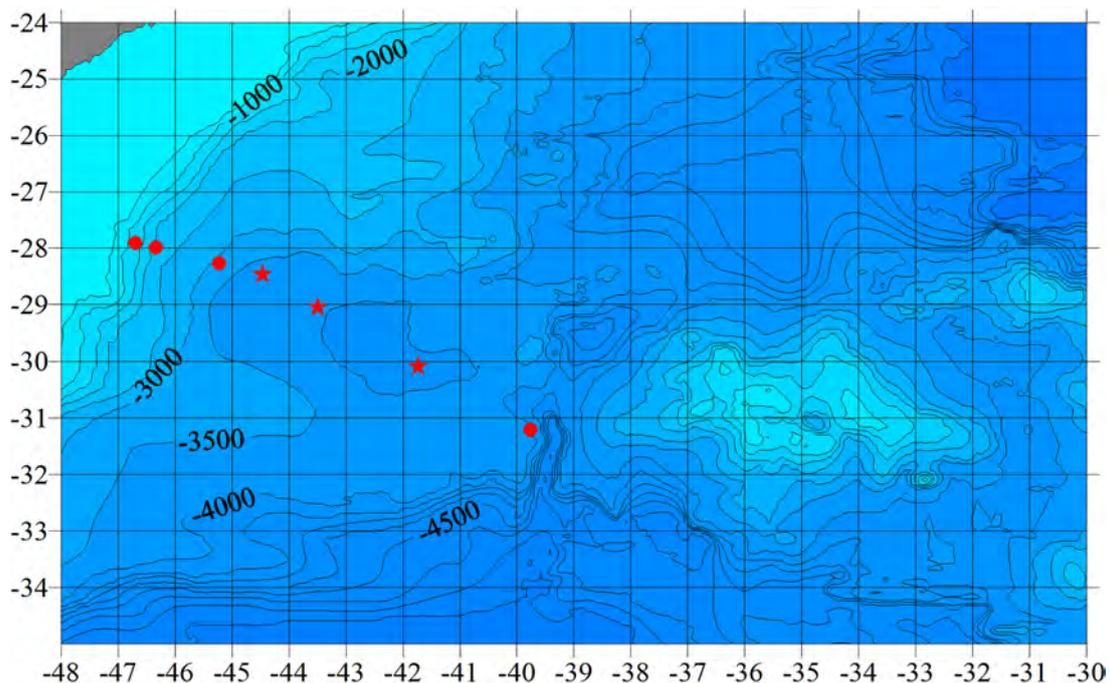


Fig. 1. Bottom topography (meters) in the South Atlantic East of Brazil and locations of moorings of the WOCE ACM-3 and ACM-12 experiments. Depth contour lines are shown with an interval of 500 m. Locations of the ACM-3 moorings are shown with red circles, the ACM-12 moorings are shown with red stars. Land is shown with gray color.

The semidiurnal internal tide can easily be distinguished in all time series of water temperature (even visually). For example, the amplitude of temperature fluctuations at a depth of 914 m on mooring 1086 (30°05'S, 41°44'W) is 0.15–0.20°C. Recalculation

of temperature fluctuations to the vertical displacements assuming that the vertical temperature gradient is 0.008–0.010°C/m yields an amplitude of the waves equal to 15–25 m. The amplitudes of internal tide decrease from the continental slope in the direction to the Vema Channel from 35 m to 18 m. The calculations of the spectral densities of the fluctuations of the temperature and currents based on the data of the measurements demonstrate the existence of a clearly manifested peak in the semidiurnal period that corresponds to the M_2 tidal period. An example of such calculations of spectral function based on the temperature measurements on mooring 1086 (914 m depth) is shown in Fig. 2.

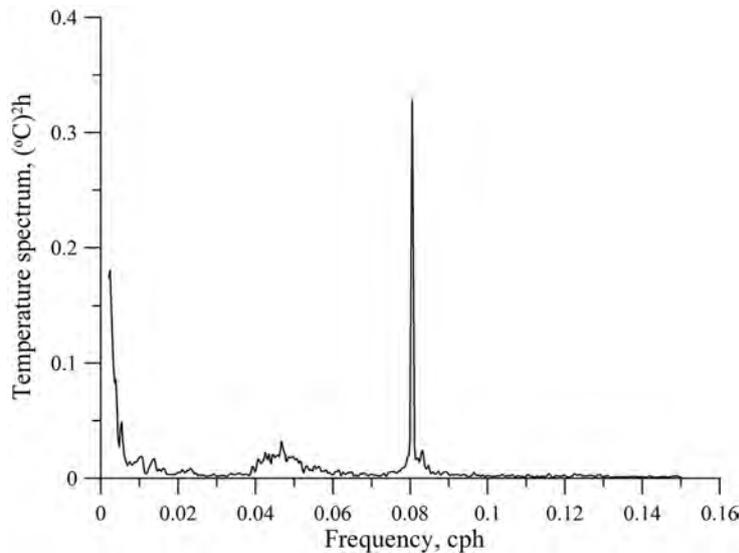


Fig. 2. Spectrum of temperature fluctuations (ACM-3). Measurements at 914 m on mooring 1086 at 30°05' S, 41°44' W.

Modeling of internal tides

We analyze the wave propagation using the numerical model developed by V. Vlasenko (Vlasenko 1992; Morozov, Vlasenko, 1996; Vlasenko et al., 2005). Numerical modeling allows us to obtain internal wave properties in a wide range of oceanic conditions: stratification, parameters of the tide, bottom topography, and also to investigate separately any factor influencing the properties of internal waves, which is impossible in an oceanic field experiment.

The model is two-dimensional (x, z). We analyze internal motions in a continuously stratified rotating ocean of variable depth. Then, internal waves are described by the following set of equations:

$$\begin{aligned} \Omega_t + J(\Omega, \Psi) - fV_z &= \frac{g\rho_x}{\rho_0} + K(x)\Omega_{xx} + K\Omega_{zz} + (K\Psi_{zz})_z \\ V_t + J(V, \Psi) + f\Psi_z &= K(x)V_{xx} + (KV_z)_z \\ \rho_t + J(\rho, \Psi) + \frac{\rho_0}{g} \frac{N^2(z)}{g} \Psi_x &= R(x)\rho_{xx} + (R\rho_z)_z + (R\rho_{0z})_z \end{aligned} ,$$

where Ψ is the stream function ($\Psi_z = u; \Psi_x = w$), $\Omega = \Psi_{xx} + \Psi_{zz} = w$ is the vorticity, (U, V, W) is the velocity vector, N is the Brunt-Väisälä frequency, ρ is the density disturbance due to the wave motion, ρ_0 is the mean density, f is the Coriolis parameter, K , $K(x)$, R , and $R(x)$ are the vertical and horizontal coefficients of turbulent viscosity and mass diffusivity, J is the Jacobian and g is the acceleration due to gravity.

The model is two-dimensional, but we introduce the equation for the V -component of velocity normal to the x, z plane to take rotation into account. However, the V -component is considered constant. We use the equation of density diffusion instead of the equations of heat and salt diffusion. The boundary conditions at the surface located at $z = 0$ are:

$$\rho = 0, \Omega = 0, \Psi = 0.$$

We assume that the vertical motion is zero as well as the heat and salt transports through the surface are also zero.

At the bottom, no heat, salt, and mass transports exist:

$$\text{at } z = -H(x): \partial\rho/\partial n = 0, \Psi = \Psi_0 \sin wt,$$

where w is the tidal frequency, n denotes the unit vector normal to the bottom and Ψ_0 is the amplitude of the stream function determining the mass transport in a barotropic tidal current. The boundary condition for vorticity at the bottom is calculated from equation $\Omega = \Delta\Psi$ with the value of the Ψ field calculated at the previous time step.

The perturbations of vorticity, stream function, and density are assumed zero at the vertical lateral boundaries located far from the bottom irregularities of the continental slope. We stop the calculations when the wave perturbations reach the lateral boundaries.

The calculations start from a state of zero motion while the isopycnals are horizontal; hence: at $t = 0$: $\Omega = 0, \rho = 0, \Psi = 0$.

A semi-implicit numerical scheme utilizes a rectangular grid with second order approximations of the spatial derivatives and first order approximations of the temporal derivatives in every temporal semi-layer. At each time step, the implicit system, which is a tri-diagonal matrix, is solved using standard techniques.

We model the following physical phenomenon. A long barotropic tidal wave propagates from the open ocean to the continental slope. The tidal currents flow over the slope and obtain a vertical component. Periodically oscillating vertical components with a tidal period displace isopycnals; thus a tidal internal wave is generated. As indicated above, the input parameters of the model are stratification, bottom topography, and stream function of the tidal current.

The input data to the model include: velocities of the barotropic tide, stratification, and bottom topography. Tidal velocities were calculated from the satellite data using the NASA database available at Oregon State University; the method is described by Egbert and Erofeeva (2002). Stratification of the ocean (unperturbed state) was taken from the CTD-data in this region (WOD13 2013). The bottom topography was specified from the ETOPO digital database (<http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/global/global.html>).

The domain for numerical simulations was 800 km long with a horizontal step of 1000 m and 34 vertical levels. The width of the shelf was specified as 100 km. The time step was 8 s. The coefficients of horizontal viscosity and density diffusion over the slope were specified at 250 m²/s, and they gradually decreased to 200 m²/s over 100 km. At greater distances they were specified constant. The corresponding vertical coefficients were 0.0001 m²/s. The stream function amplitude (water transport) related to the barotropic tide forcing was specified equal to 260 m²/s at the bottom and zero at the ocean surface, which is consistent with the velocities of the barotropic tide far from the continental slope.

As a result of simulations we obtained a density section for the given tidal phase when the wave propagates opposite to the tidal currents, which cause intensification of the wave. The calculated density field after 10 M₂ periods is shown in Fig. 3. The figure clearly shows the formation of an internal wave propagating from the continental slope to the open ocean.

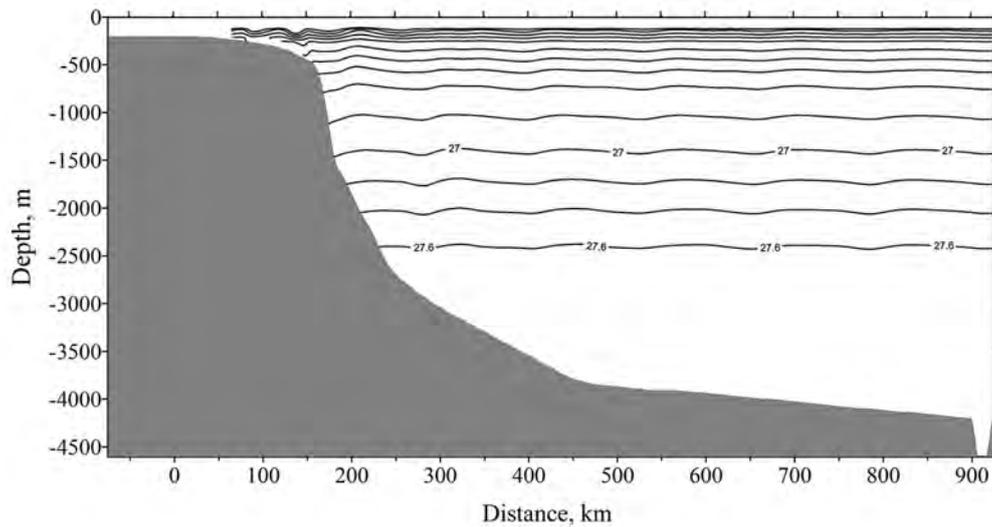


Fig. 3. Simulated density field over a section normal to the coast over the Santos Plateau after 10 tidal periods of calculation. The density of seawater at the surface was assumed equal to 1.02276 g/cm³. Density contour lines are plotted with an interval of 0.0001 g/cm³. Numerals 27 and 27.6 indicate isopycnals 1.0270 and 1.0276 g/cm³.

The wavelength of the wave directed to the open ocean was close to 130 km over the slope increasing in the deep ocean up to 145 km. The amplitudes of internal tides at the shelf break reached 50 m. High amplitudes of internal tides are confirmed by moored measurements.

The velocity field is shown in Fig. 4. One can see beams of internal tides. The curve of the characteristic line is determined by the following equation.

$$\frac{dz}{dx} = \pm \left(\frac{\omega^2 - f^2}{N^2 - \omega^2} \right)^{1/2}$$

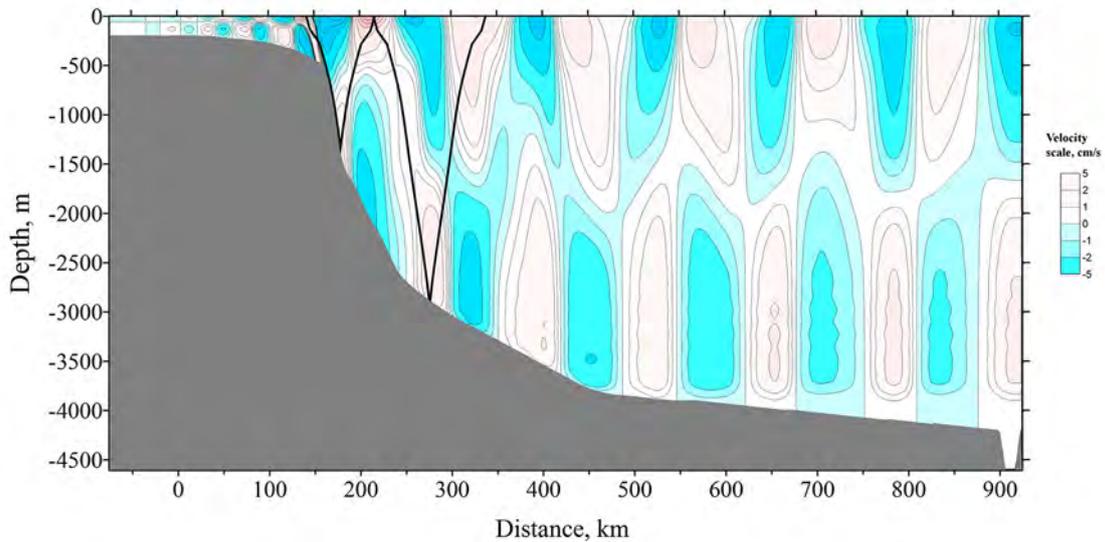


Fig. 4. Simulated velocity field over a section normal to the coast over the Santos Plateau after 10 tidal periods of calculation. Characteristic lines (beams) of internal tides are shown with black curves.

Beams of internal tides start at the continental slope. When they reach the surface and bottom the beams are reflected. Approximately at a distance of one wavelength the beam structure of internal tides turns to the model structure (Morozov, 2018).

Energy decay with distance

Mooring measurements on 9 moorings in a line from the continental slope of South America allowed us to analyze the decrease in the energy of internal tide in the course of the wave propagation. The estimates of the energy density of internal tide were calculated using the approach described in (Lozovatsky et al., 2003). The energy density of internal tides (J/m^3) was plotted versus the distance normalized by the wavelength of the first mode of internal tides (145 km). The value of 145 km was selected similar to the previous estimates in various regions of the ocean to conserve uniformity. The energy decay was compared with the decay found previously in our work in the Indian Ocean. However, the absolute values of the internal tide energy radiated from the slope were smaller (Fig. 4). We think that this occurs because the measurements in the Indian Ocean were performed near the Mascarene Ridge, which is the region of the extreme internal tides.

The energy densities of internal tide (E_{IT}) were averaged over the wave period according to Torgrimson and Hickey (1979), Holloway and Merrifield (1999), and Lozovatsky et al. (2003). In this research we used a band-pass filter to separate semidiurnal tidal components from the velocity and temperature time series. The band-pass filter was tuned to the central frequency M_2 (period 12.4 h). The density of the kinetic energy of the horizontal components of internal tide was determined as the sum of squared amplitudes of velocity. The total energy density of internal tide was calculated from the following relation:

$$E_{IT}(z) = 0.25\rho \left(\overline{u_{IT}^2(z)} + \overline{v_{IT}^2(z)} + N^2(z) \overline{\zeta_{IT}^2(z)} \right) = E_H + E_\zeta$$

Here, u_{IT} , v_{IT} are the amplitudes of the velocity components of the semidiurnal internal tide, ζ_{IT} are the similar amplitudes of vertical displacements (Lozovatsky et al., 2003). Internal tide velocity components were calculated from the mooring data subtracting the barotropic tide velocities.

Horizontal velocities of the barotropic tide were calculated using the OTIS tidal inversion software based on the data of satellite altimetry (Egbert and Erofeeva, 2002). The energy density of internal tides was calculated from the time series 42 days long to exclude the spring-neap variability (14 days).

We normalized the distances by the scale equal to the wavelength of the first mode $L/145$ km. We analyzed the decay of internal tide energy density over the range of distance between the mooring located at the closest distance to the 500-m isobath (25 km) and the most remote one (888 km). The instruments were set approximately at a depth of 900 m. The energy decay is approximately 15% loss of energy over one wavelength.

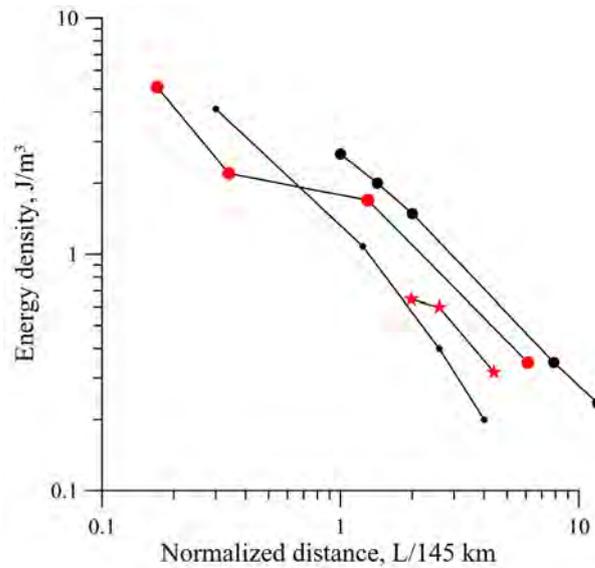


Fig. 5. Decay of internal tide energy $E_{IT} = E_H + E_\zeta$ of the semidiurnal internal tide with the distance from the continental slope. The distance from the slope is normalized by the wavelength of the first mode $L/145$ km. The measurement depth is approximately at 900 m. Energy density from ACM 3 moorings is shown with red circles; energy density from ACM 12 moorings is shown with red stars; energy density from the moorings in the Indian Ocean (Mascarene Ridge) is shown with large black dots; model energy decay is shown with small black dots.

The decay of energy density is shown in Fig. 5. The energy density of internal tides decreased by a factor of 10 over a distance of 888 km. This distance is approximately equal to 6 wavelengths. Hence, the energy losses are approximately 20% over one wavelength.

We compared the energy decay of the internal tide in the Santos Plateau region with the Mascarene region in the Indian Ocean. The graph of energy decay near the Mascarene Ridge is also shown in Fig. 5. The energy levels in both regions are different but the rate of energy decay is very similar to the one analyzed near the Mascarene Ridge.

We compared the decrease in the energy density found from the field data with the model estimates. The curve of model energy decay is also shown in Fig. 5. The amplitudes of internal tide decrease from the continental slope in the direction to the Vema Channel from 36 m to 15 m. The model estimates decrease faster, which indicates that we did not take into account all energy sources in the model. The vertical displacements and horizontal velocities were processed using the same algorithm as the measured values.

Acknowledgments

This work was accomplished within the framework of the state assignment of FASO Russia (theme No. 0149-2018-0003 and supported by the Russian Foundation for Basic Research (grant no. 17-08-00085).

References

- Egbert G.D. and Erofeeva S. Efficient inverse modeling of barotropic ocean tides. *J. Atmos. Ocean Tech.*, 2002, Vol. 19, pp. 183–204.
- Holloway P.E. and Merrifield M.A. Internal tide generation by seamounts, ridges, and islands. *J. Geophys. Res.*, 1999, Vol. 104 (C11), pp. 25937–25951.
- Lozovatsky I.D., Morozov E.G., and Fernando H.J.S. Spatial decay of energy density of tidal internal waves. *J. Geophys. Res.*, 2003, Vol. 108 (C6), pp. 3201–3216.
- Morozov E.G. Semidiurnal internal wave global field. *Deep-Sea Res.*, 1995, Vol. 42 (1), pp. 135–148.
- Morozov E.G. and Vlasenko V.I. Extreme tidal internal waves near the Mascarene Ridge. *J. Marine Sys.*, 1996, Vol. 9 (3-4), pp. 203–210.
- Morozov E.G., Demidov A.N., and Tarakanov R.Yu. Transport of Antarctic waters in the deep channels of the Atlantic Ocean. *Doklady Earth Sciences*, 2008, Vol. 423 (8), pp. 1286–1289.
- Morozov E.G. Oceanic Internal Tides, Observations, Modeling and Analysis. A Global View. Dordrecht: Springer, 2018, 316 p.
- Pereira A.F. and Castro B.M. Internal tides in the Southwestern Atlantic off Brazil: observations and numerical modeling. *J. Phys. Oceanogr.*, 2007, 37 (6), pp. 1512–1526.
- Speer K.G. and Zenk W. The flow of Antarctic Bottom water into the Brazil Basin. *J. Phys. Oceanogr.*, 1993, Vol. 23, pp. 2667–2682.
- Torgrimson G.M. and Hickey B.M. Barotropic and baroclinic tides over the continental slope and shelf off Oregon. *J. Phys. Oceanogr.*, 1999, Vol. 9, pp. 945–961.
- Vlasenko V., Stashchuk N., and Hutter K. Baroclinic Tides: Theoretical Modeling and Observational Evidence. Cambridge, Cambridge Univ. Press, 2005, 351 p.
- WOD13 (2013) World Ocean Database 2013, Geographically Sorted Data. <https://www.nodc.noaa.gov/OC5/WOD/datageo.html>; last updated October 26, 2013; last accessed in October 2017.

ВНУТРЕННИЙ ПРИЛИВ НА ПЛАТО САНТОС

Е.Г. Морозов

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, 117997, Москва,

Нахимовский проспект, д. 36, E-mail: egmorozov@mail.ru

Статья поступила в редакцию 02.02.2018, одобрена к печати 26.04.2018

Мы анализируем внутренние приливы на Плато Сантос в Южной Атлантике. Исследование основано на измерениях температуры и течений на линии буев по нормали к побережью Южной Америки, в широтном диапазоне между 28°S и 31°S. Буи были выставлены на расстояниях от 25 до 888 км (от 500 м изобаты) к юго-востоку от континентального склона. Приборы были установлены на глубине 900 м. Численное моделирование выявило свойства внутренних приливов (амплитуды, длину волны и уменьшение энергии) вдоль линии их распространения от континентального склона. Амплитуды внутреннего прилива уменьшаются от континентального склона в направлении к каналу Вима от 36 м до 15 м. Плотности энергии приливных внутренних волн вычислялись из полусуточных приливных компонент временного ряда течений и температуры с учетом вертикальных градиентов температуры и частоты Вайсяля-Брента. Затухание энергии внутреннего прилива соответствует обратному степенному закону. Численное моделирование генерации и распространения внутренних приливов показывает, что вблизи континентального склона образуются лучи внутренних приливов. Затухание энергии по результатам численного моделирования соответствует данным измерений.

Ключевые слова: внутренний прилив, буи, плато Сантос, Бразильская котловина, численное моделирование, затухание энергии

Литература

- Egbert G.D., Erofeeva S. Efficient inverse modeling of barotropic ocean tides // *J. Atmos. Ocean Tech.* 2002. Vol. 19. P. 183–204
- Holloway P.E., Merrifield M.A. Internal tide generation by seamounts, ridges, and islands // *J. Geophys. Res.* 1999. Vol. 104 (C11). P. 25,937–25,951.
- Lozovatsky I.D., Morozov E.G., Fernando H.J.S. Spatial decay of energy density of tidal internal waves // *J. Geophys. Res.* 2003. Vol. 108 (C6). P. 3201–3216.
- Morozov E.G. Semidiurnal internal wave global field // *Deep-Sea Res.* 1995. Vol. 42 (1). P. 135–148.
- Morozov E.G., Vlasenko V.I. Extreme tidal internal waves near the Mascarene Ridge // *J. Marine Sys.* 1996. Vol. 9 (3–4). P. 203–210.
- Morozov E.G., Demidov A.N., Tarakanov R.Yu. Transport of Antarctic waters in the deep channels of the Atlantic Ocean // *Doklady Earth Sciences.* 2008. Vol. 423 (8). P. 1286–1289.
- Morozov E.G. Oceanic Internal Tides, Observations, Modeling and Analysis. A Global View. Dordrecht: Springer, 2018. 316 p.
- Pereira A.F., Castro B.M. Internal tides in the Southwestern Atlantic off Brazil: Observations and numerical modeling // *J. Phys. Oceanogr.* 2007. 37 (6). P. 1512–1526.
- Speer K.G., Zenk W. The flow of Antarctic Bottom water into the Brazil Basin // *J. Phys. Oceanogr.* 1993. Vol. 23. P. 2667–2682.
- Torgrimson G.M., Hickey B.M. Barotropic and baroclinic tides over the continental slope and shelf off Oregon // *J. Phys. Oceanogr.* 1999. Vol. 9. P. 945–961.
- Vlasenko V., Stashchuk N., Hutter K. Baroclinic Tides: Theoretical Modeling and Observational Evidence // Cambridge: Cambridge Univ. Press, 2005. 351 p.
- WOD13 (2013) World Ocean Database 2013, Geographically Sorted Data, <https://www.nodc.noaa.gov/OC5/WOD/datageo.html>; last updated October 26, 2013; last accessed in October 2017.

О ДИНАМИКЕ И СТРУКТУРЕ ГЛОБАЛЬНОЙ АТМОСФЕРНОЙ ОСЦИЛЛЯЦИИ В КЛИМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЯХ И РЕАЛЬНОСТИ

И.В. Серых

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, 117997, Москва,
Нахимовский проспект, д. 36, e-mail: iserykh@ocean.ru*

Статья поступила в редакцию 28.02.2018, одобрена к печати 26.04.2018

По данным наблюдений и их ре-анализам, а также результатам экспериментов с климатическими моделями построены глобальные поля средних аномалий атмосферного давления на уровне моря и температуры воздуха у поверхности на положительных и отрицательных фазах недавно выявленной российскими учеными Глобальной атмосферной осцилляции (ГАО), чьими элементами являются Эль-Ниньо и Ла-Нинья. Предложен индекс ГАО и рассчитаны его спектры, а также спектры индексов Эль-Ниньо – Южного колебания. Показано, что некоторые из современных моделей совместной циркуляции океана и атмосферы, участвующие в международном проекте сравнения моделей CMIP5, неплохо воспроизводят пространственную структуру ГАО. Что касается временных энергетических спектров, то у моделей они отличаются от реальности как общим ходом спектральной плотности в диапазоне междугодовых – десятилетних колебаний, так и периодами конкретных пиков, имеющих место в этом диапазоне. Сравнение модельных экспериментов piControl и Historical показало, что при учете 11-летнего цикла солнечной активности климатические модели воспроизводят периодичности ГАО точнее, чем без него. Сделан вывод, что отличия модельных спектров от реальных являются причиной ошибок в предсказаниях начала Эль-Ниньо с заблаговременностью более полугодия.

Ключевые слова: Глобальная атмосферная осцилляция, Эль-Ниньо, Ла-Нинья, данные наблюдений, ре-анализы, совместные модели общей циркуляции океана и атмосферы, энергетические спектры, 11-летний цикл солнечной активности, чандлеровское колебание

Введение

Одним из наиболее известных явлений, наблюдаемых в системе океан – атмосфера, является Эль-Ниньо – Южное колебание (ЭНЮК). ЭНЮК развивается в узкой приэкваториальной полосе Тихого океана, т.е. формально является региональным явлением. Вместе с тем, общепринято считать, что ЭНЮК оказывает свое воздействие на гидрометеорологические процессы междугодовых – десятилетних временных масштабов повсеместно на Земле. Этому обстоятельству посвящены бесчисленные публикации в отечественной и, особенно, зарубежной литературе (Voskresenskaya and Polonsky, 1993; McPhaden et al., 2006; Peng et al., 2014). Сейчас с констатацией глобальной важности ЭНЮК появляется не менее десятка статей ежегодно.

Несколько лет назад исследователи из Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН (Бышев и др., 2012а, б) предположили, что существует Глобальная атмосферная осцилляция (ГАО), на экстремальных фазах которой развиваются события Эль-Ниньо и Ла-Нинья. Иначе говоря, эти авторы предположили, что первичным является совокупное взаимодействие гидрометеорологических процессов, происходящих всюду на Земле, а ЭНЮК есть наиболее выраженное проявление этих процессов.

Чтобы выявить ГАО, были рассмотрены и сопоставлены глобальные поля давления на уровне моря (ДУМ), соответствующие 10 наиболее сильным Эль-Ниньо и Ла-Нинья, из числа имевших место в 1950–2010 годах. На их основе было построено среднее поле разностей между полями ДУМ, имевшими место при Эль-Ниньо и при Ла-Нинья. Главной особенностью среднего поля разностей оказалось наличие обширной положительной области ДУМ, которая в зональном направлении простирается вдоль экватора от района Индонезии через Индийский океан, Африку и Атлантику вплоть до побережья Бразилии, а в меридиональном направлении ограничена с севера и юга 30° северной и южной широты. Со всех сторон эту область опоясывают узкие ленты отрицательных значений разности ДУМ. Они сливаются и усиливаются по модулю в центре и на востоке Тихого океана, пересекаясь в каноническом районе развития Эль-Ниньо и Ла-Нинья. В приполярных областях обоих полушарий значения разности ДУМ опять становятся положительными. Наиболее выраженный очаг положительных значений ДУМ располагается к юго-западу от Южной Америки, где уже до этого некоторые исследователи (Peterson and White, 1998; Romanov et al., 2008) находили развитие мощного антициклона одновременно с развитием Эль-Ниньо.

Поскольку число событий Эль-Ниньо и Ла-Нинья, использованных для построения средних полей разностей в работах (Бышев и др., 2012а, б) было весьма невелико, возникло сомнение в статистической значимости средних полей разностей ДУМ и, следовательно, реальности ГАО. Поэтому в работе (Бышев и др., 2016) расчет среднего глобального поля разностей ДУМ между событиями Эль-Ниньо и Ла-Нинья был выполнен заново с использованием большего числа этих событий (23 и 25), имевших место в 1920–2012 годах. И главное, для обеих групп событий были подсчитаны глобальные поля среднеквадратических отклонений ДУМ от средних полей, соответствующих Эль-Ниньо и Ла-Нинья по отдельности. Используя эти среднеквадратические отклонения для каждого узла географической сетки, покрывающей всю Землю, были вычислены значения *t*-теста Стьюдента, показавшие, что очаги положительных и отрицательных разностей ДУМ, видимые в пространственной структуре ГАО, являются высоко значимыми (на уровне 95% и даже более). Тем самым было доказано, что ГАО реально существует.

Встал вопрос, воспроизводят ли ГАО современные модели совместной циркуляции океана и атмосферы, при том, что они воспроизводят многие черты наблюдаемой межгодовой изменчивости в тропиках Тихого океана (Володин и Дианский, 2004). Сравнение временных энергетических спектров индексов ЭНЮК,

рассчитанных по данным наблюдений, со спектрами, полученными по результатам климатических моделей проекта CMIP5 (Coupled Model Intercomparison Project Phase 5), показало их сильный разброс (Bellenger et al., 2014; Privalsky and Yushkov, 2015; Rao and Ren, 2014; Ren et al., 2015; Stevenson, 2012). Воспроизводимые моделями CMIP5 глобальные и региональные структуры аномалий гидрометеорологических полей при Эль-Ниньо также продемонстрировали широкое разнообразие наблюдаемых аномалий (Hurwitz et al., 2014; Jha et al., 2014; Oh et al., 2014; Weare, 2013).

Данная работа посвящена сравнению глобальных структур различий в ДУМ и температуры воздуха у поверхности (ТВП), возникающих при Эль-Ниньо и при Ла-Нинья, т.е. на положительных и отрицательных фазах ГАО, а также временных энергетических спектров индексов ЭНЮК и ГАО, рассчитанных по данным наблюдений и их ре-анализам, с соответствующими характеристиками, полученными при интегрировании моделей CMIP5, с целью выявления недостатков современных климатических моделей.

Материалы и методы исследования

Для анализа были выбраны глобальные среднемесячные поля ДУМ из следующих источников: NCEP/NCAR Reanalysis на сетке $2.5 \times 2.5^\circ$ за период 1948–2016 (Kalnay et al., 1996), Met Office Hadley Center HadSLP2 на сетке $5 \times 5^\circ$ за период 1850–2016 (Allan and Ansell, 2006), NOAA CIRES 20th Century Global Reanalysis Version 2c (20thC_ReanV2c) на сетке $2 \times 2^\circ$ за период 1851–2014 (Compo et al., 2011), ECMWF ERA-20C на сетке $1 \times 1^\circ$ за период 1900–2010 (Stickler et al., 2014) и JMA JRA-55 на сетке $1.25 \times 1.25^\circ$ за период 1958–2013 (Kobayashi et al., 2015).

Глобальные среднемесячные значения температуры поверхности океана (ТПО) были взяты из массивов: Met Office Hadley Center HadISST на сетке $1 \times 1^\circ$ за период 1870–2016 (Rayner et al., 2003), JMA COBE SST2 на сетке $1 \times 1^\circ$ за период 1850–2016 (Hirahara et al., 2014) и NOAA ERSST V4 на сетке $2 \times 2^\circ$ за период 1854–2015 (Huang et al., 2015; Liu et al., 2015). Дополнительно анализировались глобальные среднемесячные данные приповерхностной температуры Met Office Hadley Center HadCRUT.4.5 на сетке $5 \times 5^\circ$ за период 1850–2016 (Jones et al., 2012), и глобальные среднемесячные данные ТВП из уже упомянутых выше ре-анализов: NCEP/NCAR, 20thC_ReanV2c, ERA-20C и JRA-55.

Для каждого из перечисленных массивов данных, за весь доступный в нем временной период, в каждом узле сетки рассчитывался средний годовой ход, который затем вычитался из исходных данных. По полученным таким образом полям аномалий рассчитывались три индекса. Во-первых, индекс Эль-Ниньо, названный Расширенным океаническим индексом (Extended Oceanic Nino Index – EONI). Он представляет собой среднюю аномалию ТПО в области (5° ю.ш.– 5° с.ш., 170 – 80° з.д.). В этой области обычно имеется больше данных корабельных наблюдений ТПО, чем в области рассматриваемой при оценке стандартного для определения Эль-Ниньо индекса Nino 3.4 (5° ю.ш.– 5° с.ш., 170 – 120° з.д.). Во-вторых,

Экваториальный индекс Южного колебания (Equatorial Southern Oscillation Index – ESOI), он определяется по разности средних аномалий ДУМ между областями (5° ю.ш.– 5° с.ш., 90 – 140° в.д.) и (5° ю.ш.– 5° с.ш., 130 – 80° з.д.). В-третьих, индекс ГАО (Global Atmospheric Oscillation Index – GAOI), который представляет собой следующую комбинацию нормированных средних аномалий ДУМ в симметрично расположенных 10 очагах глобального поля ГАО, в которых значения этого поля имеют наибольшую статистическую значимость: (5° ю.ш.– 5° с.ш., 35 – 25° з.д.) + (5° ю.ш.– 5° с.ш., 55 – 65° в.д.) + (55 – 65° с.ш., 95 – 85° з.д.) + (65 – 55° ю.ш., 95 – 85° з.д.) + (5° ю.ш.– 5° с.ш., 145 – 155° в.д.) – (45 – 55° с.ш., 175 – 165° з.д.) – (45 – 55° с.ш., 15 – 5° з.д.) – (55 – 45° ю.ш., 15 – 5° з.д.) – (55 – 45° ю.ш., 175 – 165° з.д.) – (5° ю.ш.– 5° с.ш., 95 – 85° з.д.). В отличие от других индексов ЭНЮК и ГАО, GAOI содержит аномалии средних и высокоширотных областей, где вероятность аномалий ГАО велика, поэтому GAOI характеризует всю планетарную структуру ГАО, а не только ее тропическую часть, как предложенный в работе (Бышев и др., 2014) индекс. GAOI изменяется синхронно с EONI и ESOI, поскольку его вариации включают Южное колебание. Это показывает, что все атмосферные процессы, приводящие к ГАО, развиваются более или менее синхронно. Линейные тренды были удалены из полученных рядов всех индексов методом наименьших квадратов, с целью подавления междекадных изменений климата.

События Эль-Ниньо и Ла-Нинья определялись по EONI так, чтобы значение этого индекса превышало на протяжении 5 месяцев подряд или дольше величину $+0.5^{\circ}\text{C}$ при Эль-Ниньо и было меньше -0.5°C при Ла-Нинья. Для каждого выбранного таким образом события были рассчитаны глобальные поля средних аномалий ДУМ и ТВП. Эти поля усреднялись отдельно по событиям Эль-Ниньо и Ла-Нинья. Затем вычислялась разность полученных средних полей. Кроме того, определялось поле среднеквадратических отклонений отдельных событий от среднего поля по каждому типу событий (Эль-Ниньо и Ла-Нинья) и на этой основе оценивались поля статистической значимости различий между средними полями согласно критерию t Стьюдента с различной степенью вероятности. Положительные и отрицательные фазы ГАО определялись по GAOI аналогично событиям Эль-Ниньо и Ла-Нинья, но критерием выбора при этом служило среднеквадратичное отклонение и время, за которое автокорреляционная функция GAOI достигает нулевого значения. Для фаз ГАО также построены глобальные поля средних разностей ТВП и ДУМ и оценена статистическая значимость этих аномалий, которые оказались очень близки к полям, полученным по EONI.

Временные энергетические спектры индексов рассчитывались методом быстрого преобразования Фурье (БПФ). Чтобы обеспечить максимальное разрешение этих спектров по периодам, рассчитывалась целая группа спектров по методу Уэлча (Welch, 1967). Для этого из исходных рядов выбирались части, соответствующие «окнам», чья ширина варьировалась от полной длины исходного ряда до его половины и при этом «окно» скользило по всей длине исходного ряда. Все полученные спектры усреднялись, и осредненный спектр сглаживался скользящим средним (Серых и Сонечкин, 2017а, 2017б).

Все рассчитанные по данным измерений и ре-анализов глобальные поля средней амплитуды колебаний ДУМ и ТВП при ГАО и энергетические спектры индексов сравнивались с соответствующими полями и спектрами полученными аналогичным способом по результатам эксперимента Historical за период 1850–2005 для 47 совместных моделей общей циркуляции океана и атмосферы, доступных к настоящему времени в рамках проекта CMIP5: ACCESS1.0, ACCESS1-3, bcc-csm1-1, bcc-csm1-1-m, BNU-ESM, CanESM2, CCSM4, CESM1-BGC, CESM1-CAM5, CESM1-FASTCHEM, CESM1-WACCM, CMCC-CESM, CMCC-CM, CMCC-CMS, CNRM-CM5, CNRM-CM5-2, CSIRO-Mk3.6, EC-EARTH, FGOALS-s2, FIO-ESM, GFDL-CM2p1, GFDL-CM3, GFDL-ESM2G, GFDL-ESM2M, GISS-E2-H, GISS-E2-H-CC, GISS-E2-R, GISS-E2-R-CC, HadCM3, HadGEM2-AO, HadGEM2-CC, HadGEM2-ES, INM-CM4, IPSL-CM5A-LR, IPSL-CM5A-MR, IPSL-CM5B-LR, MIROC4h, MIROC5, MIROC-ESM, MIROC-ESM-CHEM, MPI-ESM-LR, MPI-ESM-MR, MPI-ESM-P, MRI-CGCM3, MRI-ESM1, NorESM1-M, NorESM1-ME (Taylor et al., 2012). Проведено визуальное сравнение полученных полей. Кроме того, были рассчитаны различия между полями после их линейной интерполяции на сетку $1 \times 1^\circ$. Из 47 исследованных моделей CMIP5 были выбраны те, которые наиболее близко воспроизводят глобальную структуру ГАО и энергетические спектры исследуемых индексов. Для этих климатических моделей описанным выше способом рассчитаны поля и спектры по результатам эксперимента piControl, в котором в отличие от эксперимента Historical отсутствует внешний форсинг изменений солнечной активности. Результаты экспериментов Historical и piControl сравнивались между собой с целью оценки влияния внешних сил на периодичность ГАО и ЭНЮК.

Обсуждение результатов

Сравнение глобальных полей разностей ДУМ и ТВП между противоположными фазами ГАО, построенных по данным наблюдений и ре-анализам, показало их близкое сходство. Исходя из этого, в данной работе эти поля иллюстрируются только на примере ре-анализа 20thC_ReanV2c (рис. 1а и 2а). Поле ДУМ ГАО (рис. 1а) представляет собой планетарную структуру, обладающую, с учетом расположения и рельефа континентов, некоторой симметрией относительно экватора и меридиана 90° з.д. Обширная область положительных значений ДУМ ГАО в тропиках и субтропиках Атлантического, Индийского и западной части Тихого океанов окружена лентами отрицательных значений, пересекающимися на востоке Тихого океана ($120-90^\circ$ з.д.) вблизи экватора. В высоких широтах, к северу и югу от этого пересечения, почти симметрично расположены две области положительных аномалий ДУМ.

Описанная выше структура колебаний ДУМ, вызванных ГАО, хорошо соответствует сопровождающим её изменениям ТВП (рис. 2а). В них прослеживается глобальная структура температурных колебаний, симметричная (с поправкой на континенты) относительно экватора и относительно меридиана, проходящего через

120° з.д. Обширная область положительных значений ТВП в тропиках и субтропиках Атлантического и Индийского океанов окаймлена полосами отрицательных значений. Но на месте их пересечения в центрально-восточной части тропиков Тихого океана расположен характерный для Эль-Ниньо «язык» положительных аномалий ТВП. К северу и югу от него в высоких широтах почти симметрично расположены две области положительных значений аномалий ТВП.

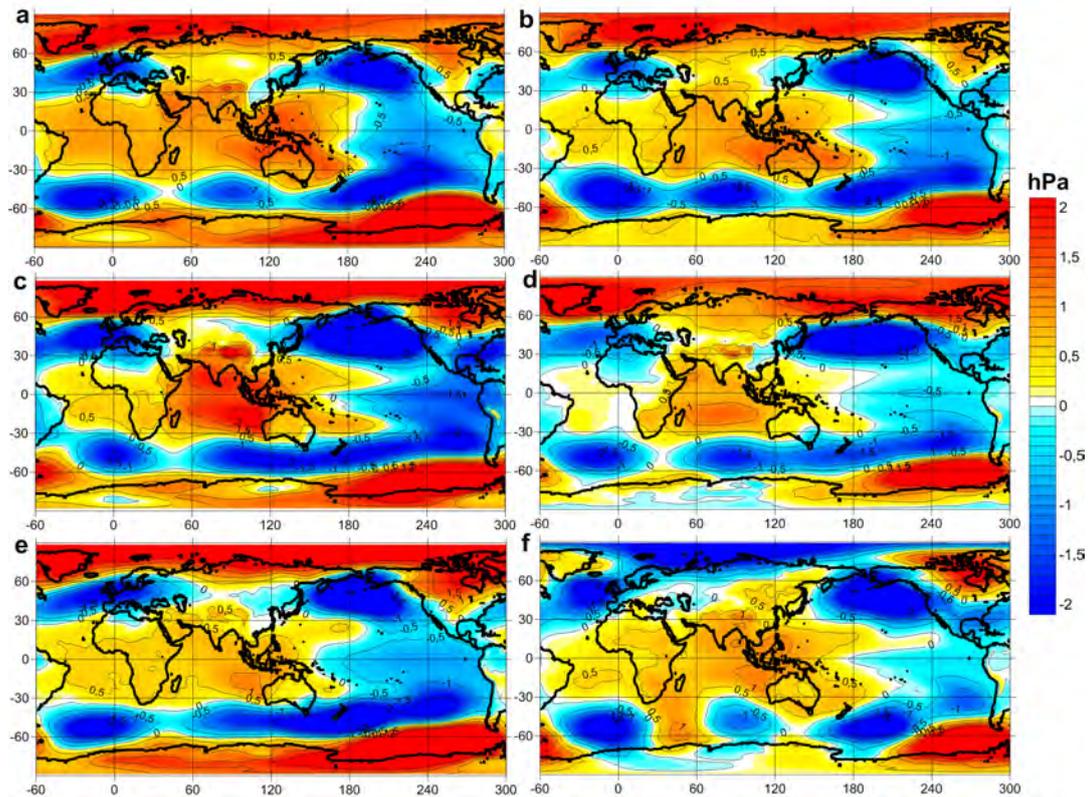


Рис. 1. Поля средних разностей давления на уровне моря (ДУМ) между положительной и отрицательной фазами Глобальной атмосферной осцилляции (ГАО) для ре-анализа 20thC_ReanV2c (a) и эксперимента Historical климатических моделей CMIP5: ACCESS1-3 (b), CanESM2 (c), INM-CM4 (d), MPI-ESM-MR (e) и MRI-CGCM3 (f).

Поля разности ДУМ и ТВП между противоположными фазами ГАО, рассчитанные по результатам эксперимента Historical проекта CMIP5, которые наиболее близко соответствуют данным наблюдений и их ре-анализам, представлены на рис. 1b-1f и 2b-2f. На полученных по моделям полях ДУМ обращают на себя внимание заниженные по сравнению с данными наблюдений значения разностей в тропиках Атлантического океана и Африки (рис. 1). Это свидетельствует о более слабых в моделях дальних связях Тихоокеанской и Индоокеанской ячеек циркуляции Уокера с Атлантической и Африканской. В результатах моделирования полосы отрицательных значений ДУМ, окаймляющие обширную тропическую область положительных значений, выражены слабее и имеют больше разрывов, чем аналогичные полосы в данных наблюдений. Это говорит о недоучтенных в моделях взаимосвязях между тропиками и средними широтами, осуществляемых циркуляцией Гадлея.

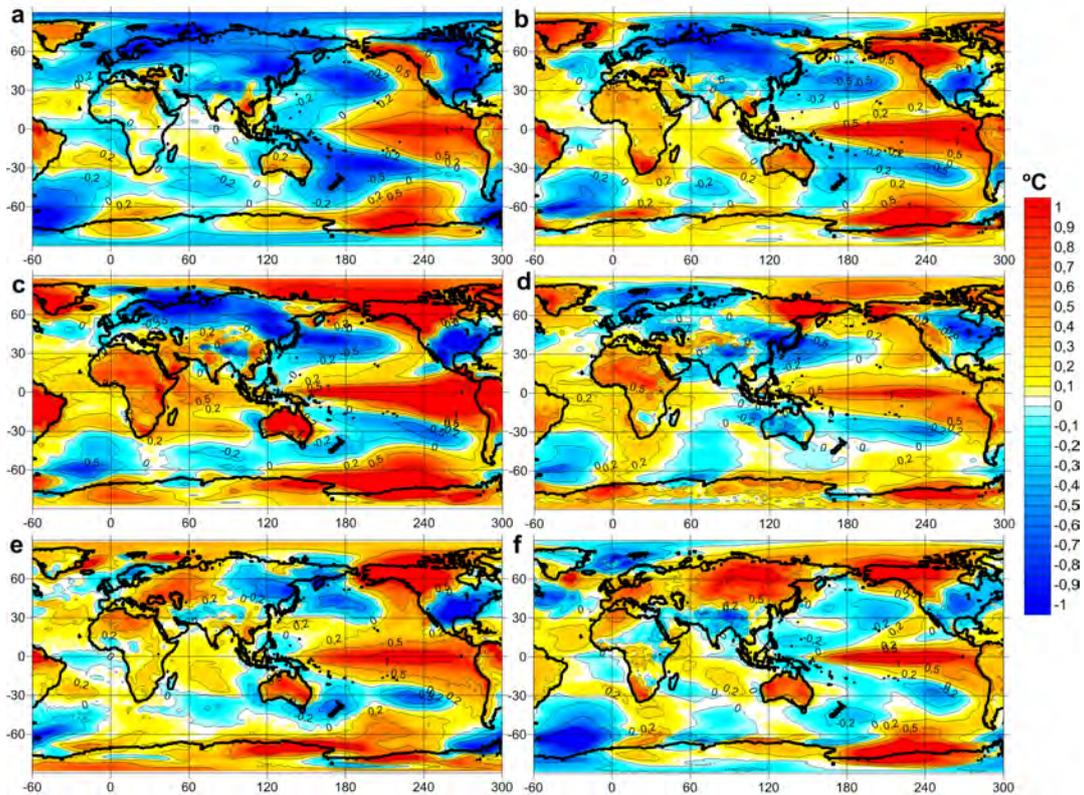


Рис. 2. Поля средних разностей температуры воздуха у поверхности (ТВП) между положительной и отрицательной фазами Глобальной атмосферной осцилляции (ГАО) для ре-анализа 20thC_ReanV2c (a) и эксперимента Historical климатических моделей CMIP5: ACCESS1-3 (b), CanESM2 (c), INM-CM4 (d), MPI-ESM-MR (e) и MRI-CGCM3 (f).

В сравнении с данными наблюдений, пространственные структуры ДУМ, полученные по моделям, ближе повторяют контуры соответствующих структур ТВП. В модельных пространственных структурах ДУМ прослеживается характерный для Эль-Ниньо «язык» положительных аномалий ТПО в тропиках Тихого океана, что свидетельствует о переоцененном в моделях влиянии изменений ТПО на ДУМ. У моделей (рис. 2) этот «язык» ТПО распространяется слишком далеко на запад Тихого океана, захватывая регион Индонезии, что является следствием завышения в этих моделях экваториального апвеллинга в центре и на западе Тихого океана (Володин и Дианский, 2004). Обращает на себя внимание тот факт, что поля ТВП, рассчитанные по моделям, имеют менее гладкую структуру над континентами, чем аналогичные поля в ре-анализах. Это говорит о несколько завышенном влиянии рельефа в этих моделях.

То, как модели воспроизводят временную динамику ГАО, лучше всего рассматривать путем сравнения реально наблюдаемых и моделированных временных энергетических спектров GAOI (рис. 3). На рис. 3а видно, что такой реальный спектр на периодах от 1 года до 2 лет близок к практически «белому», от 2 до 3 лет является «красным», а от 3 до 20 лет снова становится практически «белым», т.е. его спектральная плотность одинакова, если ее рассматривать

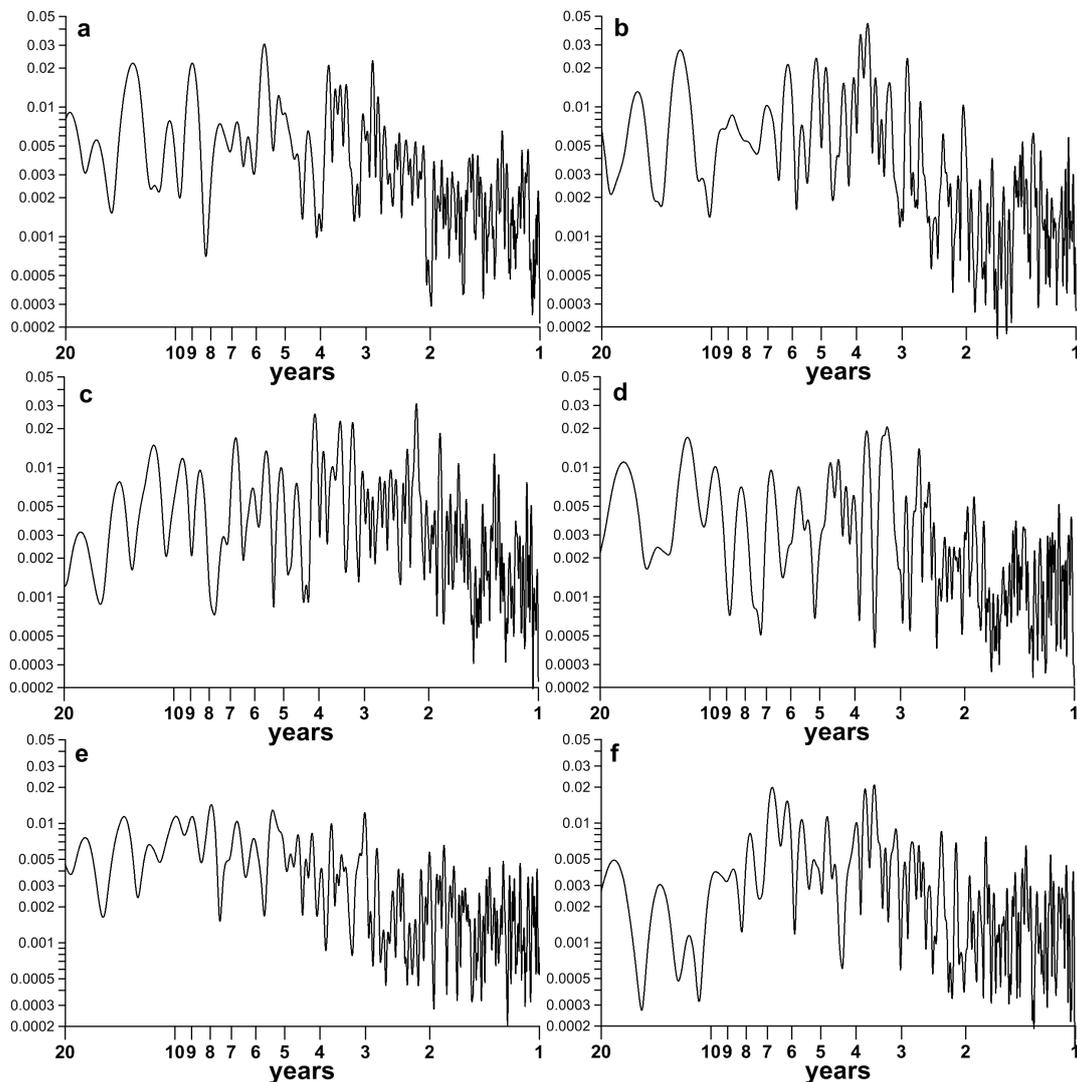


Рис. 3. Энергетические спектры индекса Глобальной атмосферной осцилляции (GAOI) для ре-анализа 20thC_ReanV2c (a) и эксперимента Historical моделей CMIP5: ACCESS1-3 (b), CanESM2 (c), INM-CM4 (d), MPI-ESM-MR (e) и MRI-CGCM3 (f).

в окне, шириной порядка года и более. Среди показанных модельных спектров этим свойством обладает только спектры моделей ACCESS1-3 (рис. 3b) и INM-CM4 (рис. 3d). У модели CanESM2 (рис. 3c) спектральная плотность возрастает на периодах от 1 года до 2 лет, а на периодах более 2 лет убывает с ростом периода. У модели MPI-ESM-MR (рис. 3e) спектр «красный», т.е. спектральная плотность, в общем, увеличивается по мере роста периода вплоть до примерно 7 лет, и далее не растет, а даже начинает немного уменьшаться. Спектр модели MRI-CGCM3 (рис. 3f) является «красным» от 1 года до 3.5 лет, затем «белым» до 7 лет, а затем спектральная плотность резко убывает с ростом периода.

Значительные различия между реальными и модельными спектрами существуют также в положении и мощности пиков спектральной плотности. Отметим, что уже давно большинство исследователей заключили, что основные пики в спектрах

ЭНЮК являются статистически значимыми (Trenberth, 1976; Torrence and Compo, 1997). Это заключение тем более весомо, что теоретические работы (Jin et al., 1994, 1996; Tziperman et al., 1994) по учету периодически меняющегося притока тепла к климатической системе от Солнца показали неизбежное появление пиков в спектрах ЭНЮК на комбинационных гармониках годового периода. В реальном спектре (рис. 3а) главные пики находятся на периодах 5.6, 3.7 и 2.8 года. Они не являются комбинационными гармониками годового периода. Но их можно уподобить супергармоникам 1:2, 1:3 и 1:4 11-летнего цикла солнечной активности. Коль скоро это принимается, это означает, что климатическая система реагирует на воздействие солнечной активности, хотя это воздействие энергетически крайне мало. Реакция системы на это малое воздействие является нелинейной. Поэтому она видна не на самом 11-летнем периоде, а на его супергармониках. Такое предположение уже высказывалось (Вакуленко и Сонечкин, 2011).

Спектры моделей CMIP5, показанные на рис. 3b-f, были рассчитаны по результатам эксперимента Historical, в котором присутствует форсинг 11-летнего цикла изменений солнечной активности. Поэтому эти спектры также демонстрируют некоторые пики на периодах, близких к вышеуказанным супергармоникам. Однако в спектрах, рассчитанных по результатам эксперимента piControl (без внешнего форсинга), эти пики теряются на фоне других, более мощных пиков. Отметим также, что группы мощных пиков в реальном спектре вблизи периодов 2.4, 3.6 и 4.8 года можно уподобить субгармоникам 1:2, 1:3 и 1:4 чандлеровского колебания полюсов Земли с периодом около 1.2 года (Sidorenkov, 2009; Серых и Сонечкин, 2017а, 2017б). В работе (Серых и Сонечкин, 2016) было показано, как это колебание может возбуждать теплое поверхностное течение у тихоокеанского берега Центральной Америки, т.е. положительные аномалии ТПО характерные для Эль-Ниньо. В моделях CMIP5 чандлеровское колебание полюсов вообще не учитывается. Поэтому эти пики отсутствуют в большинстве модельных спектров.

Выводы

1. Путем сравнения данных ре-анализов и результатов интегрирований современных климатических моделей показано, что некоторые из моделей совместной циркуляции океана и атмосферы, участвующие в международном проекте CMIP5, в общем, воспроизводят планетарные структуры аномалий в полях давления на уровне моря (ДУМ) и температуры воздуха у поверхности (ТВП), наблюдающиеся при событиях Эль-Ниньо и Ла-Нинья, которые были недавно обнаружены в реальной атмосфере и названы Глобальной атмосферной осцилляцией (ГАО). Конечно, существуют многие количественные различия между элементами реальной и моделированных пространственных структур ГАО.

2. Для характеристики временной динамики ГАО был разработан индекс, который представляет собой комбинацию средних аномалий ДУМ в 10 очагах глобального поля ГАО. По данным наблюдений и результатам интегрирований

моделей CMIP5 были выполнены оценки временных энергетических спектров индексов ГАО и ЭНЮК в диапазоне масштабов от 1 года до 20 лет. Эти расчеты показали двоякие различия в характере реальных и моделированных спектров.

3. Реальные спектры, рассматриваемые в целом, выглядят как «белый шум» от 1 года до 2 лет, «красный шум» от 2 до 3 лет, и снова как «белый шум» от 3 до 20 лет. В то время как моделированные спектры показывают большой разброс своих форм в этом отношении. Из числа пяти иллюстрированных модельных спектров, относящихся к моделям, лучше всего воспроизводящим пространственную структуру ГАО, только модели ACCESS1-3 и INM-CM4 показывают спектр наиболее близкий по форме к реальному спектру. Общий характер спектров моделей MPI-ESM-MR и MRI-CGCM3 соответствует «красному шуму». Спектр модели CanESM2 показывает общее убывание спектральной плотности с ростом периода, что является совсем противоестественным.

4. Все спектры, включая реальные и моделированные, обнаруживают большое число статистически значимых пиков спектральной плотности. Но их расположение на оси периодов у всех модельных спектров существенно отличается от такового у реальных спектров. Три главных пика в реальных спектрах наблюдаются на периодах 5.6, 3.7 и 2.8 года, т.е. на супергармониках 11-летнего цикла солнечной активности. Из числа иллюстрированных модельных спектров только у некоторых моделей можно усмотреть пики на близких к указанным периодам при условии, что эти спектры подсчитаны по результатам эксперимента Historical, в котором изменения солнечной активности принимались во внимание. Если же спектры подсчитывались по результатам этих моделей в эксперименте piControl (без форсинга от 11-летнего цикла солнечной активности), пики на вышеуказанных супергармониках ни разу не появлялись. Это косвенно доказывает, что главные пики в реальных спектрах действительно можно считать нелинейными откликами реальной климатической системы на 11-летний цикл солнечной активности. В реальных спектрах имеется также последовательность пиков на периодах 2.4, 3.6 и 4.8 года, которые можно истолковать как субгармоники чандлеровского колебания полюсов Земли, чей период приблизительно составляет 1.2 года. Ни один из экспериментов CMIP5 не принимал во внимание чандлеровское колебание. Поэтому не удивительно, что модельные спектры не воспроизводят подобные пики.

5. Учитывая найденные различия в том, как современные климатические модели воспроизводят пространственную структуру ГАО и, особенно, как они воспроизводят временные спектры индексов ГАО и ЭНЮК, становится понятно, почему в настоящее время не удается предсказывать события Эль-Ниньо и Ла-Нинья с заблаговременностью более сезона – полугодия. Представляется, что для преодоления этого так называемого «весеннего предела предсказуемости» необходимо более адекватно учитывать периодические внешние воздействия на климатическую систему, такие как изменения солнечной активности и чандлеровское колебание полюсов Земли.

Статья подготовлена при поддержке программы президиума РАН № 1.2.49 «Взаимодействие физических, химических и биологических процессов в Мировом океане».

Литература

- Бышев В.И., Нейман В.Г., Романов Ю.А., Серых И.В. Эль-Ниньо как следствие Глобальной атмосферной осцилляции в динамике климатической системы Земли // Доклады Академии наук. 2012а. Т. 446. № 1. С. 89–94.
- Бышев В.И., Нейман В.Г., Романов Ю.А., Серых И.В. О влиянии событий Эль-Ниньо на климатические характеристики Индоокеанского региона // Океанология. 2012б. Т. 52. № 2. С. 165–175.
- Бышев В.И., Нейман В.Г., Романов Ю.А., Серых И.В. Глобальные атмосферные осцилляции в динамике современного климата // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2014. Т. 11. № 1. С. 62–71.
- Бышев В.И., Нейман В.Г., Романов Ю.А., Серых И.В., Сонечкин Д.М. О статистической значимости и климатической роли Глобальной атмосферной осцилляции // Океанология. 2016. Т. 56. № 2. С. 179–185.
- Вакуленко Н.В., Сонечкин Д.М. Свидетельство влияния солнечной активности на Эль-Ниньо Южное колебание // Океанология. 2011. Т. 51. № 6. С. 1–6.
- Володин Е.М., Дианский Н.А. Воспроизведение Эль-Ниньо в совместной модели общей циркуляции атмосферы и океана // Метеорологии и Гидрологии. 2004. № 12. С. 5–14.
- Серых И.В., Сонечкин Д.М. О влиянии полюсного прилива на Эль-Ниньо // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016. Т. 13. № 2. С. 44–52.
- Серых И.В., Сонечкин Д.М. О проявлениях движений полюсов Земли в ритмах Эль-Ниньо Южного колебания // Доклады Академии наук. 2017а. Т. 472. № 6. С. 716–719.
- Серых И.В., Сонечкин Д.М. Хаос и порядок в атмосферной динамике. Часть 2: Междугодовые ритмы Эль-Ниньо Южного колебания // Известия высших учебных заведений. Прикладная нелинейная динамика. 2017б. Т. 25. № 5. С. 5–25.
- Allan R.J., Ansell T.J. A new globally-complete monthly historical gridded mean sea level pressure data set (HadSLP2): 1850–2004 // *J. Climate*. 2006. Vol. 19. P. 5816–5846.
- Bellenger H., Guilyardi E., Leloup J., Lengaigne M., Vialard J. ENSO representation in climate models: from CMIP3 to CMIP5 // *Clim. Dyn.* 2014. Vol. 42. P. 1999–2018.
- Compo G.P., Whitaker J.S., Sardeshmukh P.D. The Twentieth Century Reanalysis Project // *Quarterly J. Roy. Meteorol. Soc.* 2011. Vol. 137. P. 1–28.
- Kalnay E., Kanamitsu M., Kistler R. The NCEP / NCAR 40-year reanalysis project // *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 1996. Vol. 77. P. 437–471.
- Jin F.F., Neelin J.D., Ghil M. El Nino on the devil's: annual subharmonic steps to chaos // *Science*. 1994. Vol. 264. P. 70–72.
- Jin F.F., Neelin J.D., Ghil M. El Nino/Southern Oscillation and the annual cycle: Subharmonic frequency locking and aperiodicity // *Physica D*. 1996. Vol. 98. P. 442–465.
- Jha B., Hu Z., Kumar A. SST and ENSO variability and change simulated in historical experiments of CMIP5 models // *Clim. Dyn.* 2014. Vol. 42. P. 2113–2124.
- Jones P.D., Lister D.H., Osborn T.J. Hemispheric and large-scale land surface air temperature variations: An extensive revision and an update to 2010 // *J. Geophys. Res.* 2012. Vol. 117. D05127.

- Hirahara S., Ishii M., Fukuda Y. Centennial-scale sea surface temperature analysis and its uncertainty // *J. of Climate*. 2014. Vol. 27. P. 57–75.
- Huang B., Banzon V.F., Freeman E. Extended reconstructed sea surface temperature version 4 (ERSST.v4). Part I: Upgrades and intercomparisons // *J. Clim.* 2015. Vol. 28. No. 3. P. 911–930.
- Hurwitz M.M., Calvo N., Garfinkel C.I. Extra-tropical atmospheric response to ENSO in the CMIP5 models // *Clim. Dyn.* 2014. doi 10.1007/s00382-014-2110-z.
- Kobayashi S., Ota Y., Harada Y. The JRA-55 Reanalysis: General Specifications and Basic Characteristics // *J. Met. Soc. Jap.* 2015. Vol. 93. No. 1. P. 5–48.
- Liu W., Huang B., Thorne P.W. Extended reconstructed sea surface temperature version 4 (ERSST. v4): Part II. Parametric and structural uncertainty estimations // *J. Clim.* 2015. Vol. 28. No. 3. P. 931–951.
- McPhaden M.J., Zebiak S.E., Glantz M.H. ENSO as an integrating concept in Earth science // *Science*. 2006. Vol. 314. P. 1740–1745.
- Oh J.H., Shin D.W., Cocke S.D., Baigorria G.A. ENSO Teleconnection Pattern Changes over the Southeastern United States under a Climate Change Scenario in CMIP5 Models // *Advances in Meteorology*. 2014. Vol. 2014. Article D1648197.
- Peng J.B., Chen L.T., Zhang Q.Y. The relationship between the El Nino/La Nina cycle and the transition chains of four atmospheric oscillations. Part I: The four oscillations // *Adv. Atmos. Sci.* 2014. Vol. 31. No. 2. P. 468–479.
- Peterson R.G., White W.B. Slow teleconnections linking the Antarctic Circumpolar Wave with the tropical El Nino Southern Oscillation // *J. geophys. Res.* 1998. Vol. 103. P. 24573–24583.
- Privalsky V., Yushkov V. ENSO influence upon global temperature in nature and in CMIP5 simulations // *Atmos. Sci. Lett.* 2015. Vol. 16. P. 240–245.
- Rao J., Ren R.C. Statistical characteristics of ENSO events in CMIP5 models // *Atmos. Oceanic Sci. Lett.* 2014. Vol. 7. P. 546–552.
- Rayner N.A., Parker D.E., Horton E.B. Global analyses of sea surface temperature, sea ice, and night marine air temperature since the late nineteenth century // *J. Geophys. Res.* 2003. Vol. 108. Article D144407.
- Ren H.L., Zuo J., Jin F.F., Stuecker M.F. ENSO and annual cycle interaction: the combination mode representation in CMIP5 models // *Clim. Dyn.* 2015. doi 10.1007/s00382-015- 2802-z.
- Romanov Y.A., Romanova N.A., Romanov P.Y. Distribution of icebergs in the Atlantic and Indian 13 ocean Sectors of the Antarctic region and its possible links with ENSO // *Geophys. Res. Lett.* 2008. Vol. 35. Article D1LO2506.
- Sidorenkov N.S. The interaction between Earth's rotation and geophysical processes. Wiley-VCH & Co. KCA: Weinheim, 2009. 305 p.
- Stevenson S.L. Significant changes to ENSO strength and impacts in the twenty-first century: Results from CMIP5 // *Geophys. Res. Lett.* 2012. Vol. 39. Article D1L17703.
- Stickler A., Brönnimann S., Valente M.A. ERA-CLIM: Historical Surface and Upper-Air Data for Future Reanalyses // *Bull. Amer. Meteor. Soc.* Vol. 95. No. 9. P. 1419–1430.
- Taylor K.E., Stouffer R.J., Meehl G.A. Overview of CMIP5 and the experiment design // *Bull. Am. Meteor. Soc.* 2012. Vol. 93. P. 485–498.
- Torrence C., Compo G.P. A practical guide to wavelet analysis // *Bull. Amer. Meteorol. Soc.* 1997. Vol. 79. No. 1. P. 61–78.
- Trenberth K.E. Spatial and temporal variations of the Southern Oscillation // *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.* 1976. Vol. 102. P. 639–653.
- Tziperman E., Stone L., Cane M.A. El Nino chaos: Overlapping of resonances between the seasonal

- cycle and the Pacific ocean atmosphere oscillator // *Science*. 1994. Vol. 264. P. 72–74.
- Voskresenskaya E.N., Polonsky A.B.* Air pressure fluctuations in the North Atlantic and their relationship with El Niño southern oscillations // *Physical oceanography*. 1993. Vol. 4. P. 275–282.
- Weare B.C.* El Niño teleconnections in CMIP5 models // *Clim. Dyn.* 2013. Vol. 41. P. 2165–2177.
- Welch P.D.* The use of Fast Fourier Transform for the estimation of power spectra: A method based on time averaging over short, modified periodograms // *IEEE Transactions on Audio and Electroacoustics*. 1967. Vol. AU-15. No. 2. P. 70–73.

ON THE DYNAMICS AND STRUCTURE OF THE GLOBAL ATMOSPHERIC OSCILLATION IN CLIMATE MODELS AND REALITY

I.V. Serykh

*Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences,
36 Nahimovskiy prospekt, Moscow, 117997, Russia, e-mail: iserykh@ocean.ru
Submitted 28.02.2018, accepted 26.04.2018*

Global fields of mean anomalies of the sea-level atmospheric pressure and the surface air temperature are constructed for positive and negative phases of a recently discovered by Russian scientists Global atmospheric oscillation (GAO) with El Niño and La Niña as its elements. This is done using observations and their re-analyses, as well as the results of experiments with climate models. A GAO index is proposed, and its spectra, as well as spectra of El Niño – Southern Oscillation, are calculated. It is shown that some of the modern models of ocean-atmosphere general circulation of the international Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 (CMIP5) reproduce well the GAO spatial structure. The model temporal energy spectra, however, differ from the real ones in the general variation of the energy spectra of interannual – decadal oscillations, as well as in the periods of specific peaks in this range. A comparison of CMIP5 experiments called Historical and piControl shows that the climate models with the 11-year solar activity cycle forcing reproduce the GAO periodicity more accurately. It is concluded that the differences between the model spectra and the real ones cause major errors in the predictions of the El Niño onset for more than half a year.

Keywords: Global atmospheric oscillation, El Niño, La Niña, observational data, re-analyses, coupled models of the ocean-atmosphere general circulation, energy spectra, 11-year cycle of solar activity, Chandler oscillation

References

- Allan R.J. and Ansell T.J.* A new globally-complete monthly historical gridded mean sea level pressure data set (HadSLP2): 1850–2004. *J. Climate*, 2006, Vol. 19, pp. 5816–5846.
- Bellenger H., Guilyardi E., Leloup J., Lengaigne M., and Vialard J.* ENSO representation in climate models: from CMIP3 to CMIP5. *Clim. Dyn.*, 2014, Vol. 42, pp. 1999–2018.
- Byshev V.I., Neiman V.G., Romanov Yu.A., and Serykh I.V.* El Niño as a consequence of the global oscillation in the dynamics of the Earth’s climatic system. *Doklady Earth Sciences*, 2012a, Vol. 446, No. 1, pp. 1089–1094.

- Byshev V.I., Neiman V.G., Romanov Y.A., and Serykh I.V. On El Niño's impact upon the climate characteristics of the Indian monsoon. *Oceanology*, 2012b, Vol. 52, No. 2, pp. 147–156.
- Byshev V.I., Neiman V.G., Romanov Y.A., and Serykh I.V. Global atmospheric oscillations in dynamic of the recent climate. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2014, Vol. 11, No. 1, pp. 62–71.
- Byshev V.I., Neiman V.G., Romanov Yu.A., Serykh I.V., and Sonechkin D.M. Statistical significance and climatic role of the Global Atmospheric Oscillation. *Oceanology*, 2016, Vol. 56, No. 2, pp. 165–171.
- Compo G.P., Whitaker J.S., and Sardeshmukh P.D. The Twentieth Century Reanalysis Project. *Quarterly J. Roy. Meteorol. Soc.*, 2011, Vol. 137, pp. 1–28.
- Jha B., Hu Z., and Kumar A. SST and ENSO variability and change simulated in historical experiments of CMIP5 models. *Clim. Dyn.*, 2014, Vol. 42, pp. 2113–2124.
- Jones P.D., Lister D.H., and Osborn T.J. Hemispheric and large-scale land surface air temperature variations: An extensive revision and an update to 2010. *J. Geophys. Res.*, 2012, Vol. 117, D05127.
- Hirahara S., Ishii M., and Fukuda Y. Centennial-scale sea surface temperature analysis and its uncertainty. *J. of Climate*, 2014, Vol. 27, pp. 57–75.
- Huang B., Banzon V.F., and Freeman E. Extended reconstructed sea surface temperature version 4 (ERSST.v4), Part I: Upgrades and intercomparisons. *J. Clim.*, 2015, Vol. 28, No. 3, pp. 911–930.
- Hurwitz M.M., Calvo N., and Garfinkel C.I. Extra-tropical atmospheric response to ENSO in the CMIP5 models. *Clim. Dyn.*, 2014, DOI 10.1007/s00382-014-2110-z.
- Jin F.F., Neelin J.D., and Ghil M. El Nino on the devil's: annual subharmonic steps to chaos. *Science*, 1994, Vol. 264, pp. 70–72.
- Jin F.F., Neelin J.D., and Ghil M. El Nino/Southern Oscillation and the annual cycle: Subharmonic frequency locking and aperiodicity. *Physica D.*, 1996, Vol. 98, pp. 442–465.
- Kalnay E., Kanamitsu M., and Kistler R. The NCEP / NCAR 40-year reanalysis project. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 1996, Vol. 77, pp. 437–471.
- Kobayashi S., Ota Y., and Harada Y. The JRA-55 Reanalysis: General Specifications and Basic Characteristics. *J. Met. Soc. Jap.*, 2015, Vol. 93, No. 1, pp. 5–48.
- Liu W., Huang B., and Thorne P.W. Extended reconstructed sea surface temperature version 4 (ERSST. v4): Part II. Parametric and structural uncertainty estimations. *J. Clim.*, 2015, Vol. 28, No. 3, pp. 931–951.15
- McPhaden M.J., Zebiak S.E., and Glantz M.H. ENSO as an integrating concept in Earth science. *Science*, 2006, Vol. 314, pp. 1740–1745.
- Oh J.H., Shin D.W., Cocks S.D., and Baigorria G.A. ENSO Teleconnection Pattern Changes over the Southeastern United States under a Climate Change Scenario in CMIP5 Models. *Advances in Meteorology*, 2014, Vol. 2014, Article D1648197.
- Peng J.B., Chen L.T., and Zhang Q.Y. The relationship between the El Nino/La Nina cycle and the transition chains of four atmospheric oscillations. Part I: The four oscillations. *Adv. Atmos. Sci.*, 2014, Vol. 31, No. 2, pp. 468–479.
- Peterson R.G. and White W.B. Slow teleconnections linking the Antarctic Circumpolar Wave with the tropical El Nino – Southern Oscillation. *J. geophys. Res.*, 1998, Vol. 103, pp. 24573–24583.
- Privalsky V. and Yushkov V. ENSO influence upon global temperature in nature and in CMIP5 simulations. *Atmos. Sci. Lett.*, 2015, Vol. 16, pp. 240–245.
- Rao J., Ren R.C., Statistical characteristics of ENSO events in CMIP5 models, *Atmos. Oceanic Sci. Lett.*, 2014, Vol. 7, pp. 546–552.

- Rayner N.A., Parker D.E., and Horton E.B. Global analyses of sea surface temperature, sea ice, and night marine air temperature since the late nineteenth century. *J. Geophys. Res.*, 2003, Vol. 108, Article ID 4407.
- Ren H.L., Zuo J., Jin F.F., and Stuecker M.F. ENSO and annual cycle interaction: the combination mode representation in CMIP5 models. *Clim. Dyn.*, 2015, DOI 10.1007/s00382-015-2802-z.
- Romanov Y.A., Romanova N.A., and Romanov P.Y. Distribution of icebergs in the Atlantic and Indian ocean Sectors of the Antarctic region and its possible links with ENSO. *Geophys. Res. Lett.*, 2008, Vol. 35, Article D1LO2506.
- Serykh I.V. and Sonechkin D.M. Confirmation of the oceanic pole tide influence on El Niño. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2016, Vol. 13, No. 2, pp. 44–52.
- Serykh I.V. and Sonechkin D.M., Manifestations of motions of the Earth's pole in the El Niño – Southern Oscillation rhythms. *Doklady Earth Sciences*, 2017a, Vol. 472, No 2, pp. 256–259.
- Serykh I.V. and Sonechkin D.M., Chaos and order in atmospheric dynamics. Part 2. Interannual rhythms of the El Niño – Southern oscillation. *Izvestiya VUZ. Applied Nonlinear Dynamics*, 2017b, Vol. 25, No. 5, pp. 5–25.
- Sidorenkov N.S. The interaction between Earth's rotation and geophysical processes. *Wiley-VCH & Co. KCA, Weinheim*, 2009, 305 p.
- Stevenson S.L. Significant changes to ENSO strength and impacts in the twenty-first century: Results from CMIP5. *Geophys. Res. Lett.*, 2012, Vol. 39, Article D1L17703.
- Stickler A., Brönnimann S., and Valente M.A. ERA-CLIM: Historical Surface and Upper-Air Data for Future Reanalyses. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 2014, Vol. 95, No. 9, pp. 1419–1430.
- Taylor K.E., Stouffer R.J., and Meehl G.A. Overview of CMIP5 and the experiment design. *Bull. Am. Meteor. Soc.*, 2012, Vol. 93, pp. 485–498.
- Torrence C. and Compo G.P. A practical guide to wavelet analysis. *Bull. Amer. Meteorol. Soc.*, 1997, Vol. 79, No. 1, pp. 61–78.
- Trenberth K.E. Spatial and temporal variations of the Southern Oscillation. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 1976, Vol. 102, pp. 639–653.
- Tziperman E., Stone L., and Cane M.A. El Niño chaos: overlapping of resonances between the seasonal cycle and the Pacific ocean – atmosphere oscillator. *Science*, 1994, Vol. 264, pp. 72–74.
- Vakulenko N.V. and Sonechkin D.M. Evidence of the solar Activity's effect on El Niño Southern Oscillation. *Oceanology*, 2011, Vol. 51, No. 6, pp. 935–939.
- Volodin E.M. and Diansky N.A. El Niño in a coupled ocean-atmosphere general circulation model, 16. *Russian Meteorology and Hydrology*, 2004, Vol. 12, pp. 5–14.
- Voskresenskaya E.N. and Polonsky A.B. Air pressure fluctuations in the North Atlantic and their relationship with El Niño - southern oscillations. *Physical oceanography*, 1993, Vol. 4, pp. 275–282.
- Weare B.C. El Niño teleconnections in CMIP5 models. *Clim. Dyn.*, 2013, Vol. 41, pp. 2165–2177.
- Welch P.D. The use of Fast Fourier Transform for the estimation of power spectra: A method based on time averaging over short, modified periodograms. *IEEE Transactions on Audio and Electroacoustics*, 1967, Vol. AU-15, No. 2, pp. 70–73.

**ПЕРВИЧНАЯ ПРОДУКЦИЯ И ХЛОРОФИЛЛ
В СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКЕ ПО МАТЕРИАЛАМ 44 РЕЙСА НИС
«АКАДЕМИК ИОФФЕ» В ИЮЛЕ 2014**

А.Б. Демидов, В.И. Гагарин

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, 117997, Москва,
Нахимовский проспект, д. 36, e-mail: demspa@rambler.ru, gagarin@ocean.ru*

Статья поступила в редакцию 15.01.2018, одобрена к печати 26.04.2018

Материал был собран в 44-м рейсе «Академик Иоффе» в период с 4 июля по 15 июля 2014 г. на трансатлантическом разрезе по 59.5°с.ш. Содержание хлорофилла «а» на поверхности изменялось более чем на порядок, от 0.06 до 2.12 мг/м³. Величины первичной продукции на поверхности варьировали от 2.88 до 31.43 мгС/м³ в день. Первичная продукция в столбе воды изменялась от 32 до 443 мгС/м² в день, составив в среднем для всего разреза 265 мгС/м² в день. Суммарное содержание хлорофилла в слое фотосинтеза варьировалось от 6.11 до 64.60 мг/м². Высокая устойчивость водного столба препятствовала поступлению биогенных элементов в эвфотический слой и лимитировала первичную продукцию в исследованном районе в середине лета.

Ключевые слова: первичная продукция, хлорофилл, ассимиляционное число

Введение

Оценка величины первичной продукции (ПП) Мирового океана является одной из важнейших задач биоокеанологии и биогеохимии океана. Современный подход к решению этой задачи предполагает использование моделей ПП и спутниковых данных в качестве входящих в эти модели параметров. Точность оценки ПП повышается при использовании региональных продукционных моделей. Для их разработки требуется создание базы натуральных данных по продукционным параметрам фитопланктона и абиотическим факторам. Кроме этого, картины пространственной изменчивости первичной продукции и хлорофилла, полученные судовыми методами и по спутниковым данным, сопоставимые по временному масштабу, представляют большой интерес для сравнения.

Северная Атлантика – район Мирового океана, являющийся одним из основных для запуска так называемого Глобального океанического конвейера, способствующего широтному обмену вод и формированию климата на планете (Broecker, 1991). Это регион высокой биологической продуктивности, чувствительный к изменениям климата (Richardson, Schoeman, 2004). Измерения ПП в районе 60° с. ш. проводились на ограниченных акваториях (Gudmundsson, 1998; Waniek, Holiday, 2006; Zhai et al., 2012). Таким образом, данных натуральных исследований по-прежнему недостаточно для представления картины пространственно-временных изменений в этом регионе и разработки региональных моделей оценки ПП.

В определенной степени восполнить этот пробел были призваны исследования, проведенные в июле 2014 г. на трансатлантическом разрезе по 59.5°с.ш. Целью наших работ являлось исследование пространственной изменчивости первичной продукции и хлорофилла «а» (Хл) в Северной Атлантике на акватории крупного масштаба. Такие съемки, проведенные в течение 1–2 недель, позволяют отделить пространственную составляющую изменчивости от временной и провести в дальнейшем корректные сравнения судовых и спутниковых данных.

Материал и методы

Работы проводились в 44-м рейсе «Академик Иоффе» с 4 июля по 15 июля 2014 г. Первичную продукцию и содержание хлорофилла «а» измеряли на STD-станциях, расположенных в 4-х биогеохимических провинциях (Sathyendranath et al., 1995): Северо-восточный континентальный шельф (NECS), район Северо-Атлантического течения (NADR), Арктическая провинция (ARCT) и Бореальная полярная провинция (BPLR) (рис. 1; табл 1). Стратегия отбора проб была описана ранее (Демидов и др., 2012).

Таблица 1. Продукционные характеристики фитопланктона и некоторые сопутствующие абиотические факторы на станциях, на которых проводились измерения первичной продукции

№ ст.	φ	λ	Дата	ПП ₀	ИПП	Хл _{фс}	АЧ _м	Н _{фс}	PO ₄	Si	T ₀	I ₀
3157	59.5	6.0	4.07.	30.5	357	49.1	1.35	45	0.11	1.43	13.0	24.9
3161	59.5	8.7	5.07.	18.4	210	37.2	1.57	56	0.20	0.63	12.6	41.2
3167	59.5	12.7	6.07.	17.5	440	40.5	1.62	58	0.19	0.31	12.8	37.4
3174	59.5	17.3	7.07.	31.4	336	45.5	1.49	47	0.28	0.58	12.4	27.9
3180	59.5	21.3	8.07.	21.3	252	39.6	1.64	57	0.31	0.70	11.9	17.8
3185	59.5	24.7	9.07.	25.7	443	42.7	1.68	49	0.39	1.24	11.5	37.0
3191	59.5	28.7	10.07.	16.9	214	29.4	1.71	52	0.37	1.47	11.4	20.0
3198	59.5	33.3	11.07.	21.2	323	37.2	1.97	57	0.49	0.84	9.4	26.9
3204	59.5	37.3	12.07.	12.4	280	64.6	2.06	75	0.54	0.37	9.7	30.2
3206	59.5	38.7	13.07.	8.9	138	28.6	1.52	64	0.52	0.61	9.2	21.7
3212	59.7	41.5	14.07.	14.5	151	24.8	1.82	45	0.53	0.69	8.9	28.9
3218	59.9	42.3	14.07.	2.9	32	6.1	1.23	74	0.18	0.35	1.4	26.8

Примечания: Широта (φ) и долгота (λ) представлены десятичными дробями. ПП₀ – первичная продукция на поверхности, мгС/м³ в день; ИПП – первичная продукция в столбе воды, мгС/м² в день; Хл_{фс} – суммарное содержание хлорофилла «а» в слое фотосинтеза, мг/м²; АЧ_м – максимальное ассимиляционное число, мгС/мг хл «а» в час; Н_{фс} – толщина слоя фотосинтеза, м; I₀ – подповерхностная фотосинтетически активная радиация (ФАР), Ein/м² в день; PO₄ и Si – концентрация фосфатов и растворенного кремния, соответственно, на поверхности, μМ; T₀ – температура воды на поверхности, °С.

Концентрацию хлорофилла «а» определяли флуориметрическим методом (Holm-Hansen et al. 1965; Holm-Hansen, Riemann, 1978). ПП измеряли при помощи

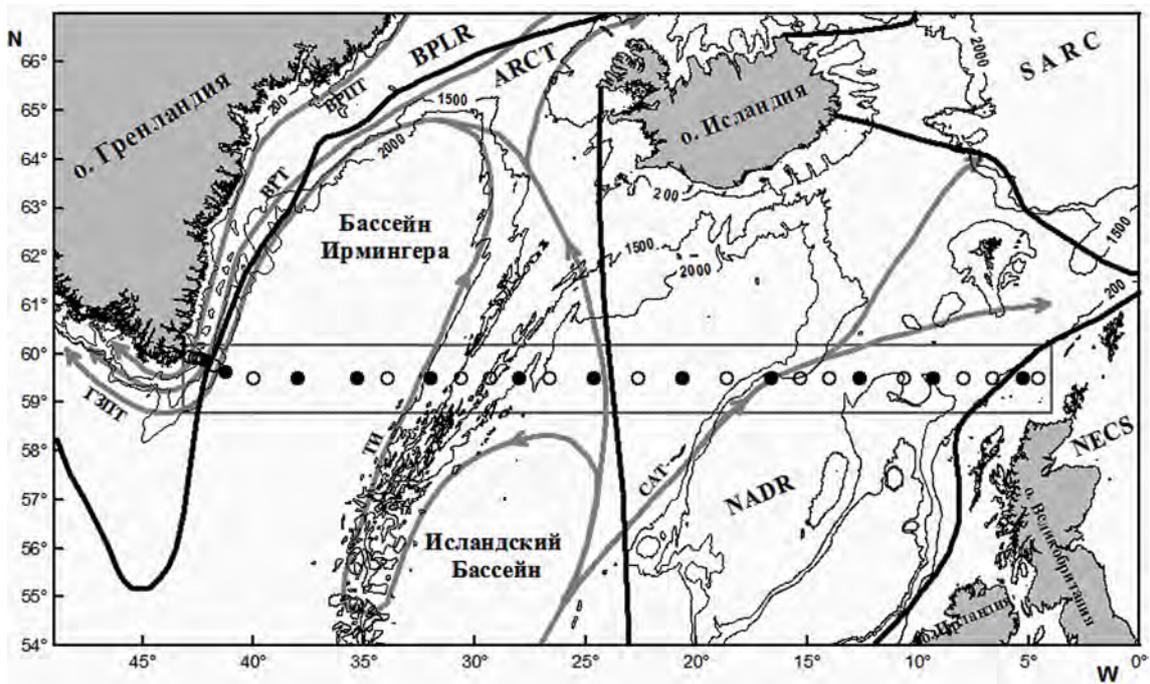


Рис. 1. Район работ и расположение станций в 44-м рейсе «Академик Иоффе». Светлые кружки – станции с вертикальным профилем хлорофилла «а». Темные кружки – станции с измерением первичной продукции в столбе воды. Границы биогеохимических провинций проведены согласно (Sathyendranath et al., 1995). NECS (North-East Continental Shelf) – Северо-восточный континентальный шельф; NADR (North Atlantic Drift) – зона действия Северо-Атлантического течения; SARC (Subarctic) – Субарктика; ARCT (Arctic) – Арктика; BPLR (Boreal Polar) – Северная полярная зона. Основные поверхностные течения Северной Атлантики показаны в соответствии с (Sarafanov et al., 2012). CAT – Северо-Атлантическое течение; ТИ – течение Ирмингера; ВГТ – Восточное Гренландское течение; ВГПТ – Восточное Гренландское пограничное течение. ГЗПТ – Гренландское западное пограничное течение.

радиоуглеродной модификации скляночного метода (Stemann Nielsen, 1952). Постановку опыта осуществляли по модифицированной схеме имитации световых условий (Демидов и др., 2016).

Определение суточной динамики и интегральных величин падающей солнечной радиации (ФАР) проводили с использованием датчика LI-190SA (Li-Cor, США). На станциях, где были проведены измерения первичной продукции, профиль подводной освещенности восстанавливался по диску Секки (H_d). При этом величины H_d были использованы для расчета зависимости коэффициента диффузного ослабления света (K_d) от H_d (Демидов и др., 2016).

Концентрация фосфатов (PO_4) определялась при помощи метода Мерфи и Райли. Содержание растворенного кремния (Si) измеряли методом Стрикленда и Парсонса. Описание перечисленных гидрохимических методов приводится в методическом руководстве (Grasshoff et al., 1999). Колориметрические определения были выполнены на спектрофотометре Cary-100 (Agilent Technologies, США).

Результаты и обсуждение Продукционные характеристики фитопланктона на поверхности и в столбе воды

В июле 2014 г. содержание Хл на поверхности ($X_{л_0}$) в исследованном районе изменялось более чем на порядок, от 0.06 до 2.12 мг/м³ ($X_{л_{max}}/X_{л_{min}} = 37$), составив в среднем 0.60 мг/м³. Максимальные величины $X_{л_0}$ (1–2 мг/м³) отмечены в провинциях NESCS и NADR, а минимальные (< 0.1 мг/м³) – в провинции BPLR (рис. 2). Величины первичной продукции на поверхности ($ПП_0$) варьировали от 2.88 до 31.43 мгС/м³ в день, составив в среднем 18.48 мгС/м³ в день. Отношение максимальной и минимальной величины $ПП_0$ оказалось равным 10.91, что свидетельствует о меньшей вариабельности последнего параметра по сравнению с $X_{л_0}$. Повышенные (> 30 мгС/м³ в день) значения $ПП_0$ отмечены на шельфе Великобритании (провинция NESCS) и в провинции NADR, а минимальные (< 5 мгС/м³ в день) – на континентальном склоне Гренландии.

По величинам концентрации $X_{л_0}$ продуктивность Северной Атлантики в районе 60°с.ш. в июле 2014 г. менялась от олиготрофных вод на западе разреза (< 0.1 мг/м³) до эвтрофных (> 1 мг/м³) на востоке в провинциях NESCS и NADR. Воды восточнее хребта Рейкьянес можно охарактеризовать как типично мезотрофные (0.1–1 мг/м³) либо переходные между мезотрофными и эвтрофными. К западу от хребта отмечены в основном мезотрофные воды. Олиготрофия поверхностных вод характерна для бровки Гренландского шельфа (Antoine et al., 1996). Большая часть исследованного района по значениям $ПП_0$ в середине лета относилась к мезотрофным (5–10 мгС/м³ в день) или к переходным между мезотрофными и эвтрофными (10–100 мгС/м³ в день) водам (Кобленц-Мишке, 1967). Проследить изменчивость величин $X_{л_0}$ и $ПП_0$ на разрезе также можно по рассчитанным нами средним значениям для биогеохимических провинций (табл. 2).

Достоверная положительная корреляция рассчитана между $ПП_0$ и $X_{л_0}$ ($R = 0.97, p < 0.05$), в то время как между $ПП_0$ и ассимиляционной активностью ($АЧ_0$) достоверной связи установить не удалось. Следует заключить, что $ПП_0$ на разрезе определялась количеством биомассы фитопланктона, если за ее индекс принимать концентрацию $X_{л_0}$.

Толщина слоя фотосинтеза ($H_{фс}$) в июле 2014 г. в открытых водах Северной Атлантики изменялась от 45 до 75 м (табл. 2), составив в среднем 57 м для всего разреза. Средние значения $H_{фс}$, полученные в рейсе, характерны для мезотрофных вод (Виноградов и др., 1999). Отношение $H_{фс}$ к величине относительной прозрачности по диску Секки изменялось от 3.46 до 5.88, составив в среднем 4.83.

Суммарное содержание хлорофилла в слое фотосинтеза ($X_{л_{фс}}$) и в верхнем 150-метровом слое воды ($X_{л_{0-150}}$) в июле 2014 г. варьировало от 6.11 до 64.60 мг/м² для $X_{л_{фс}}$ и от 11.02 до 95.93 мг/м² для $X_{л_{0-150}}$, составив в среднем 37.11 мг/м² и 46.90 мг/м² для $X_{л_{фс}}$ и $X_{л_{0-150}}$, соответственно. Картина пространственного распределения $X_{л_{фс}}$ повторяла в целом изменчивость $X_{л_0}$ (рис. 2). Обращает на себя внимание тенденция к уменьшению $X_{л_{0-150}}$ с востока на запад (табл. 2).

Таблица 2. Продукционные характеристики фитопланктона в различных биогеохимических провинциях на разрезе по 59.5° N в Северной Атлантике в июле 2014 г

Провинция*		NECS	NADR	ARCT	BPLR
Дата		4.07	5–9.07	9–14.07	14–15.07
Показатель**	ПП ₀	30.50	22.17±6.38 (4)	16.61±6.09 (6)	2.88
	ИПП	357	310±102 (4)	258±116 (6)	32
	Хл ₀	1.19±0.12 (3)	0.86±0.40 (27)	0.54±0.20 (29)	0.18±0.16 (17)
	Хл _с	1.09	0.76±0.14 (4)	0.66±0.17 (6)	0.08
	Хл _{фс}	49.06	40.70±3.46 (4)	37.90±14.60 (6)	6.11
	Хл ₀₋₁₅₀	56.32±5.93 (2)	53.19±11.78 (11)	47.07±18.83 (11)	24.41±16.51 (4)
	АЧ ₀	1.35	1.55±0.07 (4)	1.79±0.21 (6)	1.23
	АЧ _{max}	1.35	1.58±0.07 (4)	1.79±0.21 (6)	1.23
	АЧ _с	0.40	0.42±0.13 (4)	0.39±0.13 (6)	0.30
	Δ Хл	19	20±14 (4)	19±10 (6)	45
	Н _{фс}	45	55±5 (4)	57±11 (6)	74

* Условные обозначения провинций см. в подписи к рис. 1.

** Приведены средняя арифметическая величина и стандартное отклонение, цифра в скобках – количество измерений. Параметры: ПП₀ – первичная продукция на поверхности, мгС/м³ в день; ИПП – первичная продукция в столбе воды, мгС/м² в день; Хл₀, Хл_с – концентрация хлорофилла «а» на поверхности и среднее содержание этого пигмента в слое фотосинтеза, соответственно, мг/м³; Хл_{фс}, Хл₀₋₁₅₀ – суммарное содержание хлорофилла «а» в слое фотосинтеза и в слое 0–150 м, соответственно, мг/м²; АЧ₀, АЧ_{max}, АЧ_с – поверхностное, максимальное и среднее для слоя фотосинтеза ассимиляционное число, соответственно, мгС/мг Хл «а» в час; Δ Хл – относительное содержание Хл «а» ниже слоя фотосинтеза, %; Н_{фс} – толщина слоя фотосинтеза, м.

Из таблицы 2 видно, что в июле 2014 г. на акваториях NECS, NADR и ARCT ниже зоны фотосинтеза (ΔХл) находилось приблизительно 19–20% от суммарного Хл в исследованном слое. Таким образом, в водах этих провинций хлорофилл концентрировался в основном в слое фотосинтеза, что свидетельствует, по-видимому, о невысоких вертикальных скоростях перемешивания в летний период. Резкое увеличение содержания Хл ниже зоны фотосинтеза происходит на западной периферии разреза в Бореальной полярной провинции (BPLR), что, по-видимому, является следствием интенсивной зимней конвекции.

Первичная продукция в столбе воды (ИПП) изменялась от 32 до 443 мгС/м² в день, составив в среднем для всего разреза 265 мгС/м² в день. Обращают на себя внимание очень низкие (<100 мгС/м² в день) значения ИПП на Гренландском

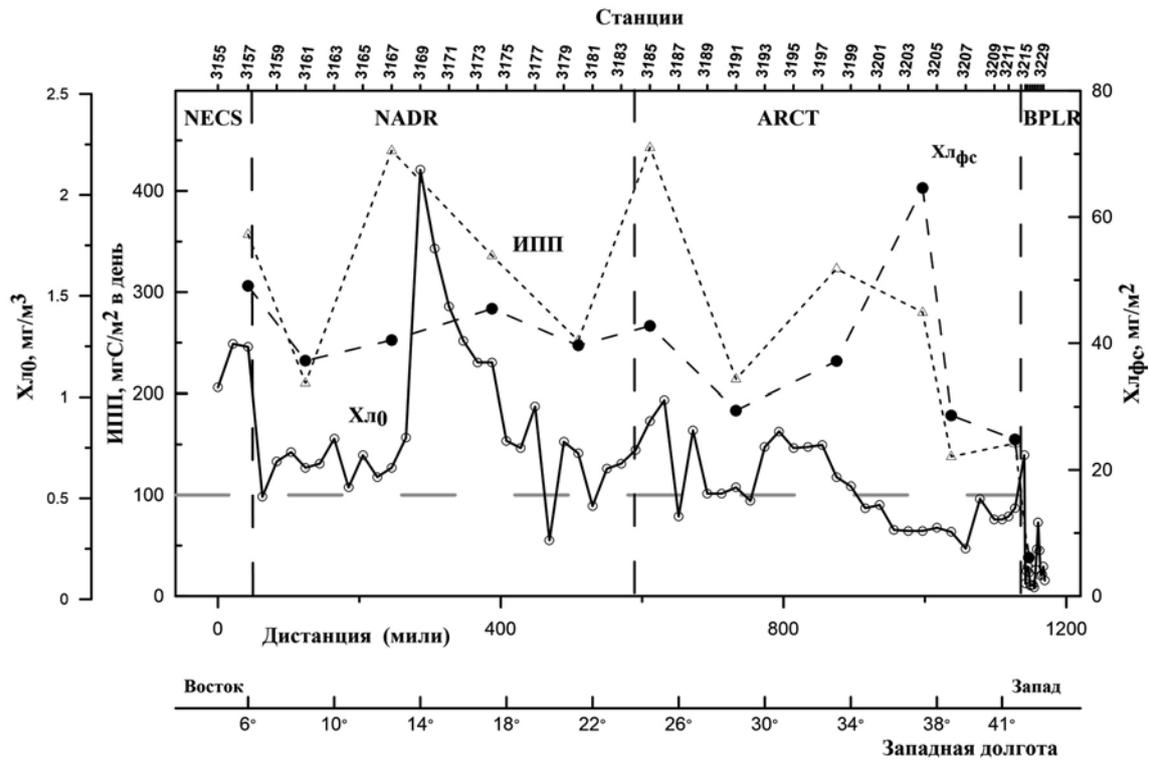


Рис. 2. Распределение содержания хлорофилла «а» на поверхности ($Хл_0$), а также интегральных величин первичной продукции (ИПП) и концентрации хлорофилла в слое фотосинтеза ($Хл_{фс}$) на разрезе по 59.5° с. ш. в июле 2014 г. Горизонтальный пунктир – нижняя граница мезотрофных вод по величинам ИПП (см. пояснения в тексте). Другие условные обозначения см. в подписи к рис. 1.

шельфе. В целом, исследованный район Северной Атлантики по величинам ИПП можно классифицировать как типично мезотрофный (ИПП = 100–500 $мгС/м^2$ в день) (Кобленц-Мишке, Ведерников, 1977).

Корреляционный анализ связи ИПП с $Хл$ и ассимиляционной активностью фитопланктона в слое фотосинтеза ($АЧ_с$) показывает, что летом 2014 г. ИПП достоверно зависела как от средней концентрации хлорофилла «а» в этом слое ($R = 0.80, p < 0.01$), так и от величин $АЧ_с$ ($R = 0.79, p < 0.01$). Интересно отметить также довольно тесную зависимость ИПП от $Хл_0$ ($R = 0.70, p < 0.01$).

Влияние факторов среды на продукционные показатели фитопланктона в Северной Атлантике в июле 2014 г.

Одним из основных факторов, определяющих уровень развития фитопланктона, является содержание в воде основных биогенных элементов. На разрезе содержание PO_4 на поверхности было ниже или близким к пределу лимитирующих значений (Fisher et al., 1992), в среднем 0.11–0.47 μM . Наблюдался также недостаток в растворенном кремнии, о чем свидетельствуют сравнительно низкие, в среднем, величины этого элемента (0.52–1.57 μM). Таким образом, развитие фитопланктона

в исследованном районе Северной Атлантики в июле 2014 г., по-видимому, сдерживалось недостатком фосфора и кремния.

Представляет интерес анализ корреляционных связей продукционных характеристик фитопланктона с содержанием биогенных элементов. Отмечена положительная достоверная связь $ПП_0$ ($R = 0.51$, $p < 0.01$) и ИПП ($R = 0.27$, $p < 0.01$) с Si. Интересно, что установлена тесная связь $АЧ_0$ с концентрацией PO_4 на поверхности ($R = 0.79$). В то же время с растворенным кремнием корреляционная связь этого показателя отсутствовала ($R = -0.01$).

Другим фактором, определяющим уровень первичной продукции, является устойчивость водного столба. В качестве параметров, характеризующих воздействие этого фактора, нами выбраны глубина верхнего перемешанного слоя (ВПС) и разность между плотностями воды на горизонтах 100 и 0 м ($\Delta\sigma_t$) (см. напр. Mandelli, 1967). Глубина ВПС определялась нами горизонтом, на котором превышение плотности воды над поверхностным значением составляла 0.02 кг/м^3 (Cisewski et al., 2005). В целом по разрезу не отмечено закономерных пространственных изменений ВПС и $\Delta\sigma_t$. На Гренландском шельфе (BPLR) обращает на себя внимание резкое возрастание устойчивости верхних 100 м и уменьшение ВПС, что объясняется распреснением поверхностного слоя талыми ледниковыми водами. Отмечена также закономерная отрицательная связь между этими параметрами ($R = -0.60$).

Обнаружена довольно хорошая связь между $ПП_0$ и $Хл_0$ и глубиной ВПС ($R = 0.50$ и 0.48 , соответственно). С ИПП и $АЧ_0$ связь этого показателя не так хорошо выражена ($R=0.31$ и 0.19 , соответственно). Между $ПП_0$ и ИПП и показателем устойчивости водного столба $\Delta\sigma_t$ обнаружена отрицательная связь ($R = -0.59$ и -0.58 , соответственно). Такой же результат получен для $АЧ$ ($R = -0.54$ для $АЧ_0$ и $R = -0.32$ для $АЧ_s$). Достоверная ($p < 0.05$) отрицательная связь была зарегистрирована между $\Delta\sigma_t$ и хлорофиллом в слое фотосинтеза ($R = -0.61$ для $Хл_{фс}$ и $R = -0.65$ для $Хл_s$).

Анализ зависимостей продукционных показателей от параметров устойчивости водного столба позволяет прийти к выводу, что в середине календарного лета в Северной Атлантике небольшая толщина ВПС и сильная стратификация верхнего (100 м) слоя могли оказывать угнетающее влияние на развитие фитопланктона. Устойчивая стратификация и высокие градиенты пикноклина способствуют ослаблению конвективного перемешивания и препятствуют поступлению биогенов в эвфотический слой, что может являться причиной снижения уровня продуктивности. Доказательством этому может служить невысокое содержание фосфатов и растворенного кремния в слое фотосинтеза на большинстве станций.

Низкие коэффициенты корреляции между продукционными характеристиками фитопланктона и T_0 могут свидетельствовать о том, что температурный фактор не был определяющим в развитии микроводорослей в исследованных районах Северной Атлантики в июле 2014 г.

Заключение

В первой половине июля 2014 г. первичная продукция фитопланктона в Северной Атлантике в районе 60° с. ш. соответствовала мезотрофному уровню. Такой уровень ПП свидетельствует о летней фазе сезонной сукцессии фитопланктонного сообщества. Первичная продукция была лимитирована низким содержанием основных биогенных элементов, поступление которых в эвфотическую зону сдерживалось высокой устойчивостью водного столба.

Авторы благодарят Мошарова С.А. за помощь в обработке проб хлорофилла. Работа выполнена в рамках Государственного задания ФАНО № 0149-2018-0035.

Литература

- Виноградов М.Е., Шушкина Э.А., Незлин Н.П., Ведерников В.И., Гагарин В.И. Корреляционная связь различных параметров экосистемы пелагиали Мирового океана // *Океанология*. 1999. Т. 39. № 1. С. 6–74.
- Демидов А.Б., Гагарин В.И., Мошаров С.А. Определение первичной продукции в столбе воды по измерениям скорости фотосинтеза в поверхностной пробе и кривым вертикального распределения подводной освещенности и хлорофилла // *Океанология*. 2016. Т. 56. № 5. С. 701–707. doi: 10.7868/S003015741605004X.
- Демидов А.Б., Мошаров С.А., Гагарин В.И. Продукционные характеристики фитопланктона в Южной Атлантике и Атлантическом секторе Южного океана летом 2009–2010 гг. // *Океанология*. 2012. Т. 52. № 2. С. 226–238.
- Кобленц-Мишке О.И. Первичная продукция // *Тихий океан*. М.: Наука, 1967. Т. 7: Биология Тихого океана. Кн. 1: Планктон. С. 86–97.
- Кобленц-Мишке О.И., Ведерников В.И. Первичная продукция // *Биология океана*. М.: Наука, 1977. Т.2: Биологическая продуктивность океана. С. 183–209.
- Antoine D., André J.-M., Morel A. Oceanic primary production 2. Estimation at global scale from satellite (coastal zone color scanner) chlorophyll // *Global Biogeochem. Cycles*, 1996. Vol. 10. No. 1. P. 57–69.
- Broecker W.S. The great ocean conveyor // *Oceanography*. 1991. Vol. 4. No. 2. P. 79–89.
- Cisewski B., Strass V.H., Prandke H. Upper-ocean vertical mixing in the Antarctic Polar Front Zone // *Deep-Sea. Res II*. 2005. Vol. 52. No. 9–10. P. 1087–1108. doi:10.1016/j.dsr2.2005.01.010.
- Fisher T.R., Peele E.R., Ammerman J.W., Harding L.W.J. Nutrient limitation of phytoplankton in Chesapeake Bay // *Mar. Ecol. Progr. Ser.* 1992. Vol. 82. P. 51–63.
- Gudmundsson K. Long-term variation in phytoplankton productivity during spring in Icelandic waters // *ICES J. Mar. Sci.* 1998. Vol. 55. P. 635–643.
- Holm-Hansen O., Lorenzen C.J., Holmes R.W., Strickland J.D.H. Fluorometric determination of chlorophyll // *J. Cons. Perm. Int. Explor. Mer.* 1965. Vol. 30. P. 3–15.
- Holm-Hansen O., Riemann B. Chlorophyll a determination: improvements in methodology // *Oikos*. 1978. Vol. 30. P. 438–447.
- Mandelli E.F. Enhanced photosynthetic assimilation ratios in Antarctic polar front (convergence) diatoms // *Limnol. and oceanogr.* 1967. Vol. 12. No. 3. P. 484–491.
- Richardson A.J., Schoeman D.S. Climate impact on plankton ecosystems in the Northeast Atlantic // *Science*. 2004. Vol. 3605. P. 1609–1612. doi: 10.1126/science.1100958.

- Sarafanov A., Falina A., Mercier H., Sokov A., Lherminier P., Gourcuff C., Gladyshev S., Gaillard F., Danault N. Mean full-depth summer circulation and transports at the northern periphery of the Atlantic Ocean in the 2000s // *J. Geophys. Res.* 2012. Vol. 117. C01014. doi:10.1029/2011JC007572.
- Sathyendranath S., Longhurst A., Caverhill C.M., Platt T. Regionally and seasonally differentiated primary production in the North Atlantic // *Deep-Sea Res. I.* 1995. Vol. 42. No. 10. P. 1773–1802.
- Stemann Nielsen E. The use of radioactive carbon (C14) for measuring organic production in the sea // *J. Cons. Perm. Ins. Explor. Mer.* 1952. No. 18. P. 117–140.
- Waniek J., Holiday N.P. Large-scale physical controls on phytoplankton growth in the Irminger Sea, Part II: Model study of the physical and meteorological preconditioning // *J. of Mar. Sys.* 2006. Vol. 59. No. 3–4. P. 219–237. doi:10.1016/j.jmarsys.2005.10.005.
- Zhai L., Gudmundsson K., Miller P., Peng W., Guðfinnsson H., Debes H., Hátún H., White G.N., Walls R.H., Sathyendranath S., Platt T. Phytoplankton phenology and production around Iceland and Faroes // *Cont. Shelf Res.* 2012. Vol. 37. P. 15–25. doi:10.1016/j.csr.2012.01.013.

**PRIMARY PRODUCTION AND CHLOROPHYLL
IN THE NORTH ATLANTIC IN JULY 2014 ACCORDING TO DATA OF 44TH
CRUISE OF R/V «AKADEMIK IOFFE»**

A.B. Demidov, V.I. Gagarin

*Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences,
36 Nahimovskiy prospekt, Moscow, Russia, 117997,
e-mail: demspa@rambler.ru, gagarin@ocean.ru
Submitted 15.01.2018, accepted 26.04.2018*

Data were obtained during 44th cruise of «Akademik Ioffe» from 4 to 15 of July 2014 along 59.5°N. Surface chlorophyll concentration changed by more than one order of magnitude, from 0.06 to 2.12 mg/m³. Surface primary production varied from 2.88 to 31.44 mgC/m³ per day. Water column primary production changed from 32 to 443 mgC/m² per day and the average value of this parameter was equal to 265 mgC/m² per day. Euphotic layer integrated chlorophyll concentration varied from 6.11 to 64.60 mg/m³. High water column stratification restricted nutrient flux to the euphotic layer in the investigated area in the middle of summer.

Keywords: primary production, chlorophyll, chlorophyll specific carbon fixation rate

References

- Antoine D., André J.-M., and Morel A. Oceanic primary production 2. Estimation at global scale from satellite (coastal zone color scanner) chlorophyll. *Global Biogeochem. Cycles.* 1996, Vol. 10, No. 1, pp. 57–69.
- Broecker W.S. The great ocean conveyor. *Oceanography*, 1991, Vol. 4, No. 2, pp. 79–89.
- Cisewski B., Strass V.H., and Prandke H. Upper-ocean vertical mixing in the Antarctic Polar Front Zone. *Deep-Sea Res II*, 2005, Vol. 52, No. 9–10, pp. 1087–1108. DOI:10.1016/j.dsr2.2005.01.010.

- Demidov A.B., Gagarin V.I., and Mosharov S.A. Opredelenie pervichnoj produkcii v stolbe vody po izmerenijam skorosti fotosinteza v poverhnostnoj probe i krivym vertikal'nogo raspredelenija podvodnoj osveshhennosti i hlorofilla (Measurement of Water Column Primary Production using Photosynthesis-Irradiance Relations for Surface Phytoplankton, the Vertical Chlorophyll Profile, and Underwater Light Intensity). *Okeanologija*, 2016, Vol. 56, No. 5, pp. 701–707, DOI: 10.7868/S003015741605004X.
- Demidov A.B., Mosharov S.A., and Gagarin V.I. Produkcionnye karakteristiki fitoplanktona v Juzhnoj Atlantike i Atlanticheskom sektore Juzhnogo okeana letom 2009–2010 gg. (Phytoplankton Production Characteristics in the Southern Atlantic and the Atlantic Sector of the Southern Ocean in the Austral Summer of 2009–2010). *Okeanologija*, 2012, Vol. 52, No. 2, pp. 226–238.
- Fisher T.R., Peele E.R., Ammerman J.W., and Harding L.W.J. Nutrient limitation of phytoplankton in Chesapeake Bay. *Mar. Ecol. Progr. Ser.*, 1992, Vol. 82, pp. 51–63.
- Gudmundsson K. Long-term variation in phytoplankton productivity during spring in Icelandic waters. *ICES J. Mar. Sci.*, 1998, Vol. 55, pp. 635–643.
- Holm-Hansen O., Lorenzen C.J., Holmes R.W., and Strickland J.D.H. Fluorometric determination of chlorophyll. *J. Cons. Perm. Int. Explor. Mer.*, 1965, Vol. 30, pp. 3–15.
- Holm-Hansen O. and Riemann B. Chlorophyll a determination: improvements in methodology. *Oikos*, 1978, Vol. 30, pp. 438–447.
- Koblenc-Mishke O.I. Pervichnaja produkcija (Primary production), Tihij ocean (The Pacific Ocean). Moscow: Nauka, 1967, Vol. 7, *Biologija Tihogo okeana, Plankton (Biology of the Pacific Ocean)*, pp. 86–97.
- Koblenc-Mishke O.I. and Vedernikov V.I. Pervichnaja produkcija (Primary production), *Biologija okeana (Biology of the ocean)*. Moscow: Nauka, 1977, Vol. 2, *Biologicheskaja produktivnost' okeana (Biological productivity of the ocean)*, pp. 183–209.
- Mandelli E.F. Enhanced photosynthetic assimilation ratios in Antarctic polar front (convergence) diatoms. *Limnol. and oceanogr.*, 1967, Vol. 12, No. 3, pp. 484–491.
- Richardson A.J. and Schoeman D.S. Climate impact on plankton ecosystems in the Northeast Atlantic. *Science*, 2004, Vol. 3605, pp. 1609–1612. DOI: 10.1126/science.1100958.
- Sarafanov A., Falina A., Mercier H., Sokov A., Lherminier P., Gourcuff C., Gladyshev S., Gaillard F., and Danault N. Mean full-depth summer circulation and transports at the northern periphery of the Atlantic Ocean in the 2000s. *J. Geophys. Res.*, 2012, Vol. 117, C01014, DOI:10.1029/2011JC007572.
- Sathyendranath S., Longhurst A., Caverhill C. M., and Platt T. Regionally and seasonally differentiated primary production in the North Atlantic, *Deep-Sea Res., I*, 1995, Vol. 42, No. 10, pp. 1773–1802.
- Stemann Nielsen E. The use of radioactive carbon (C14) for measuring organic production in the sea. *J. Cons. Perm. Int. Explor. Mer.*, 1952, No. 18, pp. 117–140.
- Vinogradov M.E., Shushkina Je.A., Nezlin N.P., Vedernikov V.I., and Gagarin V.I. Korreljacionnaja svjaz' razlichnyh parametrov jekosistemy pelagiali Mirovogo okeana (Correlations between different pelagic ecosystem parameters in the World Ocean). *Okeanologija*, 1999, Vol. 39, No. 1, pp. 64–74.
- Waniek J., and Holiday N.P. Large-scale physical controls on phytoplankton growth in the Irminger Sea, Part II: Model study of the physical and meteorological preconditioning. *J. of Mar. Sys.*, 2006, Vol. 59, No. 3–4, pp. 219–237. DOI:10.1016/j.jmarsys.2005.10.005.
- Zhai L., Gudmundsson K., Miller P., Peng W., Guðfinnsson H., Debes H., Hátún H., White G.N., Walls R.H., Sathyendranath S., and Platt T. Phytoplankton phenology and production around Iceland and Faroes. *Cont. Shelf Res.*, 2012, Vol. 37, pp. 15–25. DOI:10.1016/j.csr.2012.01.013.

БЕНТОСНЫЕ ФОРАМИНИФЕРЫ В ПОЗДНЕЧЕТВЕРТИЧНЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ НА ВОСТОЧНОМ КОНТИНЕНТАЛЬНОМ СКЛОНЕ КАМЧАТКИ (КОЛОНКА SO201-2-12KL)

Х.М. Саидова

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, 117997, Москва,
Нахимовский проспект, д. 36, e-mail: amatul@mail.ru*

Статья поступила в редакцию 28.02.2018, одобрена к печати 26.04.2018

Изучены бентосные фораминиферы (БФ) в 260 пробах осадков колонки SO201-2-12KL, полученной на восточном континентальном склоне Камчатки и охватывающей последние 20000 лет позднечетвертичного времени. Экостратиграфические горизонты (зоны и надзоны), выделенные по распределению доминантных и субдоминантных видов БФ, соответствуют различным интервалам в пределах конца последнего оледенения, последней дегляциации и раннего-среднего голоцена. Сведения по современной экологии и биогеографии наиболее показательных и многочисленных видов БФ использованы для палеоэкологической интерпретации придонных условий.

Ключевые слова: позднечетвертичное время, биостратиграфия, палеоэкология, бентосные фораминиферы, континентальный склон Камчатки

Введение

Придонная циркуляция и характеристики донных вод в СЗ Пацифике отражают как дальнейшее влияние антарктических вод, так и местные условия (рельеф дна, вертикальный водообмен, биопродуктивность, насыщенность кислородом и др.). Изменения этих факторов хорошо отражаются в ископаемых ассоциациях бентосных фораминифер (БФ). Донные отложения у тихоокеанских побережий Камчатки содержат богатые комплексы БФ. Скорости осадконакопления обеспечивают высокое временное разрешение (десятки и первые сотни лет) осадочных архивов палеоокеанологии, что, в частности, продемонстрировано при исследованиях доминирующих видов диатомей и БФ в колонках с континентального склона Камчатки (Матуль и др., 2015). В статье мы приводим новые детальные сведения по биостратиграфии и палеоэкологии в данном районе для конца позднего плейстоцена и голоцена на основе изучения БФ. Они помогают лучше понять развитие придонных условий на тихоокеанской морской окраине России после окончания последнего оледенения. Показано распределение наиболее многочисленных видов БФ. Описание условий их современного обитания позволило актуалистически интерпретировать палеоокеанологические параметры на дне моря за последние 20000 лет.

Материал и методика

Бентосные фораминиферы (БФ) изучены в колонке донных осадков SO201-2-12KL (53°59.47' с.ш., 162°22.51' в.д., длина разреза 9.05 м), отобранной на континентальном склоне Восточной Камчатки с глубины 2173 м в экспедиции по международному проекту КАЛЬМАР (Dullo et al., 2009). Осадки представлены зеленовато-оливково-серым песчанисто-алевритово-пелитовым илом с редкими прослоями диатомовых илов и песка. Девять радиоуглеродных AMS-датировок абсолютного возраста показывают, что колонка SO201-2-12KL охватывает интервал последних 20000 календарных лет (к.л.) (Max et al., 2012). Материалом для исследований послужили 260 проб мощностью 1 см из разреза отложений через каждые 5–10 см. Пробы осадка сушились, взвешивались и отмывались через сито 0.05 мм. В остатке подсчитывалось количество раковин каждого вида и их процентное содержание в каждой пробе. Общая численность БФ определялась в экзemplярах на 10 г сухого натурального осадка.

По процентному содержанию в фауне БФ выделялись доминантные от 20–25% до 70–85% от общего содержания БФ, субдоминантные (менее 20–25%) и сопутствующие виды. Стратиграфические биозоны в разрезе отложений выделялись по доминантным и субдоминантным видам и изменению численности бентосных фораминифер.

Современная среда

Изученный разрез отложений расположен на подводном окончании Кроноцкого сводового поднятия, которое разделяет Кроноцкий и Камчатский заливы. Склоны поднятия осложнены ступенями и депрессиями (Удинцев, 1972). Позднечетвертичные отложения представлены здесь терригенными крупноалевритовыми илами с включениями рассеянного вулканического материала. Содержание в них SiO_2 и CaCO_3 менее 10% (Безруков, 1970) и $C_{\text{орг}}$ от 1 до 2% (Ветров, Романкевич, 1997). Средние скорости осадконакопления на материковом склоне у Камчатки составляют 30–50 мм/1000 лет (Лисицын, 1974).

Изученный район располагается в субполярном поясе с тёплой зимой и холодным летом. В экстремально тяжелые по ледовитости годы, плавучие льды из Берингова моря через проливы поступают в Тихий океан и вдоль п-ва Камчатка спускаются до четвертого пролива Курильских островов. Наибольшие массивы дрейфующих льдов наблюдаются в январе – апреле (Полякова, 2007). Из Берингова моря через Камчатский пролив в океан выходит поверхностное Камчатское течение и вдоль Камчатки направляется на юг. В океане это течение представлено системой антициклонических вихрей, в которых сохраняются воды с низкой солёностью. Эти воды опреснялись речным стоком и тающими льдами (Полякова, 2007; Рогачев, Горин, 2004; Рогачев, Шлык, 2009). Влияние Камчатского течения проявляется до глубины 1000 м (Бурков, 1958). На глубине 4000 м, по данным установленных на дне фотоустановок

и вертушек, вдоль Алеутских островов с востока на запад проходит донное Аляскинское течение, которое, возможно, доходит до Камчатского материкового склона (Леонтьева, 1985). Антарктические донные воды, приносимые юго-западными донными течениями в приконтинентальные районы Северо-западной котловины проникают до северного окончания Императорских гор (Леонтьева, 1985).

На северо-западе Тихого океана на широтах Камчатки в толще воды на глубине менее 6000 м выделяется пять водных масс (в.м.) (Добровольский, 1962; Максименко и др., 1997; Степанов, 1983). Поверхностная в.м. залегает на глубине менее 20(70) м. В её ядре (горизонт (гор.) 15–20 м) температура 3.2–14.6°C, солёность 32–33 ‰, содержание кислорода более 6 мл/л. Промежуточная холодная в.м. залегает на глубине 25(70)–115(350) м. В её ядре (гор. 75–200 м) температура 0.3–2.3°C, солёность 33.2–33.6‰, содержание кислорода 4–5 мл/л. Промежуточная теплая в.м. залегает на глубине 115(350)–1000(1250) м. В её ядре (гор. 260–600 м) температура 3.0–3.5°C, солёность 33.9–34.3‰, содержание кислорода 0.5–1.0 мл/л. Глубинная в.м. залегает на глубине 1000(1250)–3000 м. В её ядре (гор. 1500–2000 м) температура 1.8–2.0°C, солёность 34.40–34.65‰, содержание кислорода 1.5–2.0 мл/л. Донная в.м. залегает на глубине более 6000 м. В её ядре (гор. 3400–4900 м), температура воды 1°C, солёность 34.67–34.71‰, содержание кислорода 3.0–3.5 мл/л.

Насыщенность вод CaCO_3 (ΔCaCO_3 , мг-экв/л) в северной части бореальной области Тихого океана уменьшается с увеличением глубины от 0.25 до 0.15 на глубине 1000 м, до 0.1 на глубине 2000 м и до нуля на глубине 3500 м (Ляхин, 1968; Андреев, 1999; Маккавеев, 2008).

Первичная продукция в Камчатском регионе примерно 125–180 г/м² в год. Численность фитопланктона достигает 10⁴ клеток/л и более (Berger, 1989). По таксономическому составу этот планктон аркто-бореальный. Биомасса донной фауны колеблется от 50 до 300 г/м² (Зенкевич, Филатова, 1958).

В западной части Тихого океана на материковом склоне в бореальной области по суммарной численности бентосных фораминифер (БФ) доминируют: кассидулиниды (рода *Cassandra*, *Islandiella*, *Cassilamellina*, *Takayanagia*) на глубине менее 1750 м, боливинитиды (рода *Bolivinelina*, *Fursenkoina*) на глубине 1000–1500 м; булиминиды (рода *Globobulimina*, *Uvigerina*, *Neouvigerina*, *Bulimina*) и роталииды (рода *Elphidium*, *Nonionellina*, *Chilostomellina*, *Valvulineria*, *Alabaminella*, *Alabaminoides*, *Valvulineria*, *Oridorsalis*, *Gyroidinus*) на глубине до 3250 м (Саидова, 1975, 1976, 1997). Ниже по глубине дна БФ с карбонатной раковиной не живут.

Биостратиграфические надзоны и зоны бентосных фораминифер

Колонка SO201-2-12KL отобрана на глубине 2173 м. В настоящее время на этой глубине располагается глубинная водная масса, температура которой в ядре 2°C, солёность – 34.5‰, содержание растворённого кислорода – 2 мл/л.

В толще отложений колонки на горизонтах (гор.) 80–162 см, 356–442 см, 656–900 см много ожелезненных корок, стяжений пирита, остатков водорослей и

переотложенных раковин БФ рода *Lobatula*, живущих на водорослях. Планктонные фораминиферы наибольшей численностью представлены в слоях 300–360 см и 440–650 см. Из них доминирует вид *Neogloboquadrina pachyderma*.

Бентосные фораминиферы (БФ) встречены во всех пробах осадка, кроме гор. 386–387 см. Наибольшей численностью они представлены на гор. 330–360 см и на гор. 540–630 см (рис.). В разрезе отложений обнаружено 54 вида БФ (не считая виды однокамерных лагенид, которые встречаются редко и в единичных экземплярах). Наибольшим числом видов БФ представлены на гор. 440–650 см (30 видов) и на гор. 750–902 см (29 видов), а наименьшим числом – на гор. 17–40 см и 270–300 см (13 видов).

Из всех видов БФ только четыре имеют агглютинированную песчаную раковину: *Cyclammina subcancellata* (гор. 429–430, 441–442, 461–462 см), *Cyclammina contorta* (гор. 636–637, 689–690, 696–697 см), *Cribrostomoides nitidum* (гор. 789–790 см), *Cribrostomoides profundum* (гор. 806–807 см), *Schizammina* sp. (гор. 829–830 см). Остальные найденные виды БФ имеют секреторную карбонатную раковину.

По преобладающей суммарной численности таксонов БФ надвидового ранга в разрезе отложений выделено пять экостратиграфических надзон I–V (рисунок). В надзонах выделено 26 экостратиграфических зон, нумерация которых сквозная.

Надзона I (гор. 7.5–277 см)

По суммарной численности в ней преобладают роталииды, представленные видами родов: *Elphidium*, *Nonionellina*, *Chilostomoniella*, *Cyroidinus*, *Hoeglundina*, *Pullenia*, *Valvulineria*. Представители родов *Elphidium*, *Globobulimina*, *Pyrgo* в ниже лежащих надзонах не встречены. Средняя общая численность БФ в надзоне низкая (153 экз./10 г осадка).

Зона 1 (гор. 7.5–117 см). Численность БФ в зоне изменяется от 40 до 437 экз./10 г осадка. Наибольшая их численность, более 200 экз., наблюдается в интервалах 7.5–8.0 см и 67.5–107.0 см. Доминантный вид *Elphidium batialis* в фауне БФ составляет 25–75%. Субдоминантные виды: *Cassandra translucens*, *Globobulimina auriculata*, *Nonionellina scaphum*, *Uvigerina peregrina parvocostata*.

Зона 2 (гор. 117–161 см). Численность БФ в зоне 42–436 экз./10 г осадка. Наибольшей численностью (200–436 экз./10 г) отличаются гор. 129–130 см и 156–157 см. Доминантные виды *Cassandra translucens* и *Elphidium batialis* в фауне БФ составляют 38–57%. Субдоминантные виды: *Nonionellina scaphum*, *Uvigerina peregrina parvocostata*, *Neouvigerina complanata*, *Globobulimina auriculata*, *Chilostomellina fimbriata*.

Зона 3 (гор. 161–181 см). Численность БФ в зоне 124–448 экз./10 г осадка. Доминантный вид *Cassandra translucens* в фауне БФ составляет 20–39%. Субдоминантные виды: *Nonionellina scaphum*, *Uvigerina peregrina parvocostata*, *Neouvigerina complanata*, *Globobulimina auriculata*.

Зона 4 (гор. 181–187 см). Численность БФ в зоне 59–126 экз./10 г осадка. Доминантный вид *Elphidium batialis* в фауне БФ составляет 61–69%. Субдоминантные

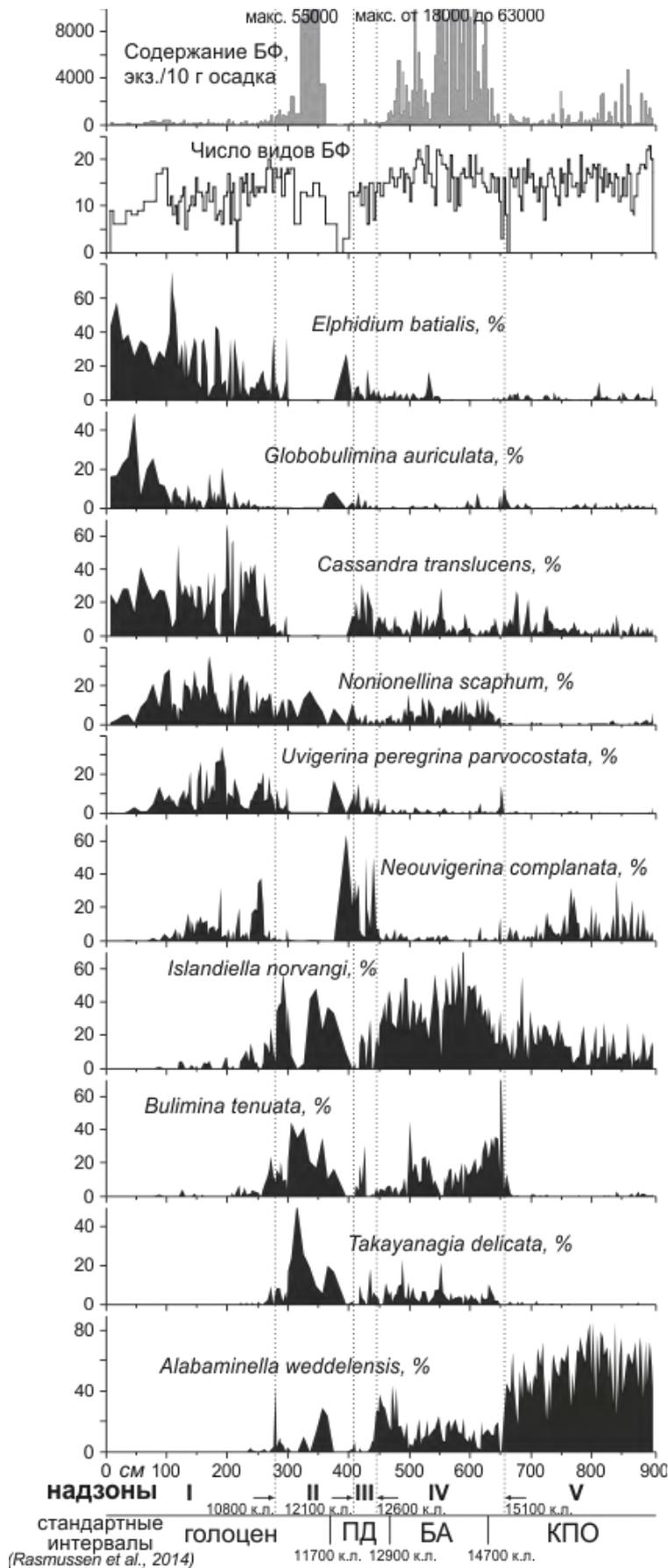


Рис. Распределение массовых видов БФ и экостратиграфия колонки SO201-2-12KL.

виды: *Uvigerina peregrina parvocostata*, *Nonionellina scaphum*, *Neouvigerina complanata*.

Зона 5 (гор. 187–197 см). Численность БФ в зоне 63–109 экз./10 г осадка. Доминантные виды *Uvigerina peregrina parvocostata* и *Neouvigerina complanata* в фауне БФ составляют 37–59%. Субдоминантные виды: *Elphidium batialis*, *Nonionellina scaphum*, *Pyrgo murrhyna*.

Зона 6 (гор. 197–251 см). Численность БФ в зоне изменяется в пределах 8–452 экз./10 г осадка. Наибольшей численностью они представлены на гор. 201–202 см (452 экз. /10 г), на гор. 209–210 см (295 экз. /10 г), на гор. 229–231 см (322–339 экз. /10 г). Доминантный вид *Cassandra translucens* в фауне БФ составляет 23–67%, а при численности БФ менее 10 экз. /10 г на гор. 206–207 см и 211–212 см доминирует *Elphidium batialis* (36–37%). Субдоминантные виды: *Nonionellina scaphum*, *Islandiella norvangi*, *Uvigerina peregrina parvocostata*.

Зона 7 (гор. 251–261 см). Численность БФ в зоне 156–321 экз./10 г осадка. Доминантный вид *Neouvigerina complanata* в фауне БФ составляют 41–52%. Субдоминантные виды: *Cassandra translucens*, *Elphidium batialis*, *Nonionellina scaphum*, *Uvigerina peregrina parvocostata*.

Зона 8 (гор. 261–267 см). Численность БФ в зоне составляет 258–404 экз./10 г осадка. Доминантный вид *Cassandra translucens* в фауне БФ составляет 20–38%. Субдоминантные виды: *Nonionellina scaphum*, *Islandiella norvangi*, *Elphidium batialis*.

Зона 9 (гор. 267–272 см). Численность БФ в зоне 319–826 экз./10 г осадка. Доминантный вид *Nonionellina scaphum* в фауне составляет 16%. Субдоминантные виды: *Bulimina tenuata*, *Uvigerina peregrina parvocostata*, *Cassandra translucens*, *Takayanagia delicata*.

Зона 10 (гор. 272–277 см). Численность БФ в зоне 129 экз./10 г осадка. Доминантный вид *Elphidium batialis* в фауне БФ составляет 40%. Субдоминантные виды: *Bulimina tenuata* (12%), *Islandiella norvangi* (10%), *Valvulineria ochotica*, *Cassandra translucens*, *Uvigerina peregrina parvocostata*.

Надзона II (гор. 277–407 см)

По суммарной численности в ней преобладают кассидулиниды, представленные видами рода *Islandiella*, *Takayanagia* и булиминиды, представленные видами родов *Bulimina*, *Neouvigerina*, *Uvigerina*, *Fursenkoina*. Средняя общая численность БФ в надзоне (3532 экз./10 г осадка).

Зона 11 (гор. 277–281 см). Численность БФ в зоне 511 экз./10 г осадка. Доминантный вид *Alabaminella weddellensis* в фауне БФ составляет 43%. Субдоминантные виды: *Bulimina tenuata*, *Elphidium batialis*, *Cassandra translucens*, *Takayanagia delicata*.

Зона 12 (гор. 281–302 см). Численность БФ в зоне 419–1250 экз./10 г осадка. Наибольшая их численность наблюдается в верхней и нижней частях зоны. Доминантный вид *Islandiella norvangi* в фауне составляет 34–57%. Субдоминантные

виды: *Uvigerina peregrina parvocostata*, *Elphidium batialis*, *Alabaminella weddellensis*, *Bulimina tenuata*, *Nonionellina scaphum*.

Зона 13 (гор. 302–327 см). Численность БФ в зоне 909–9164 экз./10 г осадка. Доминантные виды *Bulimina tenuata* и *Takayanagia delicata* в фауне БФ составляют 65–68%. Субдоминантные виды: *Nonionellina scaphum*, *Alabaminella weddellensis*, *Alabaminoides exiguus*, *Bolivinelina pescicula*.

Зона 14 (гор. 327–347 см). Численность БФ в зоне 16711–54754 экз./10 г осадка. Доминантный вид *Islandiella norvangi* в фауне БФ составляет 42–48%. Субдоминантные виды: *Takayanagia delicata*, *Nonionellina scaphum*, *Bulimina tenuata*, *Alabaminella weddellensis*.

Зона 15 (гор. 347–357 см). Численность БФ в зоне 3483 экз./10 г осадка. Доминантный вид *Bulimina tenuata* в фауне БФ составляет 35%. Субдоминантные виды: *Takayanagia delicata*, *Islandiella norvangi*.

Зона 16 (гор. 357–407 см). Численность БФ в зоне уменьшается сверху вниз от 7 до 143 экз./10 г осадка. Доминантный вид *Islandiella norvangi* в фауне БФ составляет 25–36%. Субдоминантные виды: *Alabaminella weddellensis*, *Bulimina tenuata*, *Neouvigerina complanata*, *Valvulineria ochotica*.

Надзона III (гор. 407–445 см)

По суммарной численности в ней преобладают булимиды, представленные видами родов *Neouvigerina*, *Bulimina* и кассидулиниды, представленные видами рода *Islandiella*. Общая средняя численность БФ в надзоне (207 экз./10 г осадка).

Зона 17 (гор. 407–417 см). Численность БФ в зоне 18–70 экз./10 г осадка. Доминантный вид *Neouvigerina complanata* в фауне БФ составляет 24–37%. Субдоминантные виды: *Uvigerina peregrina parvocostata*, *Cassandra translucens*, *Cassidulinoides borealis*.

Зона 18 (гор. 417–425 см). Численность БФ в зоне 19–56 экз./10 г осадка. Доминантные виды *Bulimina tenuata* и *Islandiella norvangi* в фауне БФ составляют 30–33%. Субдоминантные виды: *Cassandra translucens*, *Takayanagia delicata*, *Cassidulinoides borealis*.

Зона 19 (гор. 425–427 см). Численность БФ в зоне 480 экз./10 г осадка. Доминантный вид *Alabaminella weddellensis* в фауне БФ составляет 31%. Субдоминантные виды: *Islandiella norvangi*, *Cassandra translucens*, *Cassidulinoides borealis*.

Зона 20 (гор. 427–445 см). Численность БФ в зоне 14–267 экз./10 г осадка. Доминантный вид *Neouvigerina complanata* в фауне БФ составляют 20–51%. Субдоминантные виды: *Cassandra translucens*, *Cassidulinoides borealis*, *Islandiella norvangi*, *Alabaminella weddellensis*.

Надзона IV (гор. 445–656 см)

По суммарной численности в ней преобладают кассидулиниды, представленные теми же родами, что и в надзоне III и еще видами родов *Smyrnelia* и *Cassilamillina*.

В этой надзоне присутствуют виды родов *Bolivinellina* и *Triloculina*, которые не встречены в выше- и нижележащих надзонах. Средняя общая численность БФ в надзоне – самая высокая для всего разреза (5848 экз./10 г осадка).

Зона 21 (гор. 445–491 см). Численность БФ в зоне 234–5514 экз./10 г осадка. Наибольшей численностью (более 2000 экз./10 г осадка) они представлены ниже гор. 472 см. Доминантный вид *Islandiella norvangi* в фауне БФ составляет 20–47%. Субдоминантные виды: *Cassidulinoides borealis*, *Cassandra translucens*, *Takayanagia delicata*, *Neouvigerina complanata*, *Valvulineria ochotica*.

Зона 22 (гор. 491–527 см). Численность БФ в зоне 1220–1881 экз./10 г осадка. Наибольшая их численность на гор. 491–492 см. Доминантный вид *Islandiella norvangi* в фауне БФ составляет 26–54%. Субдоминантные виды: *Bulimina tenuata*, *Alabaminella weddellensis*, *Cassidulinoides borealis*, *Nonionellina scaphum*, *Takayanagia delicata*, *Bolivinellina pescicula*, *Cassandra translucens*, *Triloculina angularis*.

Зона 23 (гор. 527–586 см). Численность БФ в зоне 737–52333 экз./10 г осадка. Наибольшая их численность на гор. 551–552 см, а наименьшая на гор. 566–567 см. Доминантный вид *Islandiella norvangi* в фауне БФ составляет 23–64%, а субдоминантный вид *Alabaminella weddellensis* составляет 6–23%. Остальные субдоминантные виды, содержание которых меньше: *Bulimina tenuata*, *Cassandra translucens*, *Elphidium batialis*, *Nonionellina scaphum*, *Takayanogia delicata*, *Chilostomellina fimbriata*, *Triloculina prolatio*, *Bolivinellina pescicula*.

Зона 24 (гор. 586–625 см). Численность БФ в зоне 311–8778 экз./10 г осадка. Наибольшая их численность на гор. 589–590 см и наименьшая на гор. 631–632 см. Доминантный вид *Islandiella norvangi* в фауне БФ составляет 35–71%, а субдоминантный вид *Bulimina tenuata* составляет 15–23%. Остальные субдоминантные виды, содержание которых меньше: *Alabaminella weddellensis*, *Nonionellina scaphum*, *Cassandra translucens*, *Bolivinellina pescicula*, *Takayanagia delicata*, *Chilostomellina fimbriata* и на гор. 616–617 см *Uvigerina peregrina parvocostata*, *Neouvigerina complanata*.

Зона 25 (гор. 625–656 см). Численность БФ в зоне уменьшается вниз по разрезу отложений от 3102 до 4 экз./10 г осадка. Доминантный вид *Bulimina tenuata* в фауне БФ составляет 29–36%. Субдоминантные виды: *Islandiella norvangi*, *Alabaminella weddellensis*, *Bolivinellina pescicula*, *Cassandra translucens*.

Надзона V (гор. 656–902 см)

По суммарной численности преобладают роталииды, представленные видами родов *Alabaminella*, *Chilostomellina*, *Eponides*, *Fontobotia*, *Gyroidina*, *Haynesina*, *Ioanella*, *Melonis*, *Nonionellina*, *Valvulineria*, *Gyroidinus*, *Oridorsalis*. Представители родов *Gyroidinus*, *Oridorsalis*, *Pyrgoella*, *Fursenkoina* не встречены в вышележащих надзонах.

Зона 26 (гор. 656–902 см). Численность БФ в надзоне колеблется в пределах 7–4721 экз./10 г осадка. Наибольшей численностью, более 2000 экз./10 г осадка,

они представлены на горизонтах 749–750 см, 816–820 см, 839–840 см, 849–850 см, 859–862 см, 881–882 см, 889–897 см. На остальных горизонтах их численность менее 1000 экз./10 г осадка. Доминантный вид *Alabaminella weddellensis* в фауне БФ составляет 30–85%. На горизонтах 726–727, 766–767, 841–842 см, где содержание этого вида уменьшается до 21–25%, увеличивается содержание субдоминантного вида *Islandiella norvangi* до 20–30%. Другие субдоминантные виды: *Neouvigerina complanata*, *Cassandra translucens*, *Cassidulinoides borealis*, *Oridorsalis tenerus*, *Gyroidinus borealis*, *Valvulineria ochotica*, *Pyrgoella profunda* и ниже гор. 748 см *Fursenkoina complanata*.

Современная экология и биогеография доминантных и субдоминантных видов БФ boreальной области Тихого океана

Для названных выше видов БФ имеются сведения об их приуроченности к определенным условиям окружающей среды, что дает основу для палеоэкологических выводов.

Вид *Elphidium batialis* доминирует в сообществах БФ в Беринговом море на глубине (гл.) 1600–2800 м (температура (Т) = 1.8–2.0°C, содержание растворенного кислорода (O₂) = 2.0–2.9 мл/л, содержание органического углерода (C_{орг}) = 2.0–2.5%). В Тихом океане у Камчатки наибольшей численностью он представлен на гл. 1700–2700 м (Т = более 2°C, соленость (S) = 34.5‰, O₂ = 1.5–2.0 мл/л) (Саидова, 1961, 1975, 1997).

Вид *Globobulimina auriculata* наибольшую численность имеет в Беринговом море на гл. 1200–1557 м, в Охотском море – на гл. 800–1800 м, в Тихом океане – на гл. 450–1911 м (Т = 1.8–2.0°C, S = 34.6‰, O₂ = 1.5–2.0 мл/л) (Саидова, 1961, 1975).

Вид *Cassandra translucens* в северо-западной части boreальной области Тихого океана обычно встречается на гл. 1630–2082 м (Т менее 2.0°C, S = 34.5‰, O₂ = более 2.0 мл/л), но доминирует в сообществах БФ на материковом склоне Северной Америки на гл. 600–700 м (Т = 3.5–5.0°C, S = 34.3–34.5‰) (Саидова, 1961, 1975, 2000).

Вид *Nonionellina scaphum* доминирует в сообществе БФ в Охотском море на гл. 238–611 м, у южного окончания Камчатки (Т = 2.0–2.3°C, O₂ = 5.0–5.5 мл/л, C_{орг} = 0.5–1.0%). В Беринговом море является субдоминантом на материковом склоне на гл. 800–1200 м (Т = 1.8–2.0°C, O₂ = 2.0–2.9 мл/л). В Тихом океане встречен у Командорских островов, у Камчатки и на северном окончании Императорского хребта на гл. 812–2883 м (Саидова, 1961, 1975, 1997).

Вид *Pyrgo murrhyna* в наибольшем числе экземпляров встречен в Охотском море на гл. 1200–1300 м на поднятиях центральной части моря, в Тихом океане обычен в верхней части батиаля (Саидова, 1961, 1975) и в отложениях заключительной стадии последнего оледенения (Саидова, 1969).

Вид *Uvigerina peregrina parvocosta* доминирует в сообществах БФ в Беринговом море на гл. 300–1700 м (Т = 1.7–2°C, O₂ = 0.3–1.2 мл/л, C_{орг} = 1.5–2.0%),

в Охотском море на гл. 240–1550 м ($T = 1-2^{\circ}\text{C}$, $O_2 = 2-4$ мл/л, $C_{\text{орг}} = 1.5-2.0\%$). В Тихом океане он наибольшей численностью представлен на глубине 600 – 1500 м ($T = 2-3^{\circ}\text{C}$, $S = 34.3\text{‰}$, $O_2 = 1.0-1.5$ мл/л), у Камчатки и Курильских островов и доминирует в сообществе БФ на материковом склоне Северной Америки на гл. 1100–1200 м ($T = 3.5-4.0^{\circ}\text{C}$, $S = 34.3-34.5\text{‰}$) (Саидова, 1961, 1975, 1997, 2000).

Вид *Neouvirgerina complanata* в наибольших количествах встречен у Командорских и Курильских островов на гл. 2700–3000 м ($T = 11.5^{\circ}\text{C}$, $O_2 = 2.0-2.5$ мл/л) (Саидова, 1961, 1975).

Вид *Islandiella norvangi* в Охотском море максимальной численностью представлен на гл. 600–850 м, в Тихом океане распространен на западе бореальной области и северных субтропиках на гл. 243–3534 м (Саидова, 1961, 1975). В плейстоценовых отложениях на возвышенности Шатского наибольшей численностью этот вид представлен в осадках ледниковых стадий (Ohkushi et al., 2000).

Вид *Takayanagia delicata* чаще всего встречается в бореальной области Тихого океана на гл. 800–850 м и в Охотском море – на гл. 800–1250 м. В северных субтропиках он доминирует в сообществах БФ в восточной части Тихого океана в голоценовых отложениях и в отложениях заключительной стадии последнего оледенения (Саидова, 1961, 1969, 1975, 1990).

Вид *Bulimina tenuata* имеет максимальную концентрацию в Беринговом море на гл. 686–910 м ($T = 2-3^{\circ}\text{C}$, $O_2 = 0.3-0.7$ мл/л, $C_{\text{орг}} = 0.5-1.0\%$), в Охотском море – на гл. 880–900 м. В Тихом океане этот вид доминирует в сообществе БФ на гл. 900–1200 м на материковом склоне Сев. Америки (Саидова, 1961, 1975, 1990, 2000).

Вид *Alabaminella weddellensis* эврибионтный. В западной части Тихого океана наибольше численностью он представлен на гл. 2300 – 2900 м ($T = 1^{\circ}\text{C}$, $S = 34.5-34.6\text{‰}$, $O_2 = 2.0-2.5$ мл/л). В восточной части океана он доминирует в сообществах БФ на гл. 1887–2600 м. В Южном океане этот вид доминирует в сообществах БФ на шельфе Антарктиды на гл. 160–210 м ($T = 1.5-1.2^{\circ}\text{C}$, $S = 34.5\text{‰}$, $O_2 = 5$ мл/л) и на материковом склоне на гл. 1140–3675 м ($T = 0-6^{\circ}\text{C}$) (Саидова, 1961, 1975, 1998, 1990). В плейстоценовых отложениях в северо-западной части Тихого океана содержание этого вида увеличивается во время интер- и межстадиалов (Saidova, 1967; Саидова, 1969).

Вид *Valvulineria ochotica* распространен в батиали Берингова и Охотского морей и в западной части Тихого океана. Наибольшей численностью он представлен на гл. 750 – 1200 м (Саидова, 1961).

Вид *Cassidulinoides borealis* встречен в Охотском море и на западе Тихого океана на гл. 800–3000 м. В максимальной концентрации он представлен на глубине менее 1500 м.

Вид *Bolivinelina pescicula* распространен в бореальной области Тихого океана на гл. 1550–3200 м ($T = 1^{\circ}\text{C}$, $S = 34.6\text{‰}$, $O_2 = 2.5$ мл/л) и в отложениях заключительной стадии последнего оледенения (Saidova, 1967; Саидова, 1969, 1975).

Вид *Triloculina prolatio* встречается в бореальной области Тихого океана на гл. 1347–3050 м и в отложениях заключительной стадии последнего оледенения ($T = 1^{\circ}\text{C}$, $S = 34.6\text{‰}$, $O_2 = 2.5$ мл/л) (Саидова, 1969, 1975).

Вид *Gyroidinus borealis* распространен в бореальной области Тихого океана на гл. 812–3247 м ($T = 1-2^{\circ}\text{C}$, $S = 34.5-34.6\%$, $O_2 = 1.5-2.0$ мл/л) и в отложениях последнего оледенения (Саидова, 1969, 1975).

Вид *Oridorsalis tenerus* в Охотском море в наибольшей концентрации обнаружен на гл. 900–1200 м и в бореальной области Тихого океана – на гл. 415–2000 м ($T = 2-3^{\circ}\text{C}$, $S = 34.4-34.5\%$, $O_2 = 1.0-1.5$ мл/л) (Саидова, 1961, 1975). Наибольшей численностью представлен также в отложениях ледниковых стадий плейстоцена на западе бореальной области и северных субтропиках (Saidova, 1967; Саидова, 1969; Ohkushi, 2000).

Вид *Fursenkoina complanata* в единичных экземплярах распространен в Охотском море на гл. 126–2155 м и в Тихом океане на гл. 91–3030 м (Саидова, 1961, 1975). Этот вид эврибионтный. В плейстоценовых отложениях он доминирует в бореальной области Тихого океана, в интер- и межстадиалах (Saidova, 1967; Саидова, 1969; Ohkuchi et al., 2000).

Возраст биостратиграфических подразделений и краткая характеристика придонной палеосреды

Все виды БФ, встреченные в изученном разрезе отложений, в настоящее время распространены в северной части Тихого океана и его краевых бассейнах (Саидова, 1961, 1975, 1976, 1981, 1997, 1998, 2000). Это позволило, используя данные по их экологии и биогеографии, выделить в изученном разрезе биостратиграфические надзоны и зоны, определить их возраст и восстановить палеосреду (см.рис.). Хроностратиграфические границы на переходе от последнего оледенения к голоцену дана по работе Расмуссена и др. (Rasmussen et al., 2014), подразделение голоцена – по работе Мангеруда и др. (Mangerud et al., 1982).

Надзона I (гор. 7.5–277 см с округленным до сотен лет возрастом 5400–10800 к.л.) относится к раннему/среднему голоцену от середины хронозоны пребореал до конца атлантической хронозоны голоцена и отличается низкой численностью БФ. Доминантные виды надзоны *Elphidium batialis*, *Cassandra translucens*, *Uvigerina peregrina parvocosta*, *Nonionellina scaphum*, а в нижних надзонах они не доминируют. В надзоне I выделяется 10 зон.

Зона 1 (гор. 7.5–117 см с возрастом 5400–7800 к.л.) относится к поздней половине атлантической хронозоны. Доминантный вид в зоне – *Elphidium batialis*. Условия придонной среды в это время были близки к современным.

Зоны 2–3 (гор. 117–181 см с возрастом 7800–8600 к.л.) относятся к начальной половине атлантической хронозоны и отличаются высокой средней численностью БФ. В зоне 2 доминантные виды *Cassandra translucens* и *Elphidium batialis*, в зоне 3 – только *C. translucens*, который в оставшейся части атлантической хронозоны не доминирует. Условия среды были более холодноводные, чем в поздней половине атлантической хронозоны и циркуляция придонных вод была активнее.

Зоны 4–5 (гор. 181–197 см с возрастом 8600–9000 к.л.) относятся к заключительной части бореальной хронозоны. Численность БФ в это время была в 2 раза меньше, чем в начале бореала, циркуляция вод слабее и содержание кислорода ниже. В зонах доминируют виды *Elphidium batialis* (зона 4) и *Uvigerina peregrina parvocostata* и *Neouvigerina complanata* (зона 5).

Зоны 6–8 (гор. 197–267 см с возрастом 9000–10600 к.л.) относятся к переходу от позднего пребореала к раннему бореалу. Численность БФ в это время была значительно больше, чем в основной части бореала, циркуляция вод активнее, содержание кислорода в воде и $C_{\text{орг}}$ в грунте больше. В зонах 6, 8 доминирует вид *Cassandra translucens*, в зоне 7 – *Uvigerina peregrina parvocostata*.

Зоны 9–10 (гор. 267–277 см с возрастом 10600–10800 к.л.) относятся к хронозоне пребореал и отличаются в 2 раза меньшей численностью БФ. В зоне 9 доминирует вид *Nonionellina scaphum*, который в выше и ниже расположенных зонах не доминирует, а в зоне 10 доминирует *Elphidium batialis*. Условия среды в это время были близки к условиям поздней половины атлантической хронозоны.

Надзона II (гор. 277–407 см с возрастом 10800–12100 к.л.) относится к потеплению на переходе от позднего дриаса к раннему голоцену и отличается в 23 раза большей численностью БФ, чем в голоцене. Доминирующие в зонах надзоны виды *Alabaminella weddellensis* (зона 11), *Islandiella norvangi* (зоны 12, 14, 16), *Bulimina tenuata* (зоны 13, 15), *Takayanagia delicata* (зона 13) не доминируют в голоцене. По сравнению с голоценом, циркуляция вод была в это время значительно активнее, содержание кислорода в воде и $C_{\text{орг}}$ в грунте выше.

Надзона III (гор. 407–445 см с возрастом 12100–12600 к.л.) относится к холодному времени в середине позднего дриаса и отличается в 17 раз меньшей численностью БФ, чем на переходе от позднего дриаса к голоцену. В отличие от предыдущего и последующего этапов времени, доминирует вид *Neouvigerina complanata* (зоны 17, 20). По сравнению с переходом к голоцену (надзона II), циркуляция вод была значительно менее активна, содержание в воде кислорода и $C_{\text{орг}}$ в грунте меньше.

Надзона IV (гор. 445–656 с возрастом 12600–15100 к.л.) относится к первому резкому потеплению после последнего оледенения – интервалу бёллинг-аллерёд – и отличается максимальной для всего разреза отложений численностью БФ, в 28 раз большей, чем в середине позднего дриаса. В зонах 21–24 доминирует вид *Islandiella norvangi*. В зонах 21 и 23 субдоминантом является вид *Alabaminella weddellensis*, в зонах 22 и 24 – *Bulimina tenuata*, а в зоне 25 последний вид доминирует. Условия среды в это время близки к условиям перехода от позднего дриаса к голоцену (надзона II), но отличались высокой активностью придонной циркуляции воды и большим содержанием кислорода в воде и $C_{\text{орг}}$ в грунте.

Надзона V (гор. 656–902 см с возрастом 15100–19900 к.л.) относится к концу последнего оледенения и отличается в 9 раз меньшей численностью БФ, чем в интервале бёллинг-аллерёд. В надзоне доминирует эврибионтный вид *Alabaminella weddellensis*. Циркуляция вод в это время была значительно слабее, чем в позднее ледниковье, содержание кислорода в воде и $C_{\text{орг}}$ в грунте – значительно меньше.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФАНО России (тема № 0149-2018-0016).

Литература

- Андреев А.Г.* Изменение параметров карбонатной системы поверхностных вод в северо-западной части Тихого океана // *Океанология*. 1999. Т. 39. С. 861–866.
- Безруков П.Л.* Общие черты осадкообразования в Тихом океане // *Тихий океан. Осадкообразование в Тихом океане*. М.: Наука, 1970. Т. 2. С. 301–321.
- Бурков В.А.* К гидрологии Командоро-Камчатского региона Тихого океана в весеннее время // *Тр. ИОАН СССР*. 1958. Т. 27. С. 12–22.
- Ветров А.А., Романкевич Е.А.* Новые карты распределения органического углерода и коэффициентов его фоссилизации в донных осадках Мирового океана // *Океанология*. 1997. Т. 37. № 6. С. 854–861.
- Добровольский А.Д.* О водных массах северо-западной части Тихого океана // *Сборник докладов на II пленуме Комиссии по рыбохозяйственным иссл. западной части Тихого океана*. М.: Пищепромиздат, 1962. С. 42–48.
- Зенкевич Л.А., Филатова З.А.* Общая краткая характеристика количественного состава и количественного распределения донной фауны Дальневосточных морей СССР и северо-западной части Тихого океана // *Тр. Ин-та океанологии*. 1958. Т. 27. С. 154–160.
- Леонтьева В.В.* Гидрология желобов Мирового океана. М.: Наука, 1985. 208 с.
- Лисицын А.П.* Осадкообразование в океанах. М.: Наука, 1974. 438 с.
- Ляхин Ю.И.* Насыщенность карбонатом кальция вод Тихого океана // *Океанология*. 1968. Т. 8. № 7. С. 58–68.
- Маккавеев П.Н.* Изменчивость карбонатного равновесия вод Мирового океана различных временных и пространственных масштабов. М.: Наука, 2008. С. 508–515.
- Максименко Н.А., Щербина А.Ю., Гуськина Р.И., Харламов А.Н.* Пространственная структура и динамика промежуточных вод в северо-западной части Тихого океана // *Океанология*. 1997. Т. 37. № 6. С. 805–811.
- Матуль А.Г., Саидова Х.М., Смирнова М.А., Хусид Т.А., Казарина Г.Х., Чеховская М.П.* Быстрые диахронные изменения палеоокеанологии на дальневосточной окраине СЗ Пацифики при переходе от последнего оледенения к голоцену // *Докл. академии наук*. 2015. Т. 463. № 6. С. 719–724.
- Полякова А.М.* Экстремальный выход плавучих льдов в северо-западную часть Тихого океана // *Океанология*. 2007. Т. 47. № 1. С. 5–8.
- Рогачев К.А., Горин И.И.* Перенос массы и долговременная эволюция вихрей Камчатского течения // *Океанология*. 2004. Т. 44. № 1. С. 19–25.
- Рогачев К.А., Шлык Н.В.* Изменение характеристик халоклина и рост температуры в Камчатском течении и Ойясио // *Океанология*. 2009. Т. 49. № 6. С. 814–819.
- Саидова Х.М.* Экология фораминифер и палеогеография Дальневосточных морей СССР и северо-западной части Тихого океана. М.: Изд. АН СССР, 1961. 204 с.
- Саидова Х.М.* Стратиграфия осадков бореальной и тропической областей Тихого океана по бентосным фораминиферам // *Основные проблемы микропалеонтологии и органогенного осадконакопления в океанах и морях*. М.: Наука, 1969. С. 200–239.
- Саидова Х.М.* Бентосные фораминиферы Тихого океана. М.: Изд. ИО АН СССР, 1975. 875 с.
- Саидова Х.М.* Бентосные фораминиферы Мирового океана. М.: Наука, 1976. 160 с.
- Саидова Х.М.* Сообщества современных фораминифер абиссальных равнин Тихого океана // *Океанология*. 1981. Т. 21. № 2. С. 360–365.

- Саидова Х.М. Экостратиграфия отложений хребта Хуан-де-Фука по фораминиферам // Геологическое строение и гидротермальные образования хребта Хуан-де-Фука. М.: Наука, 1990. С. 99–113.
- Саидова Х.М. Глубоководные сообщества фораминифер Берингова и Охотского морей // Океанология. 1997. Т. 37. № 1. С. 105–112.
- Саидова Х.М. Сообщества фораминифер Южного океана // Океанология. 1998. Т. 38. № 4. С. 561–567.
- Саидова Х.М. Сообщества бентосных фораминифер материковой ступени тихоокеанского побережья Северной Америки // Океанология. 2000. Т. 40. № 3. С. 410–415.
- Степанов В.Н. Океаносфера. М.: Наука, 1983. 270 с.
- Удинцев Г.Б. Геоморфология и тектоника Тихого океана. М.: Наука, 1972. 394 с.
- Berger W.H. Global maps of Ocean productivity // *Productivity of the ocean: Present and Past*. Chichester: [Wiley & Sons]. 1989. P. 455–486.
- Dullo W.C., Baranov B., van den Bogaard C. Cruise Report SO201-2 KALMAR // *IFM-GEOMAR Report*. 2009. No. 35. 233 p.
- Mangerud Y., Birks H., Yager K.-D. Chronostratigraphical subdivisions of the Holocene: A review // *Striae*. 1982. Vol. 16. P. 1–6.
- Max L., Riethdorf J.-R., Tiedemann R. et al. Sea surface temperature variability and sea-ice extent in the subarctic Northwest Pacific during the past 15.000 years // *Paleoceanography*. 2012. Vol. 27. PA3213. doi:10.1029/2012PA002292.
- Ohkushi K., Thomas E., Kawahata H. Abyssal benthic foraminifera from the northwestern Pacific (Shatsky Rise) during the last 298 kyr // *Marine Micropaleontology*. 2000. Vol. 38. P. 119–147.
- Rasmussen S.O., Bigler M., Blockley S.P., et al. A stratigraphic framework for abrupt climatic changes during the Last Glacial period based on three synchronized Greenland ice-core records: Refining and extending the INTIMATE event stratigraphy // *Quaternary Science Reviews*. 2014. Vol. 106. P. 14–28.
- Saidova Kh.M. Sediment stratigraphy and paleogeography of the Pacific Ocean by benthonic foraminifera during the Quaternary // *Progress in Oceanography*. 1957. Vol. 4. P. 142–151.

**BENTHIC FORAMINIFERA IN THE LATE QUATERNARY SEDIMENTS ON
THE EASTERN CONTINENTAL SLOPE OF KAMCHATKA
(CORE SO201-2-12KL)**

Kh.M. Saidova

*Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences,
36 Nahimovskiy prospekt, Moscow, 117997, Russia, e-mail: amatul@mail.ru
Submitted 28.02.2018, accepted 26.04.2018*

Benthic foraminifera (BF) were studied in 260 sediment samples of the core SO201-2-12KL from the eastern continental slope of Kamchatka which covers the last 20000 years of the Late Quaternary time. Based on the distribution of the dominant and subdominant BF species, ecostratigraphic units (zones and superzones) correspond to the different intervals within the

final part of the last glacial, last deglaciation, and early to middle Holocene. Records on the modern ecology and biogeography of the abundant and most typical BF species were used for the paleoecological interpretations of the near-bottom conditions.

Keywords: Late Quaternary, biostratigraphy, paleoecology, benthic foraminifera, continental slope of Kamchatka.

References

- Andreev A.G.* Izmenenie parametrov karbonatnoi sistemy poverkhnostnykh vod v severo-zapadnoi chasti Tikhogo okeana (Change of parameters of carbonate system of surface waters in northwestern part of Pacific Ocean). *Okeanologiya*, 1999, Vol. 39, No. 6, pp. 861–866.
- Bezrukov P.L.* Obshchie cherty osadkoobrazovaniya v Tikhom okeane (General traits of sedimentation in Pacific Ocean), In: Tikhii okean, Osadkoobrazovanie v Tikhom okeane (Kn. 2. Pacific ocean. Sedimentation in Pacific ocean, Part 2). Moscow: Nauka, 1970, pp. 301–321.
- Berger W.H.* Global maps of Ocean productivity, In: *Productivity of the ocean: Present and Past*. Chichester: Wiley & Sons, 1989, pp. 455–486.
- Burkov V.A.* K gidrologii Komandoro-Kamchatskogo regiona Tikhogo okeana v vesennee vremya (On hydrology of Komandor-Kamchatka region of Pacific Ocean during spring). *Tr. IOAN SSSR*, 1958, Vol. 27, pp. 12–22.
- Dobrovolskii A.D.* O vodnykh massakh severo-zapadnoi chasti Tikhogo okeana (On water masses of northwestern part of Pacific Ocean), Sbornik dokladov na II plenum Komissii po rybnokhozyaystvennym issl. zapadnoi chasti Tikhogo okeana (Proc. of Second plenary assembly of Commission on fishery-economical studies of western Pacific Ocean). Moscow: Pishchepromizdat, 1962, pp. 42–48.
- Dullo W.-C., Baranov B., and van den Bogaard C.* Cruise Report SO201-2 KALMAR. *IFM-GEOMAR Report*, 2009, No. 35, 233 p.
- Leont'eva V.V.* Gidrologiya zhelobov Mirovogo okeana (Hydrology of trenches of World Ocean). Moscow: Nauka, 1985, 208 p.
- Lisitsyn A.P.* Osadkoobrazovanie v okeanakh (Sedimentation in oceans). Moscow: Nauka, 1974, 438 p.
- Lyakhin Yu.I.* Nasyshchennost' karbonatom kal'tsiya vod Tikhogo okeana (Calcium carbonate saturation of Pacific Ocean waters). *Okeanologiya*, 1968, Vol. 8. No. 7, pp. 58–68.
- Makkaveev P.N.* Izmenchivost' karbonatnogo ravnovesiya vod Mirovogo okeana razlichnykh vremennykh i prostranstvennykh masshtabov (Variability of carbonate balance of World Ocean waters on different time and space scales). Moscow: Nauka, 2008, pp. 508–515.
- Maksimenko N.A., Shcherbina A.Yu., Gus'kina R.I., and Kharlamov A.N.* Prostranstvennaya struktura i dinamika promezhutochnykh vod v severo-zapadnoi chasti Tikhogo okeana (Space structure and dynamics of intermediate waters in northwestern part of Pacific Ocean). *Okeanologiya*, 1997, Vol. 37, No. 6, pp. 805–811.
- Mangerud Y., Birks H., and Yager K.-D.* Chronostratigraphical subdivisions of the Holocene: A review. *Striae*, 1982., Vol. 16, pp. 1–6.
- Matul' A.G., Saidova Kh.M., Smirnova M.A., Khusid A., Kazarina G.Kh., and Chekhovskaya M.P.* Bystrye diakhronnye izmeneniya paleoceanologii na dal'nevostochnoi okraine SZ Patsifiki pri perekhode ot poslednego oledeneniya k golotsenu (Rapid diachronous paleoceanographic changes in the Far East marginal areas of the Pacific Ocean at the last glaciation to Holocene transition). *Dokl. akademii nauk*, 2015, Vol. 463, No. 6, pp. 719–724.

- Max L., Riethdorf J.-R., Tiedemann R., and et al. Sea surface temperature variability and sea-ice extent in the subarctic Northwest Pacific during the past 15.000 years. *Paleoceanography*, 2012, Vol. 27, PA3213, doi:10.1029/2012PA002292.
- Ohkushi K., Thomas E., and Kawahata H. Abyssal benthic foraminifera from the northwestern Pacific (Shatsky Rise) during the last 298 kyr. *Marine Micropaleontology*, 2000, Vol. 38, pp. 119–147.
- Polyakova A.M. Ekstremal'nyi vykhod plavuchikh l'dov v severo-zapadnyuyu chast' Tikhogo okeana (Extremal extent of sea-ice in northwestern part of Pacific Ocean). *Okeanologiya*, 2007, Vol. 47, No. 1, pp. 5–8.
- Rasmussen S.O., Bigler M., Blockley S.P., and et al. A stratigraphic framework for abrupt climatic changes during the Last Glacial period based on three synchronized Greenland ice-core records: refining and extending the INTIMATE event stratigraphy. *Quaternary Science Reviews*, 2014, Vol. 106, pp. 14–28.
- Rogachev K.A. and Gorin I.I. Perenos massy i dolgovremennaya evolyutsiya vikhrei Kamchatskogo techeniya (Mass transfer and long-term evolution of gyres of Kamchatka current). *Okeanologiya*, 2004, Vol. 44, No. 1, pp. 19–25.
- Rogachev K.A. and Shlyk N.V. Izmenenie kharakteristik khaloklina i rost temperatury v Kamchatskom techenii i Oiyasio (Changes of characteristics of halocline and temperature rise in Kamchatka current and Oyashio). *Okeanologiya*, 2009, Vol. 49, No. 6, pp. 814–819.
- Saidova Kh.M. Ekologiya foraminifer i paleogeografiya Dal'nevostochnykh morei SSSR i severo-zapadnoi chasti Tikhogo okeana (Ecology of foraminiferas and paleogeography of Far Eastern seas of USSR and northwestern part of Pacific Ocean). Moscow: *Izd. AN SSSR*, 1961, 204 p.
- Saidova Kh.M. Stratigrafiya osadkov boreal'noi i tropicheskoi oblasti Tikhogo okeana po bentosnym foraminiferam (Sediment stratigraphy of boreal and tropical areas of Pacific Ocean based on benthic foraminiferas), In: Osnovnye problemy mikropaleontologii i organogenogo osadkonakopleniya v okeanakh i moryakh (Major problems of micropaleontology and biogenic sedimentation in oceans and seas). M.: Nauka, 1969, pp. 200–239.
- Saidova Kh.M. Bentosnye foraminifery Tikhogo okeana (Benthic foraminiferas of Pacific Ocean). Moscow: Izdatelstvo IO AN SSSR, 1975, 875 p.
- Saidova Kh.M. Bentosnye foraminifery Mirovogo okeana (Benthic foraminiferas of World Ocean). Moscow: Nauka, 1976, 160 p.
- Saidova Kh.M. Soobshchestva sovremennykh foraminifer abissal'nykh ravnin Tikhogo okeana (Associations of modern foraminiferas of abissal plains of Pacific Ocean). *Okeanologiya*, 1981, Vol. 21, No. 2, pp. 360–365.
- Saidova Kh.M. Ekostratigrafiya otlozhenii khrebta Khuan-de-Fuka po foraminiferam (Ecostratigraphy of sediments of Juan de Fuca Ridge based on foraminiferas), In: Geologicheskoe stroenie i gidrotermal'nye obrazovaniya khrebta Khuan-de-Fuka (Geological composition and hydrothermal structures of Juan de Fuca Ridge). Moscow: Nauka, 1990, pp. 99–113.
- Saidova Kh.M. Glubokovodnye soobshchestva foraminifer Beringova i Okhotskogo morei (Deep-water foraminiferal associations of Bering and Okhotsk seas). *Okeanologiya*, 1997, Vol. 37, No. 1, pp. 105–112.
- Saidova Kh.M. Soobshchestva foraminifer Yuzhnogo okeana (Foraminiferal associations of Southern Ocean). *Okeanologiya*, 1998, Vol. 38, No. 4, pp. 561–567.
- Saidova Kh.M. Soobshchestva bentosnykh foraminifer materikovoii stupeni tikhookeanskogo

- poberezh'ya Severnoi Ameriki (Benthic foraminiferal associations of continental bench on Pacific margin of North America). *Okeanologiya*, 2000, Vol. 40, No. 3, pp. 410–415.
- Saidova Kh.M.* Sediment stratigraphy and paleogeography of the Pacific Ocean by benthonic foraminifera during the Quaternary. *Progress in Oceanography*, 1957, Vol. 4, pp. 142–151.
- Stepanov V.N.* Okeanosfera (Oceanosphere). Moscow: Nauka, 1983, 270 p.
- Udintsev G.B.* Geomorfologiya i tektonika Tikhogo okeana (Geomorphology and tectonics of Pacific Ocean). M.: Nauka, 1972, 394 p.
- Vetrov A.A., Romankevich E.A.* Novye karty raspredeleniya organicheskogo ugleroda i koefitsientov ego fossilizatsii v donnykh osadkakh Mirovogo okeana (New maps of distribution of organic carbon and its fossilization coefficients in bottom sediments of World Ocean). *Okeanologiya*, 1997, Vol. 37, No. 6, pp. 854–861.
- Zenkevich L.A. and Filatova Z.A.* Obshchaya kratkaya kharakteristika kolichestvennogo sostava i kolichestvennogo raspredeleniya donnoi fauny Dal'nevostochnykh morei SSSR i severozapadnoi chasti Tikhogo okeana, (General brief characteristics of quantitative composition and distribution of bottom fauna of Far Eastern seas of USSR and northwestern part of Pacific Ocean). *Tr. Instituta okeanologii*, 1958, Vol. 27, pp. 154–160.

ГЕОМАГНЕТИЗМ И БИОРАЗНООБРАЗИЕ В ФАНЕРОЗОЕ

М.С. Бараш

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, 117997, Россия
Нахимовский проспект, д. 36, e-mail: barashms@yandex.ru*

Статья поступила в редакцию 13.02.2018, одобрена к печати 26.04.2018

Влияние изменений геомагнитного поля на эволюцию организмов является многосторонним. Понижение напряженности поля увеличивает космическое облучение поверхности Земли, что может активизировать мутагенез, ведущий к видообразованию. Поскольку выявляется корреляция напряженности геомагнитного поля с составом атмосферы, температурой, климатом, вулканизмом и другими условиями среды, предполагается его воздействие на эволюционные процессы в составе общего комплекса влияющих факторов. Источник геомагнитного поля находится у границы ядро-мантия, т.е. в той же области, где располагаются источники плюмообразования и, соответственно, вулканизма. Это объясняет корреляцию их изменений. Активизация импакт-событий в близких временных интервалах может быть объяснена воздействием тех же внешних по отношению к Солнечной системе факторов – галактических приливных сил или потоков темной материи при пересечениях Солнечной системой плоскости Млечного пути. Массовые вымирания вызываются совокупным воздействием вулканизма, импакт-событий и геомагнитных изменений.

Ключевые слова: геомагнетизм, эволюция, импакт-события, вулканизм, массовые вымирания

Разнообразие организмов на Земле в течение эволюции возрастало, пока не достигло современного уровня. Однако этот процесс не был постепенным. Он прерывался многочисленными эпизодами вымираний, когда в силу изменений условий среды некоторая часть организмов погибала и биоразнообразие сокращалось. Несколько вымираний были глобальными и катастрофическими, когда погибало более 70% биоты. Это так называемые «великие массовые вымирания». В течение фанерозоя (542 млн л.) выделяется пять таких событий: ордовикское (445 млн л.н.), девонское (две фазы: 372 и 359 млн л.н.), пермское (251 млн л.н.), триасовое (200 млн л.н.) и меловое (65.5 млн л.н.). Наиболее катастрофическое имело место на рубеже палеозоя и мезозоя, в конце пермского периода, когда вымерло около 95% морских организмов.

При вымираниях сокращалось как общее количество организмов, так и их видовое разнообразие, количество таксонов. Выжившие формы давали эволюционное начало новым таксонам. При благоприятных условиях возрастало и обилие организмов. Происходила смена комплексов, отразившаяся в палеонтологической летописи. В зависимости от масштаба изменений выделяются геохронологические подразделения разного масштаба, от крупнейших (эры) до мелких (биозоны), со-

ставляющие иерархическую шкалу. Кроме того, в геологических разрезах наблюдаются временные уровни появления, вымирания или массового развития отдельных видов организмов, так называемые «датировочные уровни» (от datum level – уровень отсчета). Они отражают минимальные эволюционные изменения.

Многочисленными исследованиями последних десятилетий показано, что великие массовые вымирания происходили, когда на фоне подходящей палеогеографической ситуации (взаиморасположения материков и океанов) имели место мощные вулканические извержения, которые в том же или близком временном интервале сочетались с бомбардировкой Земли крупными астероидами или кометами (импакт-событиями) (Бараш, 2013, 2015).

В результате гигантских базальтовых излияний, которые создавали обширные и мощные толщи траппов, происходили губительные для биоты изменения среды. Так, в конце пермского периода, около 250 млн л.н., произошло извержение сибирских траппов – чередующихся пластов базальтов, вулканических пеплов, иногда с прослойками морских и наземных осадков. При извержении до 4×10^6 км³ вулканического материала в течение короткого интервала времени (около 0.6 млн л.) большие количества CO₂, SO₂, фтора и хлора должны были выделиться достаточно быстро для разрушения систем атмосферы и биосферы. Выделение вело к глобальному потеплению, SO₂ и сульфатные аэрозоли – к глобальному похолоданию. Извержения вызывали «вулканическую зиму» с глобальным похолоданием из-за аэрозольного экранирования атмосферы частицами пепла, выделением газов и выпадением кислотных дождей, вредных для растений. После главного излияния базальтов следовало «вулканическое лето», задерживая восстановление биоразнообразия и усиливая стратификацию океана. Разложение газогидратов вело к выделению в атмосферу огромных количеств CO₂ и метана, и возникновению очень сильного губительного парникового эффекта. Быстрое глобальное потепление вызвало вредные для биосферы изменения: ослабление апвеллингов, стагнацию океана, падение продуктивности. Этот и другие этапы мощного вулканизма определялись движениями мантийных плюмов, которые инициируются у границы внешнего ядра и мантии и являются элементом динамики внутренних геосфер (рис.1).

Пермские изменения систем Земли начались около 265 млн л.н., когда после 50 млн л. стабильности геомагнитного поля (суперхрон) имело место иллаварское событие изменения полярности (Isozaki, 2009). После него начался длительный период частых изменений геомагнитного поля. Это событие, обусловленное изменениями состояния ядра и мантии Земли, через 5 млн л. проявилось на поверхности Земли серией событий, перечисленных выше.

Интервалы великих массовых вымираний, как правило, характеризуются также импакт-событиями. Так, в конце перми осадки разных регионов содержат свидетельства падения астероидов. Найдены и реальные крупные кратеры: структура Беду диаметром до 200 км на северо-западной материковой окраине Австралии, кратер Арагуайна (Araguainha) диаметром 40 км в Бразилии и др. В Антарктиде на Земле Уилкса по геофизическим данным под толщей льда обнаружен кратер

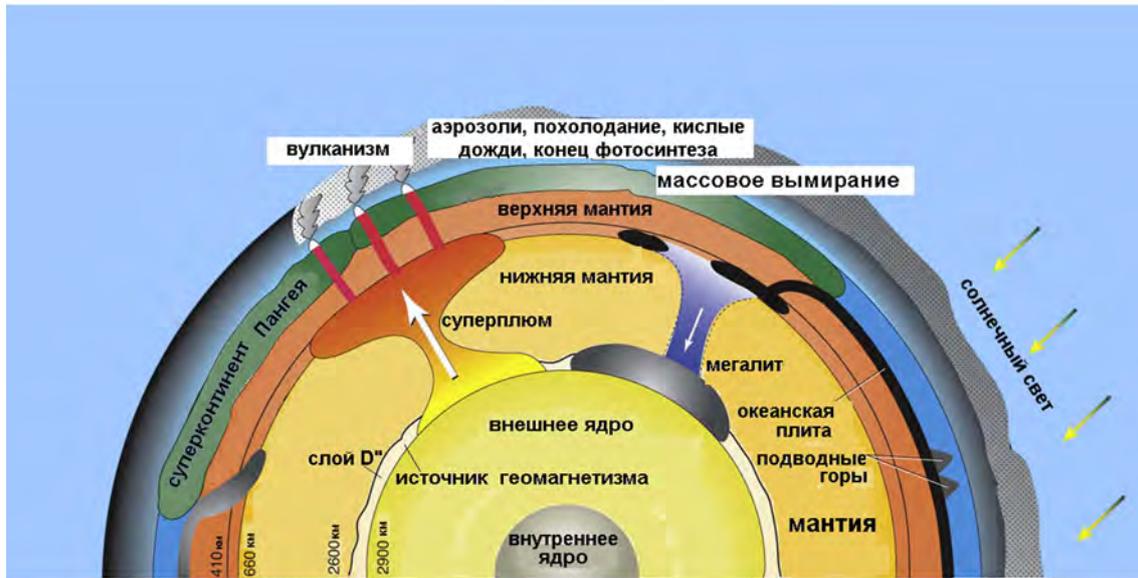


Рис. 1. Условия массового вымирания («вулканической зимы») в конце перми в результате вулканизма (по Isozaki, 2009), с изменениями).

диаметром около 500 км, отражающий, возможно, крупнейшее импакт-событие в фанерозое (Бараш, 2012).

Удары крупных астероидов, тем более нескольких, произошедших в пределах узкого интервала времени, должны были оказать губительное воздействие на морские и наземные организмы. Последствия импакт-событий сходны с последствиями вулканизма. Происходило понижение освещенности, изменение температуры, кислотные дожди, бушевали пожары. Глобальное распространение облаков пыли, состоящей из частиц пород земной коры, выброшенных из кратера, и материала космического тела, снижало фотосинтез и нарушало всю пищевую цепь. Эффект должен был усиливаться пожарами. При падении астероида в океан выброс в атмосферу водяного пара должен был вызвать парниковый эффект. Удар астероида по карбонатным породам с большим содержанием CaCO_3 и CaSO_4 увеличивал содержание в атмосфере CO_2 и сернокислых аэрозолей. Это должно было приводить к выпадению кислотных осадков и повышению температуры на несколько градусов.

Не исключена косвенная связь крупных импакт-событий с геомагнетизмом (Muller, Morris, 1986). Импакт вызывает похолодание. В связи с перемещением тропических вод океана в полярные ледниковые щиты понижается уровень моря. Это приводит к более быстрому вращению коры и мантии. Сдвиг скорости в жидком ядре разрушает конвективные ячейки, с которыми связано «электромагнитное динамо» и понижает дипольный момент почти до нулевого значения.

Естественно, кроме упомянутых катастрофических изменений условий среды, происходили изменения других факторов: уровня моря, контуров морских бассейнов, климата, химического состава воды и атмосферы, температуры и гидрологической структуры вод океана и др., которые составляют последовательность соподчиненных явлений. Менее значительные изменения условий среды вызывали меньшие колебания биоразнообразия и количества организмов.

Однако возникновение и развитие жизни на Земле происходили в условиях существования магнитного поля. Оно экранирует Землю от смертоносных космических лучей, от «солнечного ветра», обеспечивает сохранение атмосферы. (Предполагается, что 3.5–4.0 млрд. лет назад объем атмосферы Марса был близок к объему атмосферы Земли, но, по данным изучения изотопов аргона, под действием «солнечного ветра» Марс потерял 80–90% своей атмосферы из-за слабого магнитного поля (исследования Марса зондом НАСА «Мэйвен» (Maven) и марсоходом «Кьюриосити» (NASA, 2017). Геомагнитное поле генерируется во внутренних сферах Земли. По широко принятой так называемой «динамо-модели», дипольный источник геомагнитного поля находится у границы ядро-мантия (слой D).

Состояние поля подвержено изменениям – колебаниям напряженности, перемещениям полюсов, которые фиксируются остаточной намагниченностью минералов в осадках океанов, морей, озер, в лессовых толщах, в лавовых потоках, а также другими признаками. Полюса перемещаются вплоть до смены знака на противоположный (инверсии), когда образуются относительно продолжительные интервалы преимущественно прямой (современной) или обратной полярности (хроны, субхроны). Устойчивые интервалы положительной или отрицательной полярности длительностью в десятки миллионов лет определяются как суперхроны. Кратковременные (обычно 5–10 тыс. лет) отклонения магнитных полюсов от географических на угол больше 40° определяются как экскурсы. Полагают, что во время инверсий и экскурсов происходит существенное уменьшение средней интенсивности дипольного поля до ~25% обычного значения, а в отдельных областях на поверхности Земли оно может вообще временно исчезать (Кузнецов, 2008). Уменьшение интенсивности поля должно вызывать усиление облучения поверхности Земли космическими лучами и способствовать утечке кислорода в космическое пространство. Индикатором такого процесса является бериллий. Поток космических лучей взаимодействует с верхними слоями атмосферы. При бомбардировке атомов азота космическими лучами образуется ^{10}Be . Его концентрация связана с интенсивностью космического облучения. При уменьшении напряженности геомагнитного поля космическое облучение Земли усиливается, концентрация бериллия в атмосфере возрастает, и наоборот. Поскольку бериллий накапливается в осадках, материковых льдах, костях животных, эти колебания фиксируются и могут быть реконструированы. Увеличение концентрации изотопа ^{10}Be в осадочных породах совпадает по времени с интервалами экскурсов и инверсий (Aldahan, Possnert, 2003). Экскурсы коррелируются с другими параметрами условий среды, которые оказывали влияние на эволюционные изменения. Обнаружена корреляция изменений климата и экскурсов геомагнитного поля. Связь между оледенениями и инверсиями проявляется при сравнении изотопно-кислородной кривой, отражающей в основном колебания объема материковых льдов, с событиями изменений геомагнитного поля.

Связаны ли эти изменения с процессами эволюции, с вымираниями и возникновениями таксонов, с колебаниями биоразнообразия, с биотическими катастрофами – великими массовыми вымираниями? Усиление облучения поверхности Земли

космическими лучами может способствовать мутациям и активизировать эволюцию организмов. Однако вопрос о связи изменений геомагнитного поля с эволюцией организмов является дискуссионным. Возможность влияния космического излучения на генетический материал была подтверждена экспериментально (Белишева, 2002). Исследование проводилось во время интенсивной активности вспышек на Солнце в октябре 1989 г. в приполярной области, где геомагнитное поле мало противодействует проникновению излучения. На клеточных структурах была обнаружена корреляция массового слияния клеток с вариациями активности облучения, что, по мнению авторов, показывает процессы реорганизации генетического материала, которые могут приводить к эволюционным изменениям.

Сравнение обширных данных о стратиграфических подразделениях – биозонах, веках и максимумах массовых вымираний биоты в фанерозое с хронологией геомагнитных инверсий привело авторов (Печерский и др., 2010, 2012) к выводу, что непосредственная связь между ними отсутствует, что эволюционное развитие жизни на Земле не зависит от изменений геомагнитного поля. Однако была подтверждена корреляция процессов на поверхности Земли, в частности изменений органического мира с процессами на границе ядро/мантия. Эта связь не причинно-следственная, а является результатом действия общего для этих процессов механизма в глубинных геосферах. Авторы полагают, что согласованность смен геомагнитной полярности и границ биозон логично связать с длительными изменениями скорости вращения мантии Земли и угла наклона оси вращения относительно внутреннего ядра

Однако имеются основания для противоположной точки зрения. Великие массовые вымирания морской биоты, когда биоразнообразие сокращалось на 70–95%, показывают сложные связи с изменениями геомагнитного поля. Великим вымираниям фанерозоя предшествуют три геомагнитных суперхрона. Меловой суперхрон положительной полярности (Cretaceous Long Normal Superchron) продолжительностью около 35 млн л. имел место перед мел-палеогеновым вымиранием. Пермский суперхрон обратной полярности (Permian Kiaman Long Reversed Superchron) продолжительностью около 50 млн л. предшествовал пермо-триасовой катастрофе. Ордовикский суперхрон обратной полярности (Ordovician Moyero Long Reversed Superchron) продолжительностью около 30 млн л. был перед великим вымиранием в конце ордовика.

Великие массовые вымирания ассоциируются с крупнейшими трапповыми излияниями базальтов. Вымирания происходили через 10–20 млн л. после суперхронов (Courtillot, Olson, 2007). Авторы предполагают, что на оба эти явления влияли изменения конвекции мантийного вещества, которые индуцировали пространственно-временные вариации теплового потока на границе ядра и мантии. Частота инверсий геомагнитной полярности была высокой при высоком тепловом потоке и низкой при пониженном. Термальная нестабильность мантии повышает тепловой поток, приводит к завершению магнитных суперхронов и генерирует мантийные плюмы. Поднимающиеся плюмы вызывают на поверхности Земли трапповые излияния базальтов, климатические изменения и вымирания биоты.

Какова же причина корреляции изменений геомагнитного поля и активности вулканизма? Предполагается, что непосредственно над границей ядро/мантия на глубине 2600–2900 км располагается слой D. Из него поднимается мантийный суперплюм, который уравнивает по массе нисходящий холодный плюм или мегалит – погружающуюся океаническую плиту (Isozaki, 2009). Таким образом, согласно этим представлениям, движения в активном мантийном слое D, расположенном у границы ядро/мантия, инициируют как вулканизм, так и изменения геомагнитного поля. Проявления их на поверхности Земли могут не совпадать по времени, но важно подчеркнуть единый их источник и единую причину активизации.

Массовые вымирания коррелируются с увеличением частоты инверсий и с падением концентрации кислорода. Потеря кислорода земной атмосферой в интервалах частых и многократных инверсий было показана моделированием событий на рубеже триаса и юры, когда концентрация кислорода в атмосфере снизилась с 23% до 14% (Wei et al., 2014). Утечка кислорода была одним из существенных факторов вымираний. Такие интервалы повышенной частоты инверсий наступали после длительных суперхронов однонаправленного поля.

Так, пермский суперхрон обратной полярности завершился иллаварским событием прямой полярности и последовавшим периодом частых изменений геомагнитного поля. Резко снизилось содержание кислорода в атмосфере (рис. 2), на рубеже перми и триаса произошло наиболее катастрофическое великое массовое вымирание.

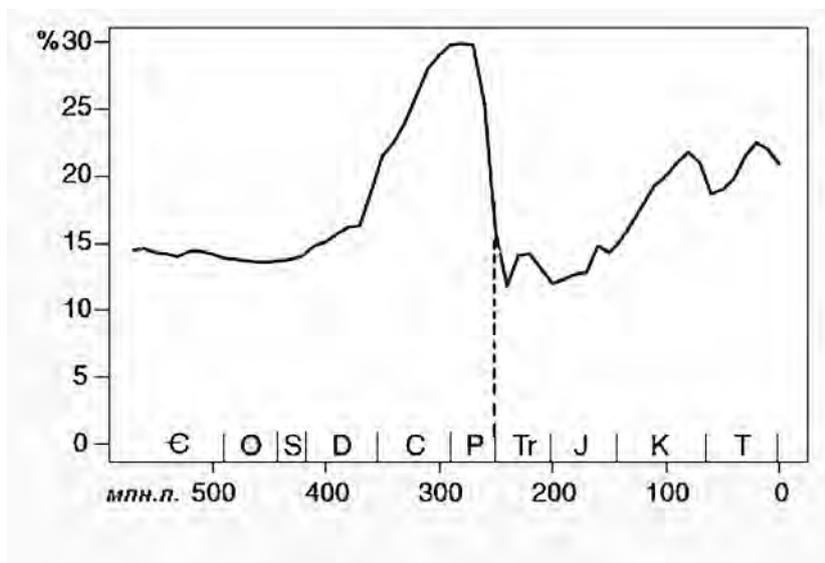


Рис. 2. Изменение концентрации O₂ (%) в атмосфере Земли в течение фанерозоя (по (Verger, 2002), с изменениями). На шкале времени расположены стандартные символы геологических периодов. Вертикальная штриховая линия на рубеже перми и триаса показывает резкое падение концентрации кислорода во время великого массового вымирания.

Связь небольших эволюционных изменений с изменениями геомагнитного поля была выявлена при исследовании распределения «датировочных уровней» в составе океанского микропланктона на протяжении 2 млн л. (Бараш, 1984) (рис. 3). В составе массовых групп микропланктона, скелетные остатки которых сохраняются в отложениях океана (фораминиферы, кокколитофориды, диатомеи, радиолярии), было выявлено более 140 датировочных уровней. Их количественное распределение на хронологической шкале с шагом 0,1 млн л. показывает связь с изменениями геомагнитного поля. Три максимума соответствуют началу интервалов прямой полярности (Олдувей – 23 уровня, Харамильо – 12 уровней и Брюнес – 17 уровней). После максимума, приуроченного к началу Олдувея, количество датировочных уровней последовательно сокращается и в середине периода обратной полярности между субхронами Олдувей и Харамильо (1.4–1.2 млн л.н.) опускается до минимума (2 уровня). Другой минимум (2 уровня) отмечается также в период обратной полярности (0.9–0.8 млн л.н.) между субхроном Харамильо и хроном Брюнес.

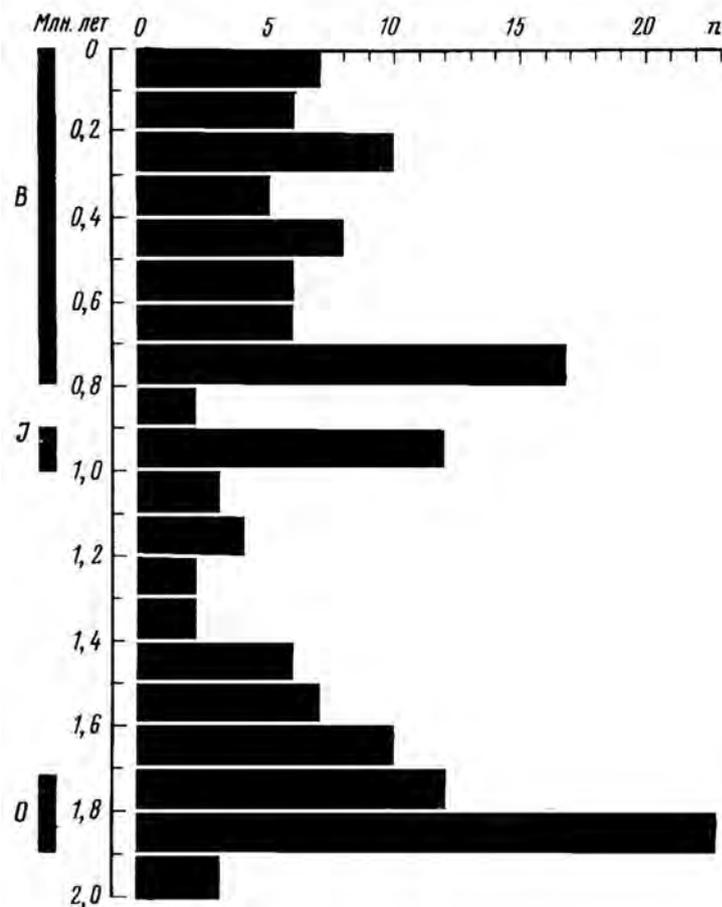


Рис. 3. Количественное распределение датировочных уровней океанского микропланктона в течение 2.0 млн л. (по (Бараш и др., 1984), упрощено): п – число уровней; интервалы положительной геомагнитной полярности: В – Брюнес, J – Харамильо, O – Олдувей.

Заключение. Таким образом, влияние изменений геомагнитного поля на эволюцию организмов является многосторонним. Понижение напряженности поля увеличивает космическое облучение поверхности Земли, что может активизировать мутагенез, ведущий к видообразованию. Кроме того, поскольку выявляется корреляция напряженности геомагнитного поля с составом атмосферы, температурой, климатом, вулканизмом и многими другими условиями среды, можно предположить его воздействие на эволюционные процессы в составе общего комплекса влияющих факторов.

Причиной земных изменений является, вероятно, возбуждение мантийной активности при периодических пересечениях Солнечной системой плоскости Млечного пути (Gillman, Erenler, 2008; Rampino, 2015). Пересечения Землей скоплений темной материи в плоскости Галактики могут приводить к нагреву внутренних сфер планеты. Источник геомагнитного поля находится у границы ядро-мантия, т.е. в той же области, где располагаются источники плюмообразования и, соответственно, вулканизма. Периодическая активизация обоих процессов, согласно этим представлениям, вызывается единой внешней причиной. Поэтому корреляция изменений геомагнитного поля и активности вулканизма представляется закономерной.



Рис. 4. Взаимосвязь космических и земных процессов, влияющих на биоразнообразие и вызывающих массовые вымирания.

Активизация импакт-событий в близких временных интервалах может быть объяснена воздействием тех же внешних по отношению к Солнечной системе факторов – галактических приливных сил или потоков темной материи при вертикальных осцилляциях Солнечной системы и пересечениях плоскости Млечного пути. При этом могут изменяться орбиты комет и астероидов, составляющих облако Оорта, что может приводить к их падению на Землю и оказывать вредное влияние на биоразнообразие.

Таким образом, общая первопричина, которая находится вне пределов Солнечной системы, объясняет корреляцию изменений геомагнитного поля с активизацией импакт-событий, вулканизмом и тектоническими движениями, которые в совокупности вызывают изменения условий среды и приводят к массовым вымираниям. Изменения геомагнитного поля являются элементами сложной системы изменений среды (вулканизма, климата, последствий импакт-событий и др.), которые приводят к вымираниям и стимулируют эволюцию (рис. 4).

Работа выполнена в рамках государственного задания ФАНО России (темы № 0149-2014-0027 и № 0149-2018-0016) при частичной поддержке программы № 0149-2015-0042.

Литература

- Бараш М.С. Массовая гибель организмов океана на рубеже палеозоя и мезозоя: следствия и причины // *Океанология*. 2012. Т. 52. № 2. С. 258–269.
- Бараш М.С. Взаимодействие причин массовых вымираний биоты в фанерозое // *Океанология*. 2013. Т. 53. № 6. С. 825–837.
- Бараш М.С. Причины катастрофических массовых вымираний в фанерозое. Saarbrücken: Lambert Academic Publishing, 2015. 143 с.
- Бараш М.С., Дмитренко О.Б., Казарина Г.Х., Кругликова С.Б., Мухина В.В. Стратиграфия четвертичных отложений океанов // 27 Междунар. геол. конгресс. Четвертичная геол. и геоморфология. Секция С.03: Доклады. Т. 3. М.: Наука, 1984. С. 36–48.
- Белишева Н.К., Гак Е.З. Значение вариаций космических лучей для функционирования биосистем // Сб. науч. докл. VII Межд. конф. Экология и развитие севера-запада России. СПб., 2002. С. 118–129.
- Кузнецов В.В. Введение в физику горячей Земли. Петропавловск-Камчатский: КамГУ им. Беринга, 2008. 336 с.
- Печерский Д.М., Гурарий Г.З., Щербаков В.П. Геомагнитное поле и эволюция жизни на Земле // *Земля и Вселенная*. 2010. № 4. С. 50–60.
- Печерский Д.М., Гурарий Г.З., Щербаков В.П. К вопросу о согласованности изменений биоты и полярности геомагнитного поля в фанерозое // *Физика Земли*. 2012. № 1. С. 44–62.
- Aldahan A., Possnert G. Geomagnetic and climatic variability reflected by ^{10}Be during the Quaternary and late Pliocene // *Geophys.* 2003. Vol. 30. doi: 10.1029/2002GL016077.
- Berner R.A. Examination of hypotheses for the Permo-Triassic boundary extinction by carbon cycle modeling // *PNAS*. 2002. Vol. 99. No. 7. P. 4172–4177. doi:10.1073/pnas.032095199
- Courtillot V., Olson P. Mantle plumes link magnetic superchrons to Phanerozoic mass depletion events // *Earth and Planet. Sci. Lett.* 2007. Vol. 260. P. 495–504.
- Gillman M., Erenler H. The galactic cycle of extinction // *Intern. J. Astrobiology*. 2008. Vol. 7. No. 1. P. 17–26.

- Isozaki Y. Integrated «plume winter» scenario for the double-phased extinction during the Paleozoic-Mesozoic transition: The G-LB and P-TB events from a Panthalassan perspective // *Jour. Asian Earth Sc.* 2009. Vol. 36. P. 459–480.
- Muller R.A., Morris D.E. Geomagnetic reversals from impacts on the Earth // *Geophysical Res. Lett.* 1986. Vol. 13. N 11. P. 1177–1180.
- NASA. March 30, 2017. Release 17-033. NASA's MAVEN Reveals Most of Mars' Atmosphere Was Lost to Space. <https://www.nasa.gov/press-release/nasas-maven-reveals-most-of-mars-atmosphere-was-lost-to-space>
- Rampino M.R. Disc dark matter in the Galaxy and potential cycles of extraterrestrial impacts, mass extinctions and geological events // *Monthly Notices of the Royal Astron. Soc.* 2015. Vol. 448. P. 1816–1820.
- Wei Y., Pu Z., Zong Q., Wan W., Ren Z., Fraenz M., Dubinin E., Tian F., Shi Q., Fu S., Hong M. Oxygen escape from the Earth during geomagnetic reversals: Implications to mass extinction // *Earth and Planet. Sci. Lett.* 2014. Vol. 394. P. 94–98.

GEOMAGNETISM AND BIODIVERSITY IN THE PHANEROZOIC

M.S. Barash

*Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences,
36 Nahimovskiy prospekt, Moscow, 117997, Russia,
e-mail: barashms@yandex.ru*

Submitted 13.02.2018, accepted 26.04.2018

The influence of changes in the geomagnetic field on the evolution of organisms is multifaceted. Lowering of the field strength increases cosmic irradiation of the Earth's surface, which can activate mutagenesis leading to speciation. Since the correlation of the geomagnetic field intensity with the composition of the atmosphere, temperature, climate, volcanism and other environmental conditions is revealed, its effect on the evolutionary processes within the general complex of influencing factors is assumed. The source of the geomagnetic field is at the core-mantle boundary, i.e. in the same area where sources of plume formation and, accordingly, of volcanism are located. The activation of impact events in close time intervals can be explained by the influence of the same factors external to the solar system, such as the galactic tidal forces or the fluxes of dark matter when the solar system crosses the plane of the Milky Way. Mass extinctions are caused by the combined effects of volcanism, impact events and geomagnetic changes.

Keywords: geomagnetism, evolution, impact events, volcanism, mass extinctions

References

- Aldahan A. and Possnert G. Geomagnetic and climatic variability reflected by ^{10}Be during the Quaternary and late Pliocene. *Geophys. Res. Lett.*, 2003, Vol. 30, No. 6.
- Barash M.S. Massovaya gibel' organizmov okeana na rubezhe paleozoya i mezozoya: sledstviya i prichiny (Mass Extinction of Ocean Organisms at the Paleozoic–Mesozoic boundary: Effects and Causes). *Oceanology*, 2012, Vol. 52, No. 2, pp. 238–248.
- Barash M.S. Vzaimodeistvie prichin massovykh vymiraniy bioty v fanerozoe (Interaction of the Reasons for the Mass Biota Extinctions in the Phanerozoic). *Oceanology*, 2013, Vol. 53, No. 6, pp. 739–749.

- Barash M.S.* Prichiny katastroficheskikh massovykh vymiraniy v fanerozoe (The reasons of catastrophic mass extinctions in the Phanerozoic). Saarbrücken: Lambert Academic Publishing, 2015, 143 p.
- Barash M.S., Dmitrenko O.B., Kazarina G.Kh., Kruglikova S.B., and Mukhina V.V.* Stratigrafiya chetvertichnykh otlozheniy okeanov (Stratigraphy of Quaternary Oceanic deposits). Proceedings of 27 Mezhdunar. Geol. Kongress, Chetvertichnaya geol. i geomorfologiya, Sektsiya Sekciya 03, Doklady, Vol. 3, Moskva.: Nauka, 1984, pp. 36–48,
- Belisheva N.K. and Gak E.Z.* Znachenie variatsii kosmicheskikh luchei dlya funktsionirovaniya biosistem (Significance of cosmic rays variations for functioning of biosystems). *Sb. nauchnykh dokladov VII Mezhd. konf. «Ekologiya i razvitie Severo-Zapada Rossii»*, (Proceedings of VII Intern. Conf. «Ecology and development of the North-West of Russia», Reports), Sankt- Peterburg, 2002, pp. 118–129.
- Berner R.A.* Examination of hypotheses for the Permo–Triassic boundary extinction by carbon cycle modeling. *Proc. Nat. Acad. Sci.*, 2002, Vol. 99, No. 7, pp. 4172–4177.
- Courtillot V. and Olson P.* Mantle plumes link magnetic superchrons to Phanerozoic mass depletion events. *Earth and Planet. Sci. Lett.*, 2007, Vol. 260, pp. 495–504.
- Gillman M. and Erenler H.* The galactic cycle of extinction. *Intern. J. Astrobiology*, 2008, Vol. 7, No. 1, pp. 17–26.
- Isozaki Y.* Integrated «plume winter» scenario for the double-phased extinction during the Paleozoic-Mesozoic transition: The G-LB and P-TB events from a Panthalassan perspective. *Jour. Asian Earth Sc.*, 2009, Vol. 36, pp. 459–480.
- Kuznetsov V.V.* *Vvedenie v fiziku goryachei Zemli* (Introduction to physics of hot Earth). Petropavlovsk-Kamchatskii: KamGU im. Beringa, 2008, 336 p.
- Muller R.A. and Morris D.E.* Geomagnetic reversals from impacts on the Earth. *Geophys. Res. Lett.*, 1986, Vol. 13, No. 11, pp. 1177–1180.
- NASA. March 30, 2017. Release 17-033. NASA’s MAVEN Reveals Most of Mars’ Atmosphere Was Lost to Space, available at: <https://www.nasa.gov/press-release/nasas-maven-reveals-most-of-mars-atmosphere-was-lost-to-space>, last updated October 26, 2013; last accessed in October 2017.
- Pecherskii D.M., Gurariy G.Z., and Shcherbakov V.P.* Geomagnitnoe pole i evolyutsiya zhizni na Zemle (The geomagnetic field and evolution of life on Earth). *Zemlya i Vselennaya*, 2010, No. 4, pp. 50–60.
- Pecherskii D.M., Lyubushin A.A., and Sharonova Z.V.* K voprosu o soglasovannosti izmenenii bioty i polyarnosti geomagnitnogo polya v fanerozoe (To a question of coherence of biota changes and polarity of the geomagnetic field in the Phanerozoic). *Fizika Zemli*, 2012, No. 1. pp. 44–62.
- Rampino M.R.* Disc dark matter in the Galaxy and potential cycles of extraterrestrial impacts, mass extinctions and geological events. *Monthly Notices of the Royal Astron. Soc.*, 2015, Vol. 448, No. 2, pp. 1816–1820.
- Wei Y., Pu Z., Zong Q., Wan W., Ren Z., Fraenz M., Dubinin E., Tian F., Shi Q., Fu S., and Hong M.* Oxygen escape from the Earth during geomagnetic reversals: Implications to mass extinction. *Earth and Planet. Sci. Lett.*, 2014, Vol. 394, pp. 94–98.

НЕОТЕКТОНИЧЕСКИЙ ПРОГНОЗ РАЗВИТИЯ ВИСЛИНСКОЙ КОСЫ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ

Н.Н. Дунаев

*Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН,
117997, Москва, Нахимовский проспект, д. 36
e-mail: dunaev@ocean.ru*

Статья поступила в редакцию 25.03.2018, одобрена к печати 20.08.2018

Любое прогнозирование опирается на принятые исходные позиции. В настоящее время применительно к береговым аккумулятивным формам сценарий их развития обычно базируется на представлениях о повышении уровня моря и запасов соответствующего рыхлого обломочного материала. Однако в региональных геосистемах существенным, а нередко и определяющим фактором, являются неотектонические условия. Изучение неотектоники любой территории более продуктивно, если рассматривать ее местоположение с учетом исторической эволюции и общей геолого-географической обстановки соответствующего региона. Это в полной мере относится к району расположения Вислинской косы. В геотектоническом отношении он приурочен к юго-восточному крылу Гданьской впадины, осложняющей крупную гемисинеклизу, в ложе которой формировалась акватория Балтийского моря по мере отступления последней стадии валдайского оледенения и последующего соединения с Мировым океаном. В ходе трансгрессии формировалась цепочка вдольбереговых баров, которые, соединившись, дали начало Вислинской пересыпи.

В результате выполненных исследований составлена картографическая модель неотектоники исследуемого района, где показана блоковая структура, в пределах которой произошло формирование Вислинской косы. Предлагаемый прогноз ее развития основан на анализе структурно-тектонической обстановки и голоценовой кинематики уровня моря. Показано, что эвстагический фактор не окажет заметного влияния на эволюцию косы, по крайней мере, на инженерном (50–60 лет) масштабе времени. Каких-либо катастрофических изменений в развитии по природному сценарию приморской части данной аккумулятивной формы почти на всем ее протяжении за это время не предвидится, поскольку прибрежный морфогенез адаптировался к современной ситуации. Исключение составляет приканальная дистальная часть косы, где размыв берега может быть остановлен реализацией инженерных решений. В дальней перспективе можно ожидать распад Калининградского залива на ряд озер вследствие заполнения осадками и слабого тектонического поднятия территории. Оценивая природную обстановку района, можно сказать, что развитие Вислинской косы дает повод для беспокойства, но не для паники.

Ключевые слова: Балтийское море, Вислинская коса, побережье, неотектоника, прогноз

Введение

Изучение неотектоники любой территории малопродуктивно без рассмотрения ее местоположения в общей геолого-географической обстановке соответствующего региона, которая предопределяет своеобразную структуру

и локальные деформации конкретного геолого-геоморфологического объекта. Это обстоятельство предполагает определенный набор методических приемов для идентификации проявлений неотектоники и создания ее картографической модели. Последнее в полной мере касается крупных береговых аккумулятивных тел (форм), в ряду которых находится Вислинская коса, расположенная в пределах юго-восточного побережья Балтийского моря, исторически сформированная как типичная пересыпь. Такие формы могут находиться в одних или разных геотектонических условиях, располагаться в пределах одного или нескольких структурно-тектонических элементов (положительных и отрицательных, зон разломов, крыльев и замков складок, моноклиналей, флексур и др.) и соответственно быть подверженными похожему или разному воздействию экзогенных процессов, прежде всего ветро-волновых сопредельной морской акватории. При различии направленности, интенсивности и пространственного распределения вертикальных движений соответствующих участков земной коры разнообразие этого воздействия проявляется особенно наглядно. Поэтому, для обоснования прогноза их развития, неотектонические исследования должны сводиться прежде всего к построению структурной модели изучаемого района, чтобы представить картину тектонической организации геологического пространства (блоки, складки, разломы и др.) Без учета такого существенного фактора, определяющего наряду с другими палеогеографическую обстановку и эволюцию района, возможность объективного изучения динамики и обоснования прогноза развития расположенных в его пределах береговых аккумулятивных образований весьма ограничена.

Прибрежье Балтики привлекательно для развития российского и международного туризма, а также обладает большим рекреационным потенциалом, благоприятствующим, в частности, надлежащей организации пляжно-купального отдыха (Ермак, 2017). Работа в этом направлении требует проведения комплексных исследований, чтобы дать научно обоснованные прогнозы и рекомендации. В ряду таких исследований выявление неотектонической обстановки района как базиса, на котором протекают экзогенные морфолитодинамические процессы, приобретает одно из ведущих, если не первостепенное, значение.

В связи с изложенным кратко отметим некоторые характерные физико-географические, геолого-тектонические и палеогеографические особенности рассматриваемого объекта и сопредельной территории.

Краткая характеристика исследуемого района. Политико-географическое расположение Вислинской косы

Вислинская (Балтийская) коса, до 1946 г. Фрише-Нерунг, представляет собой аккумулятивный барьер морского происхождения, расположенный в юго-восточной части Балтийского моря, ограничивая с этого направления Гданьский залив и отделяя от него Вислинскую (Калининградскую) вдольбереговую полузакрытую (полуоткрытую) лагуну площадью 838 км² и средней глубиной около 3 м. Адми-

нистративно коса поделена между Польшей и Россией. Поэтому иногда польскую часть косы называют Вислинской, а российскую – Балтийской. Лагуну часто в литературе именуют либо одноименным заливом, либо польскую часть называют Вислинским заливом, а российскую площадью 472 км² – Калининградским заливом. Водный режим этого бассейна преимущественно определяется связью с акваторией Балтийского моря через Балтийский (Пиллаусский) канал и в меньшей степени зависит от речного стока (Навроцкая, Чубаренко, 2011). Канал заложен на месте Пиллаусского (первоначально Фрише Гафф) пролива, образовавшегося естественным путем в результате сильного шторма 10 сентября 1510 г., что было в шестой раз за историческое время. В 1815 г. был построен маяк Пиллау и пролив стал называться Пиллаусским. Ранее, в 1497 г., здесь был прорыт узкий мелкий канал, но стал судоходным лишь после этого шторма.

Считается, что корневая часть Вислинской косы приурочена к локальной возвышенности на правом берегу устья Смелой Вислы, где расположена польская деревня Микошево. Однако на самом деле она начинается ближе к г. Сопоту, изначально продолжаясь как пересыпь вплоть до г. Балтийска, находящегося уже в России. В связи со строительством Балтийского (Пиллаусского) канала, расположенный к северу от него фрагмент пересыпи представлен Пиллаусским полуостровом, а ее наибольшая южная часть функционирует как коса.

Геотектоническая позиция и геологическое строение района

В геотектоническом отношении район расположен на юго-восточном крыле Гданьской впадины, осложняющей Балтийскую (Прибалтийскую, Балтийско-Белорусскую) гемисинеклизу. Последняя имеет вид крупного структурного залива, открытого на юго-западе и центриклинально замыкающегося на северо-востоке. Будучи частью Русской плиты Восточно-Европейской платформы (ВЕП), данная мегаформа сопрягается на западе с Балтийским щитом этой платформы. Формирование гемисинеклизы началось в протерозое и завершилось в среднем девоне. Согласно одной из версий, она возникла в результате субдукции океанической коры палеоокеана Япетус под западную окраину ВЕП. Субдукция, а затем и столкновение древних Восточно-Европейского и Северо-Американского континентов были причинами не только каледонской орогении, но и привели к формированию ряда прогибов, в том числе и гемисинеклизы, образованию разломов и локальных поднятий. Приуроченная к гемисинеклизе впадина Балтийского моря заполнялась осадочным чехлом в условиях открытости или закрытости по отношению к Мировому океану. В геологическом строении перекрывающего кристаллический фундамент (архейские гнейсы, гранито-гнейсы, кристаллические сланцы) чехла здесь участвуют осадочные отложения палеозоя–кайнозоя, отражающие морские и субаэральные обстановки ее истории, зафиксированные в структурно-формационных комплексах. В геологическом разрезе прибрежной части Юго-Восточной Балтики обнаружены терригенно-морские и карбонатно-морские отложения мелового воз-

раста, а также нерасчлененные, преимущественно континентальные, отложения палеогена и неогена мощностью до первых десятков метров. В толще этих третичных отложений доминируют континентальные фации с широким развитием озерно-болотных разновидностей. Отдельные песчанистые и глинистые горизонты содержат включения янтаря, в том числе промышленного содержания. Выше практически повсеместно распространены четвертичные отложения южно-литовского ледникового и межледникового комплексов (голоцен принимается как межледниковье) мощностью до нескольких десятков метров (Геологическая..., 1984; Афанасьев и др., 1979; Геология..., 1991; Харин, 1993; Харин, 2017). Краевые морены отступавшего поздневалдайского ледника выявлены в пределах акватории и сопредельной суши. На подводном склоне открытого моря прослеживаются пески, которые мористее сменяются илами (Свиридов, Емельянов, 2000). В Вислинском (Калининградском) заливе преобладают илы и пески (Zachowicz, Uscinowicz, 1997).

Голоценовая эвстатика Балтийского моря как фактор образования крупных береговых аккумулятивных форм

Балтийское, самое пресноводное, море является молодой водной геосистемой. Его акватория формировалась в голоцене по мере отступления последней стадии валдайского оледенения позднего неоплейстоцена и последующего соединения с Мировым океаном. В целом ее облик определился в последние 2.5 тыс. лет, а границы и рельеф дна претерпевают разного масштаба изменения и в настоящее время. Отмечаемую дифференцированную проградацию береговой линии на сушу большинство исследователей региона увязывают с эвстатическим повышением уровня Мирового океана, инициированного наступившим, по их мнению, глобальным потеплением климата с конца XIX века. Эти представления разделяются далеко не всеми исследователями. И подобно тому, как формирование балтийской акватории и ее кинематика в этом процессе оцениваются по-разному (рис. 1), современное состояние ее уровня также дискуссионно.

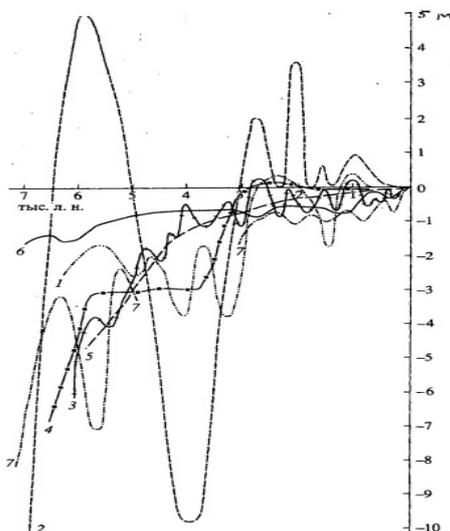


Рис. 1. Представления ряда исследователей о голоценовой трансгрессии Балтийского моря (Бадюкова и др., 2006): 1 – Кунскас, 1970; 2 – Жиндарев и др., 1979; 3 – Mörner, 1976; 4 – Mojski, 1988; 5 – Uscinowicz, 2003; 6 – Lampe et al., 2004; 7 – Kosciubowski, 1992.

Этому способствуют и наблюдения на гидрометеопостах. В частности, даже в период 1961–2003 гг., соответствующий климатической норме, принятой Всемирной метеорологической организацией в 2014 г., отмечается неоднозначность данных измерений на мало удаленных друг от друга гидрометеопостов Балтийска, Клайпеды и Пионерска (Навроцкая, Чубаренко, 2011).

Значительные пространства освобождающейся от ледника Балтийской впадины заполнялись отложениями дельт впадающих в нее речных долин. Накопление аллювиального и ледникового материала при активном волновом воздействии трансгрессирующего моря обусловило формирование и продвижение к берегу песчаных береговых валов и баров. Возникновение трансгрессивных баров у края дельтовой суши, где больше всего осадочного материала, послужило началом образования и весьма крупных аккумулятивных форм, развитие которых унаследовали, в частности, современные Куршская, Хельская и Вислинская косы. Сформированные типы морских берегов различаются в зависимости от состава и условий залегания горных пород, слагающих морское дно и сопредельную сушу, новейшей тектоники побережья, а также от особенностей волновых процессов, но доминирующими являются абразионно-аккумулятивные берега.

Строение и формирование Вислинской косы

Исследования геолого-геоморфологического строения косы позволили сделать вывод о том, что ее тело, за исключением пляжей, низкой (1–1,5 м) призаливной террасы и относительно поднятого (2–2,5 м) останца морены в районе м. Высокий, в значительной степени состоит из переработанных ветром морских песков, образующих несколько генераций форм и прослеживающихся на 1–2 м ниже современного уреза (Kobelynskaia et al., 2009). Дюнный микрорельеф отличается большим разнообразием. Вдоль уреза моря на всем протяжении косы наблюдается песчаный пляж средней ширины 20–25 м, максимальной 40–50 м в средней части косы и 8 м на севере. Поверхность пляжа осложнена небольшими валами. Береговая линия фестончатая с расстояниями между мысами фестонов 100–200 м (Бобыкина, Кобелянская, 2012). Непосредственно вдоль призаливных берегов в пределах косы эпизодически отмечаются молодые террасы примерно одинаковой высоты, не превышающей 1,5 м, и неширокие пляжи. В настоящее время эти террасы освоены растительностью, на многих участках они размываются, о чем свидетельствуют невысокие уступы размыва. Повсеместное присутствие фрагментов этих террас указывает на незначительное (около 0,5 м) превышение уровня моря в недалеком прошлом, либо на неотектоническое поднятие. Следует также иметь в виду, что Вислинский залив подвержен нагонам с амплитудой более 1 м. Поэтому некоторые небольшой площади террасовидные эфемерные аккумулятивные формы могли образоваться и при современном уровне Балтийского моря.

По результатам работ польских исследователей выявилось несколько генераций дюн разного возраста и морфологии (Mojski, 1988). Самые древние из них – это отдельные относительно высокие (до 10 м) дюны, наиболее удаленные от

современной береговой линии. По направлению к морю прослеживаются низкие гряды «коричневых дюн» с хорошо развитой ожелезненной подзолистой почвой, возраст которой составляет 1210±60 лет. Они удалены от современной береговой линии на расстояние около 2 км и имеют субширотное простирание. Их возраст оценивается в 4300–4500 лет и они расположены на древней регрессивной поверхности пальве, являющейся в своей основе регрессивной террасой. Следующая генерация дюн – «желтые дюны» более 30 м высоты, с ориентировкой 75–85°, глубокими котловинами выдувания и с плохо развитой почвой.

Их возраст определяется в 2.2–1.8 тыс. лет. Наиболее молодая эоловая генерация – современные авандюна и дюнный вал. Это «белые дюны», почти лишенные почвенного покрова и ориентированные вдоль современной береговой линии. На российской территории Вислинской косы наиболее древние и относительно высокие дюны первой генерации, а также низкие гряды «коричневых» дюн отсутствуют, что, по-видимому, может свидетельствовать о более позднем формировании этой части косы.

Как единое аккумулятивное тело Вислинская морфоскульптура образовалась в историческое время в результате соединения нескольких островных баров, которые еще в XII в. были автономны. Изначальные ядра рассматриваемой аккумулятивной формы заложились в ходе начавшейся примерно 8 тысяч лет назад литориновой фазы голоценовой трансгрессии в виде подводных валов, постепенно смещавшихся в сторону суши в силу специфики прибрежной гидродинамики морской акватории. При определенных условиях наиболее крупные из них были преобразованы в бары (Бадюкова и др., 2017). Надо полагать, что последние зарождались в результате поперечного по отношению к берегу перемещения наносов в приустьевых участках с их запасами рыхлых отложений, а также и на подводном продолжении сnivelированных морской абразией низких водоразделов. Слагающий их аллювиально-моренный материал позволял быстро формировать профиль равновесия, смещавшийся в сторону суши параллельно самому себе по мере продвижения морской трансгрессии. Со временем в морской береговой зоне наряду с поперечным перемещением наносов возникло и продольное их перемещение. Последнее привело к соединению баров в единую пересыпь, которая стала развиваться по своим закономерностям, включая активное проявление эоловых процессов. Лишь расположенный в северной части пересыпи приустьевой участок р. Преголя оказался наименее устойчивым к морскому ветро-волновому воздействию, и время от времени здесь образовывался проход в отчлененную пересыпью Вислинскую лагуну. К настоящему времени установлено, что морской северный берег косы на протяжении 3–5 км отступает со скоростью до 2–4 м/г., а южнее берег в целом стабильный. Прилагунный (призаливный) берег характеризуется участками размыва (Болдырев, Рябкова, 2001) и отступанием со скоростью от 0.5–0.6 до 2 м/г. (Есюкова, 2013)

Неотектоника района Вислинской косы Проявление неотектоники в береговых процессах

Новейшая тектоника акцентирует исходные и создает новые неровности земной поверхности, контролируя тем самым специфику экзогенных морфо- и литодинамических процессов. Как следствие, она влияет на особенности развития

денудационного и аккумулятивного рельефа, транзита осадочного материала, формирования литологических разновидностей, мощностей и механических свойств отложений и др. Один из главных аспектов новейшей тектоники проявляется в создании исходных уклонов земной поверхности. Последние, в частности, предопределяют развитие береговой зоны по аккумулятивному или абразионному сценарию. Известно, например, что пляжеобразующий материал при поперечном к береговой линии его перемещения с подводного берегового склона (ПБС) подается к урезу воды при уклонах дна в тангенсах угла 0.002–0.01. При меньших уклонах ПБС и сопредельной суши происходит ее пассивное затопление, а при больших проявляются абразионные процессы.

Оптимальными уклонами подводного берегового склона, определяющими спокойное состояние прибрежной обстановки, можно считать величины в пределах 0.001–0.005. Литологические особенности, как и климат, в большей мере влияют на скорость береговых процессов, не будучи способными радикально изменить их направленность.

Можно подчеркнуть, что в условиях береговой зоны моря бывают природные ситуации, когда уклону дна достаточно измениться всего на 0.001 (в tg), чтобы аккумулятивный сценарий ее развития сменился абразионным или наоборот. А такое изменение может случиться уже завтра, поскольку до тех пор, пока в недрах Земли функционирует мощный тепловой котел, на ее поверхности нет и не будет тектонического покоя. Считается, что минимальный период перестройки глубинных процессов, инициирующих тектонические структурообразующие движения, составляет 10 тыс. лет (Грачев и др., 1990). Поэтому начало продолжающейся в настоящее время молодой тектонической фазы можно отнести к рубежу поздний неоплейстоцен–голоцен.

Важной особенностью новейших тектонических движений, в том числе и современных, является тот факт, что во временном их проявлении они характеризуются унаследованностью по знаку, а часто и по скорости (Калашникова, Магницкий, 1978). При этом унаследованность тектонических процессов детерминирует унаследованность береговых процессов, что хорошо отражено в типах берегов (Зенкович, 1964, Лукьянова, Холодилин, 1975). Скорость вертикальных тектонических смещений (считается значительной уже при величине 1 мм/г.) является, в частности, решающей в формировании подтипов берегов, местоположения, размеров и конфигурации береговых аккумулятивных форм, что доказано на примере морских побережий (Никифоров, 1977). При тектоническом опускании берегов усиливается их разрушение, которое тем сильнее, чем больше скорость опускания. Поднятие берега часто инициирует формирование и рост пересыпей, примкнувших аккумулятивных террас.

Какой-либо участок береговой зоны претерпевает существенные изменения и тогда, когда его береговая линия выходит из области влияния конкретного выраженного на земной поверхности структурно-тектонического элемента. Это происходит также при переходе ее на другой участок того же самого элемента, например, с падающего в сторону акватории крыла антиклинальной складки на противоположное крыло. Поэтому наиболее информативной тектонической моделью при исследованиях

береговых зон является неотектоническая, построенная по структурному принципу, где показываются новообразованные и унаследованные дислокации, отражающиеся в современном ландшафте и экзодинамике земной поверхности. Такие модели позволят полнее представить картину тектонической организации геологического пространства (блоки, складки, разломы и др.), направленность и, где возможно, активность движения выделенных элементов тектонической структуры. В свете изложенного очевидно, что важность прогнозирования развития исследуемой территории побуждает усилить внимание к изучению ее неотектоники.

О проявлениях неотектоники с большой достоверностью можно судить на основе структурно-геоморфологического подхода, предусматривающего изучение особенностей в распределении различных форм и элементов рельефа земной поверхности (ее тверди), его морфографических и морфометрических свойств в пограничной области суша – море, специфики распространения, залегания и состава сопредельных отложений, характера прибрежных абразионно-аккумулятивных, эрозионно-денудационных и других процессов. Выполненная дифференциация территории по этим критериям является основой для составления картографических неотектонических моделей, в том числе по структурному принципу вне зависимости от приверженности исследователя к какой-либо геодинамической концепции. Следует особенно подчеркнуть, что по выражению одного из ведущих геоморфологов Ю.А. Мещерякова (1981) «...рельеф был и остается одним из основных путей выявления новейших движений». Методика структурно-геоморфологического анализа территорий разработана ведущими отечественными учеными: В.Е. Хаиным, Н.П. Костенко, В.П. Философовым, Л.Г. Никифоровым и др., и прошла успешную многолетнюю практическую апробацию (Применение..., 1970).

Неотектоническое строение и геодинамика района

Как отмечалось ранее, построение картографической модели неотектоники исследуемого района предусмотрено на основе результатов его структурно-геоморфологического анализа. Важнейшими критериями являются орографические и генетические особенности субаэрального и субаквального рельефа, простираения и типы морских берегов, очертание и сечение изогипс и изобат, ориентация и форма речных долин, как правило, берущих начало на положительных структурных формах и развивающихся по отрицательным неотектоническим структурным формам, либо по тектонически предопределенным линеаментам в виде ослабленных зон приповерхностных горизонтов земной коры, фиксирующих тектонические разломы.

Уже на мелкомасштабных физико-географических картах видна структурированность в размещении подходящих к морскому берегу мезоформ рельефа. Последняя проявляется в их согласованном северо-западном простираении и чередовании с севера на юг поднятий и впадин. По направлению с севера на юг наиболее крупными орографическими образованиями являются Самбийская возвышенность, акцентирующая Калининградский п-ов, Прегольская низменность, Вармийская и Эльблонгская возвышенности, разделенные Пасленским придолинным понижением рельефа, Вислинская низменность, уходящая в глубь суши к окрестностям города Быдгош.

В пределах Вислинской косы по направлению с севера на юг можно выделить 7 участков, различающихся по ширине, высоте рельефа, генерациям дюн, морфодинамике берегов и другой морфоскульптурной обстановкой. Причину рассмотренной фрагментации косы по простиранию с отчетливыми ее сужениями и расширениями (по четыре соответственно), а также батиметрическую дифференциацию залива следует искать в истории их происхождения и развития, степени участия сопутствующих факторов и агентов. Представляется логичным, что в условиях практически единого по геологическому строению субстрата района косы и залива заметная роль в их становлении и современном виде принадлежит дифференцированным вертикальным новейшим тектоническим движениям этого субстрата. Можно предполагать, что последние активизировались вследствие попеременного чередования ледниковой нагрузки/разгрузки. Наиболее выразительно такая активизация произошла в зонах тектонических разломов, сопровождаясь смещениями пониж тектонических блоков. В рельефе Вислинского залива также можно выделить три района: северный, расположенный севернее выступа коренного берега с одноименным прибрежным мысом, центральный до Браневского выступа коренного берега и южный. Каждый из них характеризуется своеобразной циркуляцией водной массы в зависимости от преобладающих ветров.

В результате выполненных исследований составлена картографическая модель неотектоники исследуемого района (рис. 2), которая показывает доминирующее развитие пликативных структурных форм в виде разного масштаба поднятий и прогибов. Дизъюнктивные нарушения в целом отличаются более скромным значением, но важным на локальном уровне. Последнее имеет прямое отношение к Вислинской косе, о чем будет сказано ниже.

По степени активности поднятий, определяемой по их высотным отметкам, строению и глубинам врезов речных долин, их можно ранжировать по нисходящему значению в порядке: **VI, VIII, II, IV** (рис. 2). Последнее, по-видимому, и самое молодое. В отношении разрывных нарушений можно сказать, что их протяженность соответствует верхнекоровому заложению. Скорее всего, они не столько новообразованные, сколько представляют обновленный вариант более древних, активизированных четвертичными ледниками и землетрясениями в соседних районах. В пространственном распределении этих нарушений заметно преобладание северо-западных простираний на юге района, которое, начиная с Прегольского прогиба и далее на Самбийском валу, сменяется преимущественно северо-восточным простиранием. Данное обстоятельство вероятно является следствием местной дифференциации направленных с запада глобальных сжимающих напряжений. Согласно представленной модели неотектоники, выявленные разломы северо-западного простирания осложняют восточный склон Гданьской впадины, создавая его слабо дифференцированную блоковую структуру. В пределах этой структуры произошло формирование Вислинской косы.

Сопоставление геоморфологических данных Вислинской косы с неотектонической моделью показывает, что наиболее широкие ее участки и развитие высоких дюн хорошо согласуется с относительно приподнятыми блоками. Возможно, данные участки были более благоприятны по исходным уклонам, предопределивших более раннее формирование нуклеарных фрагментов косы (изначальной пересыпи) и последующей аккумуляции поставляемых с подводного склона береговых наносов.

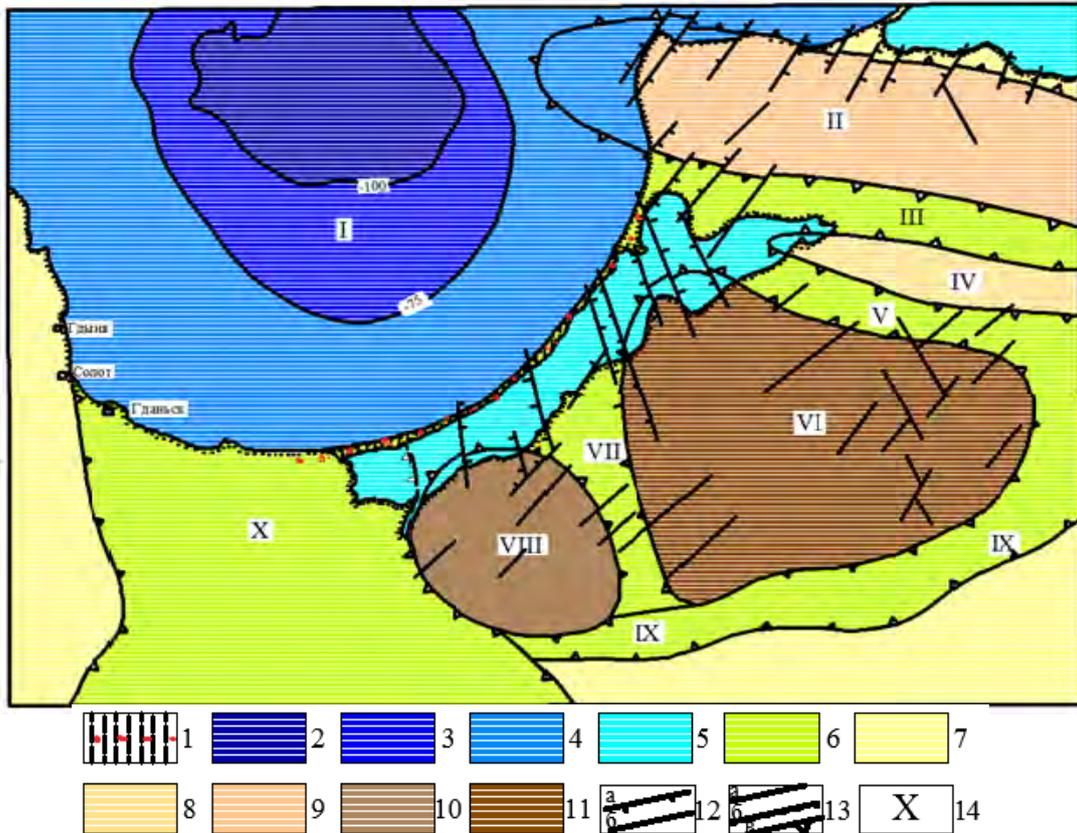


Рис. 2. Картографическая модель новейшей тектоники района Вислинской косы Балтийского моря

- 1 – Вислинская коса; 2–5 – Акватория, глубины: 2 – более 100 м, 3 – 100–75 м, 4 – 75–10 м, 5 – менее 10 м; 6–11 – Суша, высотный тренд: 0–250 м;
 12 – разрывные нарушения: а – со смещением, б – прочие;
 13 – границы: а – глубин акватории, б – суши, в – структурных форм;

14 – Структурные формы: I – Гданьская впадина;

Новейшие поднятия: II – Самбийский вал; IV – Междуреченский вал; VI – Вармийское брахиморфное; VIII – Эльблонгское изометричное.

Новейшие относительные опускания: Придолинные прогибы: III – Прегольский, V – Прохладненский, VII – Браневский, IX – Лава-Лынский, X – Вислинский.

В целом, новейшая геодинамика района характеризуется дифференцированным поднятием, в которое вовлекается и склон Гданьской впадины, где сформирована Вислинская пересыпь. В числе признаков поднятия можно отметить обрывистые берега врезающихся даже небольших водотоков, последовательное сокращение ширины придолинных прогибов вследствие роста сопредельных поднятий, на крыльях которых новейшие отложения омолаживаются вниз по склону, проявление разрывных нарушений в толще четвертичных отложений, наличие позднеголоценовых призаливных береговых террас и др. Можно предполагать, что в настоящее время скорость поднятия в районе косы примерно сопоставима (по крайней мере не меньше) со скоростью трансгрессии Балтийского моря в текущем климатическом цикле планеты. Именно этим обстоятельством можно объяснить стабильное состояние морского берега косы, поскольку в таких условиях глубина подводного берегового склона тоже остается практически неизменной, что позволяет ветро-волново-

му фактору мобилизовать имеющийся пока еще в достаточном количестве донный материал и перемещать его к берегу. Если бы скорость поднятия превышала темп трансгрессии, то морские волны теряли бы часть энергии дальше от берега, что могло привести к формированию новых подводных валов, которые необязательно сместились бы к современной береговой линии. При скорости поднятия меньшей темпа трансгрессии увеличится глубина подводного склона и морские волны с большей энергией будут подходить к берегу, обуславливая его размыв. На приканальном участке косы вследствие вмешательства антропогенного фактора главную роль играет прибрежная гидродинамика, которая в силу локальных условий предопределяет размыв косы.

Неотектонический прогноз развития Вислинской косы

Любое прогнозирование опирается на принятые исходные позиции. В нашем исследовании принимаем представленные выше структурно-тектоническую обстановку рассматриваемого региона, его общую тенденцию к дифференцированному поднятию и голоценовую кинематику уровня моря, который, стабилизировавшись не позднее 2.5 тыс. лет назад, осложняется малоамплитудными (первые десятки сантиметров) колебаниями погодно-синоптического происхождения и кратковременными климатическими осцилляциями. Некоторые исследователи отмечают положительную фазу таких изменений в последние годы (Kowalewska-Kalkowska, Marks, 2011).

Неотектонический этап развития исследуемого региона сопровождался тектогенезом, который по Н.И. Николаеву (1988) можно отнести к реструктивному типу, характеризующемуся изменением прежней структуры, масштаба и интенсивности проявления. Неотектоника может усугубить негативное воздействие берегоформирующих факторов и деструкцию морских берегов, сдерживать их, либо вовсе нейтрализовать вплоть до проградации береговой линии. Продолжающееся с мелового периода (≈ 80 млн л. н.) глобальное относительное понижение уровня Мирового океана и соответствующее поднятие континентов и других крупных территорий суши предполагает направленность земного климата к похолоданию, которое, как исторически установлено, будет осложняться геологически непродолжительными потеплениями и похолоданиями разного масштаба. Так, за последние 150 лет отчетливо выделяются 30-летние климатические циклы, из которых было три стадии похолодания и две стадии потепления. В настоящее время климат находится в фазе похолодания, которое продлится еще примерно 15 лет (Нигматулин и др. 2013). Как известно, похолодания не приводят к повышению уровня Мирового океана. Из этого следует, что эвстатический фактор не окажет заметного влияния на эволюцию Вислинской косы, по крайней мере, на инженерном (50–60 лет) масштабе времени.

Главное значение в динамике морской береговой зоны косы будет иметь баланс наносов. Дело в том, что в условиях длительной относительной стабилизации уровня моря поперечное перемещение наносов со дна уменьшается в связи с тем, что ветровые волны при их относительно стабилизировавшихся характеристиках имеют предел энергетических возможностей для мобилизации и перемещения к берегу рыхлого материала со дна. Механическая составляющая ветро-волновой

энергии больше расходуется не на перемещение к берегу наносов с подводного берегового склона, а на моделировку приурезового рельефа (Шуйский, 1986). Тем не менее, каких-либо катастрофических изменений в развитии по природному сценарию приморской части пересыпи почти на всем ее протяжении за это время не предвидится, поскольку прибрежный морфогенез адаптировался к современной ситуации. Исключение составляет приканальная дистальная часть пересыпи, где размыв берега может быть остановлен реализацией специальных инженерных решений. Калининградский залив будет поддерживаться за счет поступления морских вод по Балтийскому каналу и речного стока. Но в дальней перспективе можно ожидать его распад на ряд озер вследствие заполнения осадками и слабого тектонического поднятия территории. Отмечаемые в настоящее время участки размыва его берегов будут сокращаться, поскольку прогрессирующее обмеление акватории будет ослаблять ветро-волновое воздействие.

Заканчивая статью и оценивая данные по ситуации исследуемого района, можно перефразировать слова главы Комитета по оценке содержания двуокси углерода в атмосфере при НАН США У.Э. Нюренберга и сказать, что развитие Вислинской косы в XXI веке дает повод для беспокойства, но не для паники.

Работа выполнена по теме Госзадания № 0149-2018-0015 «Тектоника деформируемых литосферных плит и геодинамическая эволюция океанской литосферы: геодинамическая эволюция Арктики и зоны перехода от Тихого океана к Евразии; развитие катастрофических и потенциально опасных процессов в зонах субдукции, окраинных, внутренних морях и береговой зоне, анализ их геоэкологических последствий; оценка и генезис полезных ископаемых континентальных окраин и внутриокеанических областей, окраинных и внутренних морей».

Литература

- Афанасьев Б.Л., Данилов И.Д., Недешева Г.Н., Смирнова М.С.* История геологического развития Прибалтики в плиоцен-четвертичное время. Рига: Зинатне, 1979. 69 с.
- Бадюкова Е.Н., Жиндарев Л.А., Лукьянова С.А., Соловьева Г.Д.* Геолого-геоморфологическое строение Куршской косы и некоторые этапы истории ее развития // Геоморфология. 2006. № 3. С. 37–48.
- Бадюкова Е.Н., Жиндарев Л.А., Лукьянова С.А., Соловьева Г.Д.* Крупные аккумулятивные формы на берегах юго-восточной Балтики // Океанология. 2017. Т. 5. № 4. С. 641–649.
- Бобыкина В. П., Кобелянская Я.С.* Рельеф береговой зоны Вислинской косы // Балтийское море: Материалы XXIV Международной береговой конференции, посвященной 60-летию со дня основания Рабочей группы «Морские берега». Морские берега – эволюция, экология, экономика. Туапсе, 1–6 октября 2012 г. С. 67–70.
- Болдырев В.Л., Рябкова О.И.* Динамика береговых процессов на Калининградском побережье Балтийского моря // Изв. ВГО. 2001. Т. 133. Вып. 5. С. 41–49.
- Геологическая история и геохимия Балтийского моря / ред. Лисицин А.П. М.: Наука, 1984. 176 с.
- Геология и геоморфология Балтийского моря. Сб. ст. (Редактор Григялис А.А.). Л.: Наука. 1991. 420 с.

- Грачев А.Ф., Долуханов П.М. Последледниковое поднятие земной коры в Канаде и в Фенноскандии по данным радиоуглеродных датировок // *Baltica*. 1970. Vol. 4. С. 297–312.
- Ермак А.В. Как развивается внутренний туризм в России: опыт Калининградской области /Министерство по туризму Калининградской области 30 ноября 2017 г. URL: <http://www.profi.travel/articles/31885/details>, (дата обращения: 16.03.2018.).
- Есюкова Е.Е. Результаты еженедельного мониторинга побережья Вислинского залива в районе пос. прибрежный в 2011–2012 годах // *Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта*. 2013. Вып. 1. С. 82–91.
- Зенкович В.П. Основные направления исследований прибрежной зоны морей в СССР. Теоретические вопросы динамики морских берегов. М.: Наука, 1964. С. 3–13.
- Калашишкова И.В., Магницкий В.А. Об унаследованном характере современных движений земной коры // *Известия АН СССР. Физика Земли*. 1978. № 10. С. 13–20.
- Лукьянова С.А., Холодильник Н.А. Протяженность береговой линии мирового океана и различных типов берегов и побережий // *Вест. МГУ. Сер.географ.* 1975. № 1. С. 48–54.
- Мещеряков Ю.А. Рельеф и современная геодинамика. М.: Наука, 1981. 276 с.
- Навроцкая С.Е., Чубаренко Б.В. Климатические тренды изменения уровня моря у побережья Калининградской области // *Изв. КГТУ*. 2014. № 32. С. 133–42.
- Нигматулин Р.И., Вакуленко Н.В., Сонечкин Д.М. Глобальное потепление в реальности и в климатических моделях // *Турбулентность, динамика атмосферы и климата: Сборник трудовмеждународной конференции, посвященной памяти академика А.М. Обухова (13-16 мая 2013 г.)*. М., ИФА РАН, 2013. С. 76–79.
- Никифоров Л.Г. Структурная геоморфология морских побережий. М.: МГУ, 1977. 175 с.
- Николаев Н.И. О принципах составления карт новейшей тектоники при неотектоническом районировании // *Изв. ВУЗов. Геология и разведка*. 1982. № 4. С. 3–12.
- Применение геоморфологических методов в структурно – геоморфологических исследованиях (ред. И. П. Герасимов). М.: Наука, 1970. 296 с.
- Свиридов Н.И., Емельянов Е.М. Фациально – литологические комплексы четвертичных отложений центральной и юго-восточной Балтики // *Литология и полезные ископаемые*. 2000. № 3. С. 246–267.
- Харин Г.С. Структурно – формационное районирование // *Система Балтийского моря под ред. Лисицына А.П.* М.: Научный мир, 2017. С. 359–373.
- Харин Г.С. Происхождение и эволюция Балтийской синеклизы // *Тезисы докладов 7-й региональной конференции «Комплексное изучение бассейна Атлантического океана»*. Калининград: КГУ, 1993. С. 41.
- Шуйский Ю.Д. Проблемы исследования баланса наносов в береговой зоне морей. Л.: Гидрометеиздат, 1986. 240 с.
- Kobelyanskay J., Piekarek-Jankowska, Boldyrev V.L., Bobykina V.P., Stepnievski P. The morphodynamics of the Vistula Spit seaward coast (Southern Baltic, Poland, Russia) // *Oceanological and Hidrobiological Studies*. 2009. V. XXXVIII Suppl. P. 41–56.
- Kowalewska-Kalkowska H., Marks R. Zmiany poziomu morza w swinoujsciu jako istotny dowod Postepujacych zmian klimatycznych na ziemi. Zagrozenia i systemy ostregania. Szczecin: Uniwersytet, Inst. Nauk o Morzu, 2011. P. 171–181.
- Mojski E. Development of the Vistula river delta and evolution of the Baltic Sea, an attempt at chronological correlation (The Baltic sea. Ed. B. Winterhalter) // *Geological Survey of Finland Special Paper*. 1988. V. 6. P. 39–51.
- Zachowicz, J., Uścińowicz S. Late Pleistocene and Holocene sediments of the Vistula Lagoon area// *Geologia i Geomorfologia*. 1997, No. 3. P. 29–37.

NEOTECTONIC FORECAST OF DEVELOPMENT OF THE VISTULA SPIT OF THE BALTIC SEA

N.N. Dunaev

*Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences,
36 Nahimovskiy prospekt, Moscow, 117997, Russia, e-mail: dunaev@ocean.ru*

Submitted 25.03.2018, accepted 20.08.2018

Any prediction relies on the accepted starting positions. At present with regard to coastal accumulative forms the forecast of their development is usually based on the ideas of increasing the sea level and stocks of the corresponding material. But in regional geosystems neotectonic conditions are an important and often a determining factor. The study of neotectonics of any territory is more productive if its location is considered taking into account the historical evolution and the general geological and geographic situation of the corresponding region. This fully applies to the area location of the Vistula Spit. Geotectonically it is confined to the southeastern wing of the Gdańsk depression, which complicates large hemisyncline, in the bed of which the Baltic Sea water area was formed as the last stage of the Valdai glaciation receded and subsequently merged with the World Ocean. During the transgression a chain of alongshore bars were formed, that gave rise to the Vistula barrier beach. In connection with the construction of the Baltic (Pillau) canal the fragment of the transplanted located to the north of it is represented by the Pillau peninsula and its largest southern part functions as Spit.

As a result of the performed studies a cartographic model of the neotectonics of the investigated region is drawn up, where the block structure is shown, within which the Vistula Spit was formed. The forecast of its development in this study is based on an analysis of the structural-tectonic environment and the Holocene kinematics of sea level. It is shown that the eustatic factor will not have a noticeable effect on the evolution of the Spit, at least on the engineering (50-60 years) time scale. There are no catastrophic changes in the development of the coastal part of this accumulative form in almost all its extent during this time, as coastal morphogenesis has adapted to the current situation. An exception is the its distal part by the canal, where the erosion of the shore can be stopped by the implementation of engineering solutions. In the long term we can expect the collapse of the Kaliningrad Gulf into a number of lakes due to the filling of sediments and a weak tectonic uplift of the territory. Assessing the natural environment of the area we can say that the development of the Vistula Spit gives cause for concern, but not for panic.

Keywords: Baltic sea, Vistula spit, the coastal zone, neotectonics, forecast

References

- Afanas'ev B.L., Danilov I.D., Nedeshva G.N., and Smirnova M.S.* Istoriya geologicheskogo razvitiya Pribaltiki v plitsen-chetvertichnoe vremya. Riga: Zinatne, 1979, 69 p.
- Badyukova E.N., Zhindarev L.A., Luk'yanova S.A., and Solov'eva G.D.* Geologo-geomorfologicheskoe stroenie Kurshskoi kosy I nekotorye etapy istorii ee razvitiya. *Geomorfologiya*, 2006, No. 3, pp. 37–48.
- Badyukova E.N., Zhindarev, L.A. Luk'yanova S.A., and Solov'eva G.D.* Krupnye akkumulyativnye formy na beregakh yugo-vostochnoi Baltiki. *Okeanologiya*, 2017, Vol. 57, No. 4, pp. 641–649.
- Bobykina V.P. and Kobelyanskaya Ya.S.* Rel'ef beregovoi zony Vislinskoi kosy (Baltiiskoe more). Proc. of XXIV International Coastal Conference "Sea Coasts – Evolution, Ecology, Economy" devoted to the 60th anniversary of the "Sea Coasts" Working Group of RAS Council, Tuapse, 1–6 October, 2012, pp. 67–70.

- Boldyrev V.L. and Ryabkova O.I.* Dinamika beregovykh protsessov na Kaliningradskom poberezh'e Baltiiskogo moray. *Izv. VGO*, 2001, Vol. 133, Issue 5, pp. 41–49.
- Ermak A.V.* Kak razvivaetsya vnutrennii turizm v Rossii: Opyt Kaliningradskoi oblasti, URL: <http://www.profi.travel/articles/31885/details>. Download date: March 16, 2018.
- Esyukova E.E.* Rezul'taty ezhenedel'nogo monitoring poberezh'ya vislinskogo zaliva v raione Pos. Pribrezhnyi v 2011–2012 godakh. *Vestnik Baltiiskogo federal'nogo universiteta im. I. Kanta*, 2013, Issue 1, pp. 82–91.
- Geologia i geomorfologia Baltiiskogo moria. Leningrad: Nauka, 1991, 420 p.
- Gerasimov I.P.* Primenenie geomorfologicheskikh metodov v strukturno-geomorfologicheskikh issledovaniyakh. Moskva: Nauka, 1970, 296 p.
- Grachev A.F. and Dolukhanov P.M.* Poslednikovoe podnyatie zemnoi kory v Kanade i v Fennoskandii po dannym radiouglerodnykh datirovok. *Baltica*, 1970, Vol. 4, pp. 297–312.
- Kalashnikova I.V. and Magnitskii V.A.* Ob unasledovannom kharaktere sovremennykh dvizhenii zemnoi kory. *Izvestiya AN SSSR, Fizika Zemli*, 1978, No. 10, pp. 13–20.
- Kharin G.S.* Proiskhozhdenie i evolyutsiya, Baltiiskoi sineklizy. Book of Abstracts: Sed'maya Regional'naya konferentsiya «Kompleksnoe izuchenie basseina Atlanticheskogo okeana», Kaliningrad: KSU, 1993, p. 41.
- Kharin G.S.* Strukturno – formacionnoe raionirovanie. Sistema Baltiiskogo moria. Edited by Lisitsin A.P., Moskva: Nauchnyi mir, 2017, pp. 359–373.
- Kobelyanskay J., Piekarek-Jankowska, Boldyrev V.L., Bobykina V.P., and Stepnievski P.* The morphodynamics of the Vistula Spit seaward coast (Southern Baltic, Poland, Russia). *Oceanological and Hidrobiological Studies*, 2009, Vol. XXXVIII, Suppl., 1, pp. 41–56.
- Kowalewska-Kalkowska H. and Marks R.* Zmiany poziomu morza w swinoujsci jako istotny dowod Postepujacych zmian klimatycznych na ziemi. Zagrozenia i systemy ostregania. Szczecin: Uniwersytet, Inst. Nauk o Morzu, 2011, pp. 171–181.
- Lisitsin A.P.* Geologicheskaya istoriya i geokhimiya Baltiiskogo moray. Moskva: Nauka, 1984, 176 p.
- Luk'yanova S.A. and Kholodilin N.A.* Prot'yazhennost' beregovoi linii mirovogo okeana i razlichnykh tipov beregov i poberezh'yi. *Vestnic MGU. Ser. geograf.*, 1975, No. 1, pp. 48–54.
- Meshcheryakov Yu. A.* Rel'ef i sovremennaya geodinamika, Moskva: Nauka, 1981, 276 p.
- Mojski E.* Development of the Vistula river delta and evolution of the Baltic Sea, an attempt at chronological correlation (The Baltic sea. Ed. B. Winterhalter). *Geological Survey of Finland Special Paper*, 1988, Vol. 6, pp. 39–51.
- Navrotskaya S.E. and Chubarenko B.V.* Klimaticheskie trendy izmeneniya urovnya morya u poberezh'ya Kaliningradskoi oblasti. *Izv. KGTU*, 2014, No. 32, pp. 133–142.
- Nigmatulin R.I., Vakulenko N.V., and Sonechkin D.M.* Global'noe poteplenie v real'nostii v klimaticheskikh modelyakh. Procc. of The International Conference dedicated to the memory of academician A.M. Obukhov Turbulence, Atmosphere and Climate Dynamics, Moscow: 13–16 May, 2013, Abstracts, Moskva: IFA RAS, 2013, pp. 76–79.
- Nikiforov L.G.* Strukturnaya geomorfologiya morskikh poberezhii. Moskva: MSU, 1977, 175 p.
- Nikolaev N.I.* O printsipakh sostavleniya kart noveishei tektoniki pri neotektonicheskom raionirovanii. *Izv. VUZov. Geologiya i razvedka*, 1982, No. 4, pp. 3–12.
- Shuisky Yu. D.* Problemy issledovaniya balansa nanosov v beregovoi zone morei. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1986, 240 p.
- Sviridov N.I. and Emel'yanov E.M.* Fatsial'no-litoloicheskie komplekсы chetvertichnykh otlozhenii tsentral'noi i yugo-vostochnoi Baltiki, *Litologiya i poleznye iskopaemye*, 2000, No. 3, pp. 246–267.
- Zachowicz, J. and Uscinowicz, S.* Late Pleistocene and Holocene sediments of the Vistula Lagoon area. *Geologia I Geomorfologia*, 1997, No. 3, pp. 29–37.
- Zenkovich V.P.* Osnovnye napravleniya issledovaniya pribrezhnoi zony morei v SSSR. In: Teoreticheskie voprosy dinamiki morskikh beregov, Moskva: Nauka, 1964, pp. 3–13.

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ И ГИДРОГРАФИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ НА ВОСТОЧНОМ ШЕЛЬФЕ ПОЛУОСТРОВА КРЫМ (ФЕОДОСИЯ-КЕРЧЬ-АНАПА)

**В.В. Иванов¹, В.Н. Коротаев¹, В.И. Мысливец¹, А.В. Поротов¹,
А.А. Пронин², Н.А. Римский-Корсаков², Н.Ф.Тихонова²**

¹Географический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, 119991, Россия
e-mail: vvi06.56@mail.ru, vlaskor@mail.ru, myslivets@yandex.ru, alexey-porotov@yandex.ru

²Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, 117997, Москва,
Нахимовский проспект, д. 36, e-mail: nrk@ocean.ru, proan@ocean.ru, nnaft@mail.ru
Статья поступила в редакцию 20.04.2018, одобрена к печати 26.06.2018

В статье рассматриваются вопросы применения современных методов экспедиционных исследований при проведении инженерных изысканий для изучения рельефа и донных отложений мелководных континентальных окраин – шельфов. Приводятся результаты геофизических и гидрографических работ на Восточном шельфе полуострова Крым.

Ключевые слова: шельф, акустическое профилирование, геоморфологическое картографирование

Введение

В 2017 г. Географический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова и Лаборатория гидролокации дна Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН начали исследования материковой отмели (шельфа) полуострова Крым. Согласно плану научно-исследовательских работ предполагается комплекс геофизических, океанографических, геоморфологических и геологических инженерных изысканий на природных полигонах Западного и Восточного участков шельфа Крыма. В 2017 г. были проведены морские работы на Керченском и Феодосийском полигонах Восточного шельфа, а также буровые работы на Камыш-Бурунской пересыпи в Керченском проливе. В экспедиции было задействовано НИС «Ашамба» Южного отделения Института океанологии РАН (рис. 1).

Краткий обзор изучения шельфа

Первые работы по геологическому строению шельфа Керченского полуострова связаны с именем Н. И. Андрусова, обработавшего буровой материал, полученный при инженерно-геологических изысканиях в связи с первым проектом моста через Керченский пролив. Эти данные позволили ему в 1926 г. (Андрусов, 1926) высказаться в пользу эрозионной гипотезы происхождения пролива. В конце 1930-х годов Черноморская экспедиция, проводившая комплексное изучение



Рис. 1. Научно-исследовательское судно Института океанологии РАН «Ашамба».

Черного моря, обобщила результаты в монографии А.Д. Архангельского и Н.М. Страхова (Архангельский, Страхов, 1938).

В послевоенные десятилетия изучение шельфа проводилось по нескольким направлениям. Геофизические и тектонические исследования позволили выяснить природу континентальной террасы, выявить основные тектонические структуры, в том числе выраженные в рельефе, проследить связь структурных элементов суши и морского дна, установить мощность аккумулятивного тела к югу от Керченского пролива. В 1970-е годы проведена первая в СССР кондиционная съемка шельфа методом непрерывного сейсмоакустического профилирования. Были составлены карта дочетвертичных отложений, структурная карта поверхности коренных пород, карты мощности четвертичных отложений и палеогеоморфологическая карта. Керченско-Таманский шельф вошел в число наиболее изученных (Скиба и др., 1975; Тектоника, 1985). К основополагающим работам следует отнести монографии и статьи В.П. Зенковича (1958), Е.Н. Невеского (1967), П.В. Федорова (1963, 1978), Н.С. Благоволина (1960, 1962) [8–9, 16–18, 20, 26–27]. Вопросам формирования осадочного покрова посвящен ряд монографий (Барковская, 1977; Невеский, 1967; Осадконакопление, 1978), а основные события четвертичной истории шельфа Черного моря и его Керченско-Таманской части изложены в книге М.Н. Алексева и его соавторов (Алексеев и др., 1986). Итоги геологического изучения шельфа северной части Черного моря, включая Керченско-Таманский шельф, были подведены в 1980-х годах в серии 5 монографий под общим названием «Геология шельфа УССР» (1981, 1983, 1984, 1985, 1987).

Наши исследования позволяют существенно дополнить сведения о литологическом строении Восточного шельфа и восстановить палеогеографические события в позднем голоцене.

Методика и технологии

В процессе работы при исследовании современного рельефа дна и геологического строения шельфа применены методы практической океанографии, гидроакустики и сейсмопрофилирования. В частности, использовался комплекс гидролокационной аппаратуры, разработанный в Лаборатории гидролокации дна (ЛГД) Института океанологии РАН (Бабич и др., 2014, 2015). Для геодезической привязки маршрутов эхолотных промеров, акустического зондирования и гидролокационной съемки, а также для проводки судна по запланированному маршруту применялся современный DGPS-приемник Sigma-G3T фирмы Javad, использующий данные спутниковых группировок GPS и ГЛОНАСС. Для площадной гидролокационной съемки с целью геоморфологического картирования поверхности дна использовался гидролокатор бокового обзора (ГБО) «СиФокс» с рабочей частотой 240 кГц, а также ГБО «YellowFin» (рис. 2) фирмы Imagenex с рабочими частотами 120, 300 и 600 кГц. Для зондирования верхней толщи рыхлых осадочных отложений использовался сейсмопрофилограф «АП-5-ИОРАН» с рабочей частотой 4.5 кГц (рис. 3).

Сбор, обработка и представление информации в реальном времени велась с помощью оригинальной компьютерной системы, работой которой управляет программа «ЭхоГраф» разработки ЛГД ИО РАН. Подготовка данных и приведение их к виду, удобному для обработки стандартными пакетами программ, осуществлялась с использованием оригинальной программы WINRASTR.



Рис. 2. Гидролокатор бокового обзора (ГБО) «YellowFin».



Рис. 3. Гидролокатор бокового обзора (ГБО) «СиФокс» и сейсмоакустический профилограф «АП-5-ИО РАН».

Грунтовые съемки с отбором поверхностного слоя наносов (5–10 см) производились синхронно с промером и автономно во время остановки судна при помощи грейферных пробоотборников. Геологические работы включали бурение скважин в береговой зоне аккумулятивных форм (пересыпей и кос), описание кернов и лабораторные аналитические исследования вещественного состава и возраста отложений.

Материалы

На Восточном шельфе Крыма от Феодосии до Керчи было выполнено 12 выходов в море на НИС «Ашамба». Общая длина галсов эхолотного промера составила 340 км, гидролокационной съемки – 242 км, сейсмоакустического профилирования – 192 км. Количество отобранных проб грунта – 15.

Результаты и обсуждение

Рельеф суши. Восточное окончание Крыма занимает Керченский полуостров, протягивающийся с севера на юг на 45 км и с запада на восток на 80 км. Рельеф поверхности северной и восточной частей полуострова представляет собой холмистую, структурно-денудационную возвышенную равнину на палеогеновых и неогеновых глинах, известняках и песчаниках с высотами до 150–189 м. Дочетвертичные отложения смяты в складки, денудированы и часто образуют холмистый рельеф. Холмы-антиклинали, как правило, группируются в цепи и вытянуты в широтном направлении. Наиболее отчетливо выражена гряда, разделяющая полуостров на северную и южную части – Парпачский гребень. Юго-западная часть полуострова – денудационная низменность с полого-волнистым рельефом на майкопских глинах, формировавшаяся в условиях очень слабых поднятий.

Берега полуострова в большинстве случаев представлены абразионными мысами и абразионно-аккумулятивными бухтами. Аккумулятивные берега – это, как правило, пересыпи или косы, отделяющие от моря лагуны и лиманы (районы Акташского, Чокракского, Тобечикского, Кояшского, Узунларского озер; аккумулятивный берег Феодосийского залива с озером Ачи и Камыш-Бурунская коса).

Характерная особенность Керченского и Таманского полуостровов – наличие грязевых вулканов, приуроченных к сводам антиклиналей, в том числе и на дне Керченского пролива. Оба полуострова с разделяющим их проливом образуют единую в тектоническом и структурно-геоморфологическом отношении Керченско-Таманскую область. Основная особенность Таманского полуострова – наличие большого числа лиманов, лагун и заливов, в результате чего площадь водной поверхности почти равна поверхности суши. Керченский полуостров, наоборот, несколько приподнят по сравнению с Таманским. Он поднимался как единый блок, ограниченный разломами, несмотря на различия во внутреннем строении. Его юго-западная часть сложена с поверхности майкопскими глинами, которые перекрывают восточную периклиналию Крымского горно-складчатого сооружения, находящуюся за пределами собственно Керченско-Таманского прогиба. На Керченском полуострове превышения холмистых антиклинальных гряд над днищами синклинальных долин достигают 100 м. Мощность верхнеплиоценовых и четвертичных отложений в синклиналиях составляет 70–90 м. Таманский полуостров, представлявший собой архипелаг островов-антиклиналей, испытал поднятия меньшей амплитуды, а мощность отложений в синклиналиях составляет не более 120–130 м (Геология шельфа УССР, 1987).

Рельеф дна шельфа. Северное побережье Керченского полуострова омывает Азовское море, в западной части которого сформирована крупная аккумулятивная форма – Арабатская стрелка, отделяющая лагуну Сиваш с плоским дном и глубинами 3–4 м. В Арабатском и Казантипском заливах глубины достигают 7–9 м, а дно преимущественно выравненное.

Перед входом в Керченский пролив со стороны Азовского моря глубины составляют 10–12 м, а в северной части пролива, вдоль судоходного канала – 6–7 м. В южной части пролив расширяется, а глубины увеличиваются до 15 м на широте мыса Тузла и до 20 м – на выходе из пролива в Черное море.

Шельф Черного моря к югу от Керченского полуострова на участке от Феодосии до Керчи и далее до Анапы – отмель и относительно выровненный. Изобата 50 м располагается на расстоянии 10–30 км от берега. В прибрежной зоне, особенно у мысов, рельеф шельфа становится неровным, местами с выступающими над водой денудационными останцами, например у горы Опук, и мелководными банками. По направлению к краю шельфа на глубинах 50–100 м рельеф дна становится сглаженным; иногда появляются пологие возвышения, вытянутые с юго-запада на северо-восток.

Ширина шельфа составляет: 1) На продолжении Феодосийского залива – 45 км, глубина на внешнем крае – 90–100 м; 2) У мыса Чауда ширина шельфа уменьшается до 25–30 км; глубина внешнего края – около 100 м; 3) Далее на восток шельф снова расширяется и к югу от Керченского пролива его ширина достигает 50 км, а глубина внешнего края от 90 до 135 м; 4) Южнее Таманского полуострова шельф опять сужается до 20 км; его бровка на глубинах 90–100 м выражена отчетливо и в нее врезан крупнейший в этой части Черного моря Кубанский подводный каньон.

Строение рельефа и литология Восточного шельфа Крыма тесно связаны с геологическим строением Керченского полуострова и западного окончания Кавказского хребта, где в зоне контакта платформенных и складчатых структур накопилась мощная толща плотных глин и рифовых известняков и развивается грязевой вулканизм. Характерной особенностью береговой линии побережья Восточного Крыма является ее чрезвычайная изрезанность, приводящая к формированию абразионно-аккумулятивных систем, ограниченных скалистыми мысами – непропусками для вдольбереговых потоков наносов и приуроченных к бухтам в устьях малых рек.

В пределах Восточного шельфа были сформированы береговая отмель (0–5 м) и подводная абразионно-аккумулятивная терраса на глубинах от 20 до 50 м, приуроченные ко времени длительного стояния уровня Черного моря в новоэвксинский и еникальский периоды голоценовой истории. За пределами шельфа хорошо выделяются материковый склон в пределах глубин 100–1500 м и ложе центральной котловины на глубинах более 1500 м. Из элементов подводного рельефа обнаружены реликтовые подводные долины Дона и Старой Кубани, подводные каньоны, каменистые бенчи и скальные выступы (банки) (рис. 4).

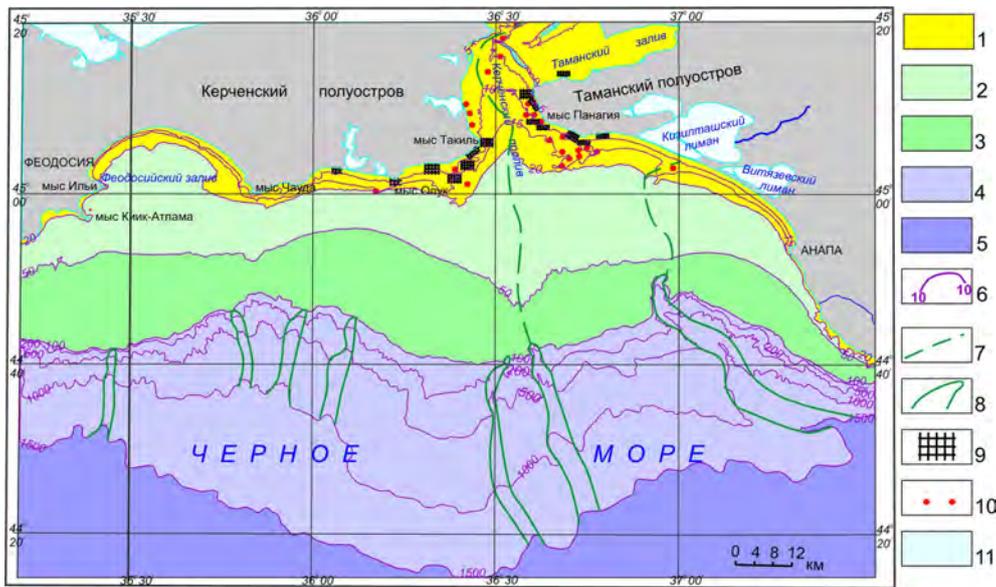


Рис. 4. Геоморфологическая карта-схема Восточного шельфа Крыма. 1 – береговая отмель (0–20 м), 2 – абразионно-аккумулятивная терраса (20–50 м), 3 – внешний шельф (50–100 м), 4 – материковый склон (100–1500 м), 5 – ложе центральной котловины (более 1500 м), 6 – изобаты (м), 7 – реликтовые подводные долины, 8 – подводные каньоны, 9 – каменные бэнчи, 10 – скальные выступы (банки), 11 – водные объекты.

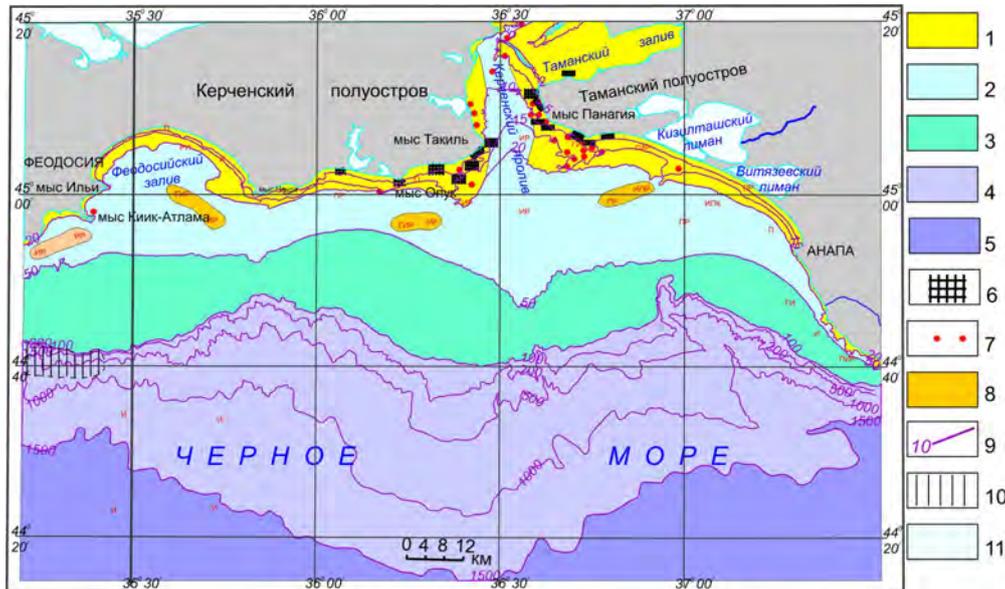


Рис. 5. Карта-схема донных грунтов Восточного шельфа Крыма. 1 – пески береговой отмели, 2 – мелко-алевритовые илы внутреннего шельфа, 3 – алеврито-пелито-мидиевые илы внешнего шельфа, 4 – пелито-фазеолиновые илы материкового склона, 5 – илы известковые ложа центральной котловины, 6 – каменные бэнчи, 7 – скальные выступы (банки), 8 – ракушняки, 9 – изобаты (м), 10 – ареал марганцево-железистых конкреций, 11 – водные объекты (по Геология шельфа Украины, 1985 с добавлениями).

По данным анализа навигационных карт, опубликованных материалов (Зенкович, т. 1 – 1958; т. 2 – 1958; 1960) и отобранных проб донного грунта выделены несколько зон осадков: песчаная береговая отмель на глубинах 0–15 м, мидиевые

илы шельфа (15–100 м), фазеолиновые илы материкового склона (100–1500 м) и известковые илы центральной котловины (глубины более 1500 м) (рис. 5).

Результаты сейсмоакустических работ на полигонах. Феодосийский полигон. Система галсов в Феодосийском заливе включала пересечение его акватории от мыса Ильи к мысу Чауда, выполнение двух поперечных профилей из западной и восточной частей залива на открытый шельф и профиль вдоль берега от траверза мыса Ильи до участка южнее мыса Киик-Атлама. На подводном продолжении мыса Ильи зафиксирован выступ коренного шельфа с абрадированной поверхностью, прикрытой 2–3-метровым слоем осадков. Это говорит об отступании берега в районе мыса в результате абразии и выработанном характере шельфа этого участка. В основном рельеф дна Феодосийского залива выровненный; в восточной части появляются невысокие пологие волны длиной 250–300 м, а покров голоценовых осадков мощностью 5–15 м подстилается отражающим горизонтом, вероятно, приуроченным к поверхности перерыва в осадконакоплении. Нижележащая толща акустически прозрачна и не содержит отражающих горизонтов. В районе мыса Чауда голоценовые осадки практически исчезают, на поверхность дна на глубинах 9–10 м выходит абрадированный бенч; местами угадываются срезанные абразией наклонно залегающие слои коренных пород.

Исследование Феодосийского залива и шельфа показало повсеместное распространение голоценового покрова мощностью в среднем около 10 м. Лишь в самом заливе на глубинах около 20 м мощность достигает значений 20–30 м. В средней части шельфа, на глубинах около 50 м, отчетливо видна срезанная абразией антиклиналь с крыльями по обеим сторонам сводовой части; где абразионная поверхность перекрыта голоценовыми отложениями мощностью до 10 м. На глубинах 70–75 м на поверхности выровненного дна возвышается холм высотой около 15 м и диаметром в основании около 200 м. Холм лежит на продолжении описанной выше антиклинальной зоны. Напротив мыса Ильи видна абразионная поверхность, срезающая косо падающие слои коренных пород. Далее в сторону средней части шельфа дно подстилается осадочной толщей, состоящей из двух слоев мощностью по 3–3,5 м, ограниченных снизу четкой отражающей границей. Нижележащая часть профиля акустически прозрачна, отражающие границы в ней появляются лишь на глубинах шельфа 50–52 м. Они представляют собой отражения от наклонно залегающих, падающих к югу пластов пород, очень похожих на пласты, образующие крылья антиклинальных складок. Дальше, к глубинам 60 м, отражения пластов исчезают. На профиле вдоль побережья от мыса Ильи в сторону мыса Меганом выделяются абразионные бенчи напротив мысов Ильи и Киик-Атлама (рис. 6).

На внутреннем шельфе за пределами Феодосийского залива в рельефе внешней зоны шельфа между валообразными грядами прослеживаются долинообразные понижения. Ф.А. Щербаков и А.А. Чистяков (Щербаков, Чистяков, 1980) считают эти понижения проявлениями разветвленной долинной сети, выходящей из Феодосийского залива, не указывая, однако, продолжением какой реки эти долины являются.

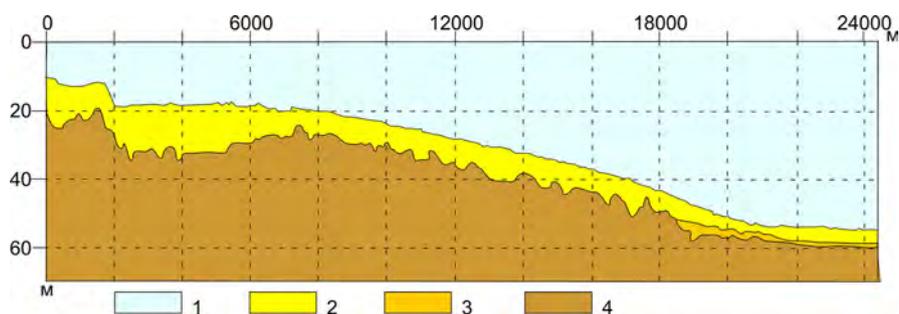


Рис. 6. Геолого-литологический разрез внутреннего шельфа на Феодосийском полигоне в районе мыса Чауда. 1 – водная толща, 2 – современные черноморские отложения, 3 – древнечерноморские отложения, 4 – коренные неогеновые породы (сарматские слои).

Керченский полигон. На этом полигоне выполнены три сейсмических профиля. Под покровом голоценовых осадков мощностью от 5 до 10 м протягивается абразионная поверхность, срезающая падающие на север пласты коренных пород. Юго-западнее мыса Тузла на глубине около 10 м обнаружен грязевой вулкан – холм относительной высотой до 8 м с плоской вершиной, в настоящее время неактивный. На участке от мыса Такиль до мыса Кыз-Аул зафиксированы пласты коренных пород, смятые в синклинальные и антиклинальные складки, срезанные абразионной поверхностью и перекрытые маломощным (2–5 м) чехлом голоценовых осадков. Мощность перекрывающих коренное основание морских, аллювиально-морских и континентальных отложений постепенно увеличивается к краю шельфа, достигая 100–130 м (Инженерная геология, 1992). Волнистый характер поверхности шельфа определяется присутствием валообразных поднятий, вытянутых с северо-востока на юго-запад и продолжающих антиклинальные гряды, развитые на прилегающей суше. Относительная высота поднятий 5–7 м. Рыхлые отложения, облекающие гряды, смягчают их очертания. Гряды разделены синклинальными понижениями, к некоторым из них приурочены погребенные и затопленные продолжения речных долин суши.

Выделяются три крупные системы таких гряд (Геология шельфа УССР, 1981). Первая состоит из двух прилегающих друг к другу кулисообразно расположенных гряд. Первая начинается у мыса Чауда и протягивается на юго-запад до глубин около 60 м. Вторая начинается на глубинах около 55 м западнее первой и продолжается до глубин 75 – 80 м, то есть почти до края шельфа. Нашими исследованиями с применением акустического профилографа установлено, что вершинные поверхности этих антиклинальных гряд срезаны абразией и перекрыты толщей рыхлых отложений мощностью от 10 до 20 м. Эти отложения состоят из верхней и нижней толщ, разделенных отчетливой отражающей границей (рис. 7).

Вторая система гряд прослеживается от мыса Такиль и банки Анисимова на юго-запад до глубин порядка 50–55 м. Возможно, с ее продолжением связаны небольшие выступы поверхности шельфа на глубине 60–80 м. Третья крупная система гряд находится к югу от Таманского полуострова и продолжает абразионную поверхность у мысов Панагия и Железный Рог на глубинах от 45–50 м до 65–70 м.

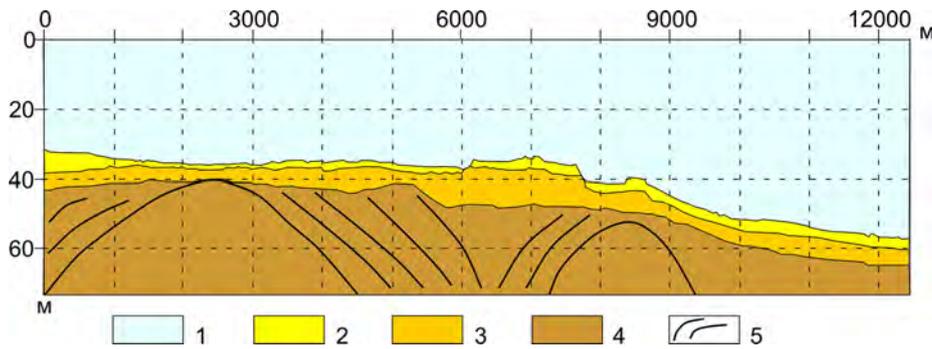


Рис. 7. Геолого-литологический разрез внутреннего шельфа на Керченском полигоне в районе мыса Кызыл-Аул. 1 – водная толща, 2 – современные черноморские отложения, 3 – древнечерноморские отложения, 4 – коренные неогеновые породы (сарматские слои), 5 – диапировая складчатость.

История формирования Восточного шельфа Крыма. Позднеплейстоцен-голоценовая история развития рельефа побережья Азово-Черноморского бассейна, несмотря на общие природные факторы (глобальные климатические ритмы, колебания уровня моря и т.п.), характеризуется региональным своеобразием, обуславливающим особенности изменений относительного уровня моря и эволюции рельефа береговой зоны. В связи с этим одним из направлений исследований шельфа является детализация палеогеографических рубежей в голоценовой истории Керченского пролива, их хронологическая привязка и корреляция с этапами развития Черного и Азовского морей в позднем плейстоцене и голоцене. В рамках этого направления было проведено бурение серии неглубоких (до 10–15 м) скважин в районе Тобечикского озера, Камыш-Бурунского залива, реликтовых лиманов в Керченской бухте и Яныш-Кале. Изучение скважинного материала включало литолого-фациальный и биостратиграфический анализы, а также радиоуглеродное датирование раковинного материала (18 определений), позволивших получить новые данные по литолого-фациальному строению и геохронологии прибрежных отложений ряда современных и реликтовых заливов-лиманов, на основе которых проведена реконструкция их развития за последние 6 тыс. лет.

Тобечикский лиман представляет собой один из наиболее крупных внутренних водоемов побережья Керченского пролива. Его акватория разделена двумя перемычками на три сообщающихся между собой водоема. От моря лиман отделен узкой песчаной пересыпью протяженностью около 1 км. Занимаемая лиманом акватория вытянута в широтном направлении и ориентирована вкрест простирания основных тектонических структур юго-восточного блока Керченского полуострова (Геология шельфа УССР, 1981). В структурном отношении лиман представляет собой многоступенчатый грабен, наложенный на ряд складчатых структур. Изучение строения прибрежных отложений, вскрытых бурением на пересыпи, показало, что в основании разреза залегает толща коричневато-серых суглинков с включением раковинного детрита и линзами разнозернистых ракушечных песков. Мощность толщи превышает 7 м, а ее кровля залегает на отметках –14 м абс.

Выше по разрезу залегают темно-серые глинистые илы с прослоями песчано-детритового материала мощностью до 9 м. Завершают разрез разнозернистые раковинные пески серо-коричневого цвета мощностью около 5 м, слагающие современную пересыпь. Вскрытая в основании разреза толща песчанистых суглинков на основании сопоставления с литологическими комплексами верхнеплейстоценовых и голоценовых отложений Керченского пролива могут быть предположительно соотнесены с лиманно-аллювиальными фациями новозвксинского времени. Залегающая выше илистая толща, приуроченная к интервалу глубин 4,5–14 м, относится к этапу ингрессии моря в низовья лимана в среднем голоцене. Верхний возрастной рубеж этого этапа на основании радиоуглеродного датирования оценивается 4,5–4,3 тыс. лет. На основании глубин залегания и положения в разрезе прибрежных отложений формирование этой толщи можно коррелировать с залегающей в прибрежной зоне на глубинах 10–15 м древней генерацией Тобечикской пересыпи, установленной в ходе геологических исследований на прилежащем участке прибрежного шельфа, которая прослеживается по всему контуру Керченского пролива (Архангельский, Страхов, 1938).

Чурбашский лиман располагался в низовьях долины р. Чурбашки. В ходе последовательного выполнения палеозалива в приустьевой части долины на его месте сформировалась низкая морская терраса шириной до 2,5 км, образованная серией древних береговых валов. Наиболее молодой генерацией валов является современная Камыш-Бурунская коса. Согласно результатам исследований, этот участок побережья характеризуется сложным геологическим строением. В районе Чурбашской долины сочленяются две разнонаправленные системы структур Керченского полуострова широтного и северо-восточного простирания. Низовья долины, занимаемые лиманом, представляют собой многоступенчатый грабен, заложенный по южному крылу Камыш-Бурунской и северному крылу Эльтиген-Ортельской мульды. В ее пределах установлены три субширотных разрывных нарушения, которые оконтуривают два тектонических блока, опущенных по отношению к южному борту долины. Подобная раздробленность структурного плана находит свое отражение как в распределении мощностей четвертичных отложений, так и в дифференцированных темпах неотектонических движений.

Результаты изучения строения слагающих Камыш-Бурунскую террасу прибрежных отложений показали, что в основании вскрытого разреза на отметках –8 ÷ –12 м абс. залегает линза слоистых илов. Радиоуглеродное датирование раковинного материала из верхней части линзы илов показало, что их возраст составляет около 4,4–4,8 тыс. лет (по ^{14}C возраст 4510 ± 80). С мористой стороны на этих глубинах по материалам сейсмоакустического профилирования обнаружена серия древних береговых валов, которые вместе с прилежащей со стороны берега линзой погребенных илов образуют единый литолого-фациальный комплекс древней береговой линии, обнаруженной ранее на различных участках побережья Керченского пролива.

Выше по разрезу залегает слой мелкозернистых хорошо сортированных серых песков с редкими раковинами, мощность которых возрастает от 2–3 м во вну-

тренней, прилежащей к коренному берегу, части аккумулятивной террасы до 4–5 м в ее внешней приморской части. Вблизи внутреннего коренного борта палеолимана бурением вскрыта линза раковинных песков, мощностью до 0,5 м, залегающая на отметках $-4 \div -3,5$ м абс., которую можно рассматривать как фации древней береговой линии палеолимана, радиоуглеродный возраст которой по раковинному материалу составил 2350 ± 80 лет. Кровля песчаного слоя залегает на абс. отметках $-3 \div -5$ м ниже уровня моря и относительно выдержана по всей площади палеозалива.

Подъем уровня моря за последние 1,5 тыс. лет сопровождался размывом мористой части косы и общим смещением ее в сторону суши. Материал от размыва древней косы поступал на формирование ранних генераций косы, выполняющих внутренние участки палеозалива. Подобная схема развития прибрежной территории Камыш-Бурунской бухты подтверждается результатами литолого-фациального и геохронологического изучения толщи прибрежных отложений. Верхняя часть разреза прибрежно-морской террасы образована толщей разнозернистых детритовых песков коричневого цвета, содержащих хорошо окатанный раковинный материал. Общая мощность приповерхностного слоя составляет 4–5 м. Раковинный материал представлен редкими целыми окатанными раковинами и переотложенным раковинным детритом.

Прибрежная территория Керченской бухты занята обширной низменностью, разделенной массивом г. Митридат на северную (или собственно Керченскую) и южную, представлявшие еще в первой половине XIX века заболоченные пойменные равнины, дренируемые рядом мелких рек. Низовья рек представляли собой мелководные озера-лиманы, отгороженные от моря песчаными пересыпями. Речные долины были заложены по широтным разрывным нарушениям, проходящим по южному крылу Керченской бухты, образующих структуру проседания.

Результаты бурения в прибрежной полосе Керченской бухты, дополненные опубликованными данными, показывают, что в основании разреза четвертичных отложений на размытой поверхности меотических глин залегает плотные зеленовато-темно-серые глины с примесью раковинного детрита мощностью до 10 м, условно относимые к карангатской трансгрессии. Их перекрывает илистая толща мощностью 13–15 м среднего голоцена. Илистые отложения глубоко проникают на территорию приморской низменности по долинам мелких рек, маркируя границы ингрессионных лиманов. Абсолютные отметки кровли илов достигают современного уровня моря, что косвенно свидетельствует о том, что в среднем голоцене (3,5–5 тыс. л.н.) уровень моря достигал современного положения или несколько превышал его. Об этом также свидетельствуют высотные отметки фаций древних береговых валов, вскрытых бурением в тыловой части приморской низменности на отметках до +1,5 м выше современного уровня моря.

Трансгрессивный комплекс отложений среднего голоцена на большей территории приморской низменности перекрывается мощным (до 4 м) культурным слоем античного и средневекового времени, изученным достаточного фрагментарно. Следует отметить находки строительных остатков в полосе прибрежного мелководья, что косвенно свидетельствует о более низком положении уровня моря в античный период.

Еникальский палеолиман занимает обширный участок прибрежной заболоченной низины, располагающейся на северо-восточной окраине Керченского полуострова между мысами Еникале и Опасное. Мысы сложены относительно прочными известняками, тогда как береговой участок между ними – рыхлыми четвертичными породами, представленными преимущественно суглинками, глинами и песчаниками. В ходе эволюции рельефа побережья в условиях новочерноморской трансгрессии более активное разрушение рыхлых пород на участке, ограниченном с севера и юга мысами, предопределило возникновение естественной вогнутости контура береговой линии, которая во время новочерноморской трансгрессии превратилась в мелководный открытый залив. Дальнейшее развитие этого участка побережья проходило под влиянием малоамплитудных изменений уровня моря и абразионно-аккумулятивной перестройки контура береговой линии, сопровождавшейся общим выравниванием ее очертаний.

Изучение строения прибрежных отложений, вскрытых бурением в пределах заболоченной низины, показало, что в основании разреза на размытой поверхности сарматских глин залегает слой серых алевроитовых песков мощностью 1,5–2 м. Глубины залегания подошвы песчаного слоя изменяются по мере удаления от моря, постепенно уменьшаясь от 10–11 м вблизи современного уреза до 5,5–6 м во внутренних частях прибрежной низины, и его можно определить как фацию мелководного полуизолированного залива, возникшего в ходе затопления морем Еникальского палеозалива в среднем голоцене. Строение перекрывающей его толщи меняется от внешней к внутренней части палеолимана. В прибрежной полосе заболоченной низины алевроитовые пески перекрываются более грубозернистой песчаной толщей с гравием и галькой мощностью до 8–9 м. В пределах ее внутренней части в средней части разреза залегает линза опесчаненных слоистых илов темно-серого цвета мощностью 1,5–2,5 м. Во внешней части заболоченной низины наблюдается постепенное уменьшение глубин залегания линзы илов от 9–10 м до 5–3 м. Поверхностный слой мощностью 3–4 м во внешней низине представлен разнозернистыми песками с прослоями гравия и гальки, а во внутренней – более тонкими песчаными отложениями с прослоями суглинков с линзами растительных остатков.

Таким образом, строение прибрежных отложений характеризует различные стадии эволюции мелководного залива в ходе развития трансгрессии Черного моря во второй половине голоцена. В ходе затопления морем эрозионно-тектонической депрессии при положении относительного уровня моря на 10–12 м ниже современного, возник мелководный залив, который постепенно отчленялся от моря пересыпью-косой. Историко-археологические материалы по античному городу Порфмию (VI в. до н.э. – I в. н.э.) позволяют считать, что он был расположен на коренном берегу Еникальского палеолимана и, возможно, являлся местом одной из переправ через Керченский пролив в античное время. Эволюция этой мелководной акватории в последующий период определялась как дальнейшим повышением уровня моря, так и разрастанием блокирующей песчаной косы, что привело к полной изоляции палеозалива-лимана, его постепенному зарастанию и превращению в болотистую

низину. Свидетельством этого являются также изображения этой территории на гидрографических картах конца XIX в.

Палеогеографическое развитие шельфа Черного моря, примыкающего к территории восточного Крыма (Керченско-Таманской зоне) в позднем плейстоцене–голоцене обуславливалось, прежде всего, изменением уровня Черного моря за последние 18–20 тыс. лет, а также неотектоническими движениями отдельных участков прибрежных блоков суши и шельфа, которые определили фрагментарность и прерывистость в распространении одновозрастных четвертичных отложений исследуемой территории.

Согласно опубликованным в последнее десятилетие данным по строению и геохронологии позднеплейстоценовых отложений северо-западного шельфа Черного моря, между 16 и 13 тыс. л.н. происходил быстрый подъем уровня моря с отметок около –140 м до –50 м, а в дальнейшем продолжился плавный подъем до отметок – 20 м ниже современного около 11 тыс. л.н. (Yanko-Homban et al, 2007). Пик новоэвксинской трансгрессии связывается со сбросом вод по «Манычскому проливу» из бассейна Каспийского моря. В последующие 1,5 тыс. л. трансгрессивная фаза сменяется резким понижением уровня Черного моря до отметок –35 ÷ –50 м, которая около 9,5 тыс. л.н. вслед за прорывом босфорского порога средиземноморскими водами сменяется голоценовой трансгрессией (рис. 8).

Развитие голоценовой трансгрессии Черного моря подразделяется на два этапа: трансгрессивный, характеризующийся ускоренным темпом подъема уровня и охватывающий возрастной интервал с 9,5 до 6 тыс. л.н., и последовавший за этим этап максимума трансгрессии, в ходе которого произошло замедление темпов подъема уровня при приближении его современному положению. Подобный ход изменения уровня Черного моря определил основные рубежи в развитии рельефа прибрежно-шельфовой зоны в ходе последовательной смены трансгрессивно-регрессивных этапов: глубокой регрессии в ранне-новоэвксинское время, трансгрессивная фаза в средне-новоэвксинское, последующая кратковременная поздне-новоэвксинская регрессия и последняя трансгрессивная фаза в голоцене.

Подъем уровня моря в голоцене носил неравномерный характер (Невесский, 1967), связанный с наложением на общий ускоренно-замедленный ход трансгрессии эвстатических циклов длительностью в несколько тысяч лет (рис. 8). В ходе голоценовой трансгрессии Черного моря выделяются пять фаз ускоренного подъема уровня (бугазский, витязевский, каламитский, джеметинский и нимфейский), разделенных короткими фазами стабилизации или незначительного понижения уровня моря. При этом амплитуды промежуточных регрессий, по всей вероятности, были неглубоки и не превышали первых метров (Невесский, 1967).

Наряду со сложным уровенным режимом Черноморского бассейна в позднем плейстоцене-голоцене на развитие Керченского пролива в ходе голоценовой трансгрессии большое влияние оказали особенности доголоценового рельефа (наличие порогов), которые определяли сужение палеодолины Дона и, как следствие, разделение палеодолины палео-Дона на ряд бассейнов, характеризовавшихся раз-



Рис. 8 . Изменения уровня Черного моря в голоцене по (Бабич и др., 2014). Стадии: 1 – новозвксинская, 2 – бугазская, 3 – витязевская, 4 – каламитская, 5 – джеметинская, 6 – фанагорийская, 7 – нимфейская.

личным седиментационным развитием, особенно на ранней стадии голоценовой трансгрессии.

В частности, в центральной части Керченского пролива на траверзе м. Тузла – м. Камыш-Бурун пролив был перегорожен сложными субширотными порогами, которые хорошо фиксируются по изолинии –50 м. Выше отмечалось, что в пределах южной окраины Керченского пролива устанавливается еще один прорванный палео-Донем порог, определяющий отклонение палеоруслу реки к западу, а на прилегающей к проливу с юга части шельфа Черного моря выделяются несколько поверхностей выравнивания на отметках –10, –20, –50 м, а особенно отчетливо на отметке –60 м, установленных как на таманском, так и на керченском подводных склонах и непосредственно в акватории к югу от пролива. Таким образом, палео-Дон как бы спускается к Черному морю по субширотным ступеням, прорывая поперечные поднятия.

Влияние палеотопографии прослеживается на протяжении всей голоценовой истории развития акватории пролива, но в данном случае следует отметить, что на рубеже новочерноморского этапа (максимума трансгрессии), охватывавшего последние 6 тыс. лет, очертания пролива напоминают собой узкую и глубокую долину, которая несколько расширяется в районе черноморского взморья пролива и на широте Таманского залива (Шнюков, 1979). В южной части пролива по трассе современного фарватера древняя долина настолько сужается и углубляется, что приобретает очертания каньона. Существование отмеченного выше поднятия коренного рельефа в центральной части пролива создавало условия для возникновения прерывистой барьерной формы, отчленявшей низовья ряда долин, открывающихся в пролив с западного борта пролива (Тобечик, Черубаш и др.), а также определявших отличия в седиментационном развитии северной половины пролива от южной. На раннем этапе позднеплейстоценовой и голоценовой истории развития, вслед за новозвксинской трансгрессией, пролив прошел через пресноводную и пресноводно-лиманную стадии, которые постепенно сменились лиманной в ходе голоценовой трансгрессии моря. В ходе дальнейшего повышения уровня особенно-

сти топографии и формирование поперечного барьера определили преобладание в южной половине пролива условий открытого морского залива, а в северной, приазовской – полуизолированного лимана. Фрагменты одной из древних генераций этого палеобарьера – аналога современной косы Тузла – были установлены в ходе наших сейсмоакустических исследований (Поротов и др., 2014) на участке пролива, прилежащем к югу от косы Тузла. Подобная дифференциация в фациальных условиях осадконакопления нашла свое непосредственное отражение в распределении мощностей и особенностях состава голоценовых отложений, охарактеризованных в работах (Геология, 1981; Скиба и др., 1975; Шнюков и др., 1979).

Выводы

1. Материалы акустического профилирования и анализ буровых скважин на побережье Керченского пролива позволили выделить в строении осадочной толщи прибрежной части пролива следы по крайней мере трех древних береговых линий, маркирующих положение уровня в различные стадии голоценовой трансгрессии Черного моря. Установлено, что повышение уровня моря за последние 1,5 тыс. лет сопровождалось размывом береговых абразионно-аккумулятивных форм и общим смещением их в сторону суши. Подобная схема развития прибрежной территории подтверждается результатами литолого-фациального и геохронологического изучения толщи прибрежных отложений Камыш-Бурунской бухты.

2. Камыш-Бурунская коса является полигенетической формой, прошедшей сложную эволюцию. Ее зарождение относится к середине III тысячелетия до н.э. при положении уровня моря на 6–9 м ниже современного. Древний береговой барьер, существовавший в этот период, являлся частью барьерной системы, отчленившей внутреннюю часть Керченского пролива. В ходе развития трансгрессии эта барьерная форма распалась на ряд локальных абразионно-аккумулятивных образований, одним из которых является Героевская терраса и Камыш-Бурунская коса. Рельеф прибрежной суши Камыш-Бурунского залива представляет собой серию древних генераций Камыш-Бурунской косы, формировавшихся в ходе последовательного выполнения палеозалива на месте устьевой зоны Чурбашского лимана. В ходе последней трансгрессивной фазы, охватывающей последние 1,5 тыс. лет, подъем уровня моря составил около 3,5–4 м и сопровождался активным размывом Героевской террасы и аккумуляцией на участке Камыш-Бурунской косы. Средняя величина выдвигания береговой линии косы составила около 2–2,5 км. Современная Камыш-Бурунская коса представляет собой наиболее молодую генерацию береговых валов, продолжающих естественную стадию развития береговой зоны.

3. Результаты исследования строения прибрежных отложений на восточном побережье Керченского пролива (побережье Керченской бухты, пересыпь оз. Тобечик, Героевская терраса и прилежащая к ней Камыш-Бурунская коса и др.) позволяют провести предварительную реконструкцию изменений уровня моря и развития береговых аккумулятивных форм. Полученные данные по геохронологии наибо-

лее древних генераций береговых валов показали, что уровень моря в ходе ново-черноморской трансгрессии впервые приблизился к его современному положению около 5–4,5 тыс. л.н. Радиоуглеродный возраст наиболее древних генераций береговых валов в тыловых частях примкнувших террас в вершинах бухт составляет 3,5–4 тыс. л.н. В частности, в строении Героевской террасы, расположенной южнее м. Камыш-Бурун, прибрежно-морские фации с возрастом 3,7–4,2 тыс. лет залегают на абсолютных высотах $\pm 0,5$ м относительно современного уровня моря. В вершине Керченской бухты они вскрыты бурением на отметках +0,5–1 м выше современного уровня моря. Ряд пересыпей-кос (оз. Тобечик, Камыш-Бурунская палеокоса и др.), отгораживавших палеолиманы в эту фазу трансгрессии, располагались мористее и позднее оказались частично размыты и перекрыты более молодыми отложениями.

4. Комплекс археологических и геоморфологических данных показывает, что в интервале 1,5–2,7 тыс. л.н. происходило понижения относительного уровня моря на величину 3,5–4 м. Береговые валы этого возраста вскрыты в ходе наших исследований в вершине древнего залива, существовавшего на месте современной аккумулятивной террасы в вершине Камыш-Бурунского залива. Обширная территория к востоку от древней береговой линии была занята мелководным заливом, частично отгороженным от открытой акватории пролива древней Камыш-Бурунской косой. Результаты литолого-стратиграфического и геохронологического анализа показали, что фациальные условия палеозалива на месте южной половины Камыш-Бурунского залива существовали, по крайней мере, с начала I тысячелетия до н.э. до середины I тыс. н.э. и, вполне возможно, даже до конца X в. н.э. Повышение уровня моря за последние 1,5 тыс. лет сопровождалось размывом Героевской террасы и древней генерации палеокосы. Материал от размыва древней косы поступал на формирование серии генераций береговых валов, последовательно выполняющих внутренние участки палеозалива, что, в конечном итоге, привело к выравниванию контура береговой линии. Современная Камыш-Бурунская коса представляет собой наиболее молодую генерацию береговых валов, возраст которых не превышает 300–500 лет.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФАНО России (тема №0149-2018-0010) при частичной поддержке РФФИ (проект РГО-а №17-05-41041).

Литература

- Алексеев М.Н., Чистяков А.А., Щербаков Ф.А.* Четвертичная геология материковых окраин. М.: Недра, 1986. 243 с.
- Андрусов Н.И.* Геологическое строение и история Керченского пролива // Бюлл. МОИП. Отд. Геологии. 1926. Т. 4. № 3-4. С. 294–332.
- Архангельский А.Д., Страхов Н.М.* Геологическое строение и история развития Черного моря. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1938. 226 с.
- Бабич Д.Б., Иванов В.В., Кортаев В.Н., Римский-Корсаков Н.А.* Инженерные изыскания при исследовании русловых процессов в целях улучшения судоходных условий на Нижней Волге // Инженерные изыскания. 2014. № 2. С. 35–41.
- Бабич Д.Б., Иванов В.В., Кортаев В.Н., Пронин А.А., Римский-Корсаков Н.А.*

- Гидрографические, геофизические и русловые методы исследований при изысканиях для улучшения судоходных условий в морских каналах [на примере Волго-Каспийского морского судоходного канала] // Инженерные изыскания. 2015. № 2. С. 38–51.
- Балабанов И.П.* Палеогеографические предпосылки формирования современных природных условий и долгосрочный прогноз развития голоценовых террас Черноморского побережья Кавказа. М.-Владивосток: Дальнаука, 2009. 352 с.
- Барковская М.Г.* Осадкообразование в приурезовой полосе, на шельфе и континентальной окраине бесприливных морей. М.: Изд-во Института океанологии им. П.П. Ширшова, 1997. 233 с.
- Благоволин Н.С.* Происхождение и история развития Керченского пролива // Изв. АН СССР. 1960. № 2. 1960. С. 105–109. (Серия геоморфологическая).
- Благоволин Н.С.* Геоморфология Керченско-Таманской области. М.: Изд-во АН СССР, 1962. 192 с.
- Геологическое строение шельфов Каспийского, Азовского и Черного морей в связи с их нефтегазоносностью. М.: Наука, 1971. 74 с.
- Зенкович В.П.* Морфология и динамика советских берегов Черного моря. Том I. М.: Изд-во АН СССР, 1958. 187 с.
- Зенкович В.П.* Берега Черного и Азовского морей. М.: Государственное изд-во географической литературы, 1958. 374 с.
- Зенкович В.П.* Морфология и динамика советских берегов Черного моря. Том II: Северо-западная часть. М.: Изд-во АН СССР, 1960. 215 с.
- Инженерная геология шельфа и побережья Черного моря. М.: Наука, 1992. 117 с.
- Керченский пролив // Геология шельфа УССР. Киев: Наукова думка, 1981. 160 с.
- Литология // Геология шельфа УССР. Киев: Наукова думка, 1985. 187 с.
- Невесский Е.Н.* Процессы осадкообразования в прибрежной зоне моря. М.: Наука, 1967. 255 с.
- Осадконакопление на континентальной окраине Черного моря. М.: Наука, 1978. 212 с.
- Поротов А.В., Мысливец В.И., Гайнанов В.И., Зинько В.Н., Зверев А.С.* Развитие рельефа побережья Керченского пролива в районе м. Камыш-Бурун в позднем голоцене [по данным геoarхеологических и сейсмоакустических исследований] / *А.В. Поротов* // Вестн. Моск. ун-та. 2014. № 2. С. 41–48. (Сер. 5: География).
- Скиба С.И., Щербаков Ф.А., Куприн П.Н.* К палеогеографии Керченско-Таманского района в позднем плейстоцене и голоцене // Океанология. 1975. Т. XV. Вып. 5. С. 865–867.
- Стратиграфия // Геология шельфа УССР. Киев: Наукова думка, 1983. 199 с.
- Твердые полезные ископаемые // Геология шельфа Украины. Киев: Наукова думка, 1984. 199 с.
- Тектоника // Геология шельфа УССР. Киев: Наукова думка, 1987. 152 с.
- Тектоника мезокайнозойских отложений Черноморской впадины. М.: Недра, 1985. 215 с.
- Тектоника Северного Причерноморья. Киев: Наукова думка, 1988. 164 с.
- Федоров П.В.* Стратиграфия четвертичных отложений Крымско-Кавказского побережья и некоторые вопросы геологической истории Черного моря // Труды ГИН АН СССР. М.: Наука, 1963. Т. 88. 157 с.
- Федоров П.В.* Плейстоцен Понто-Каспия. М.: Наука, 1978. 165 с.
- Шнюков Е.Ф., Аленкин В.М., Григорьев А.В.* Геологическая история Керченского пролива в позднечетвертичное время // Позднечетвертичная история и седиментогенез окраинных и внутренних 669 морей. М.: Наука, 1979. С. 161–173.

- Щербаков Ф.А., Чистяков А.А. Структурно-геоморфологическая характеристика шельфа Керченского и Таманского полуостровов // Геоморфология. 1980. № 2. С. 80–85.
- Yanko-Hombah V., Gilbert A., Dolukhanov P. Controversy over the great flood hypothesis in the Black Sea in light of geological, paleontological evidence // *Quaternary International*. 2007. Vol. 167–168. P. 91–113.

**GEOPHYSICAL AND HYDROGRAPHICAL SURVEYS
AT THE EASTERN SHELF OF THE
CRIMEA PENINSULA (FEODOSIYA-KERCH-ANAPA)**

**V.V. Ivanov¹, V.N. Korotaev¹, V.I. Myslivets¹, A.V. Porotov¹, A.A. Pronin²,
N.A. Rimsky-Korsakov², N.F. Tikhonova²**

¹Lomonosov Moscow State University, GSP-1, Leninskie Gory, Moscow, 119991, Russia
e-mail: vvi06.56@mail.ru, vlaskor@mail.ru, myslivets@yandex.ru,
alexey-porotov@yandex.ru

²Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences,
36 Nahimovskiy prospekt, Moscow, 117997, Russia, e-mail: nrk@ocean.ru, proan@ocean.ru,
nnaft@mail.ru

Submitted 20.04.2018, accepted 26.06.2018

The article considers questions of using modern expeditionary methods of engineering surveys for studying of relief and bottom sediments of shallow continental outlaying – shelves. The results of geophysical and hydrographical working on The East Shelf of Crimea peninsula.

Keywords: sea shelf, acoustic profiling, geomorphological mapping

References

- Alekseev M.N., Chistjakov A.A., and Shherbakov F.A. Chetvertichnaja geologija materikovykh okrain (Quaternary geology of continental borders). Moskva: Nedra, 1986, 243 p.
- Andrusov N.I. Geologicheskoe stroenie i istorija Kerchenskogo proliva (Geological structure and history of Kerch strait). *Bjull. MOIP. Otd. Geologii*, 1926, Vol. 4, No. 3–4, pp. 294–332.
- Arhangel'skij A.D. and Strahov N.M. Geologicheskoe stroenie i istorija razvitija Chernogo morja (Geological structure and history development of the Black Sea). Moskva-Leningrad: Izdatelstvo AN SSSR, 1938, 226 p.
- Babich D.B., Ivanov V.V., Korotaev V.N., and Rimskij-Korsakov N.A. Inzhenernye izyskanija pri issledovanii ruslovykh processov v celjah uluchshenija sudohodnykh uslovij na Nizhnej Volge (Engineering surveys in the research of channel processes for the improvement of navigable conditions of the Lower Volga River). *Inzhenernye izyskanija*, 2014, No. 2, pp. 35–41.
- Babich D.B., Ivanov V.V., Korotaev V.N., Pronin A.A., and Rimskij-Korsakov N.A. Gidrograficheskie, geofizicheskie i ruslovyje metody issledovanij pri izyskanijah dlja uluchshenija sudohodnykh uslovij v morskikh kanalakh (na primere Volgo-Kaspijskogo morskogo sudohodnogo kanala). (Hydrographical, geophysical and channel research methods of engineering surveys for the improvement of navigability in seaway canals by

- the example of the Volga Caspian seaway canal). *Inzhenernye izyskanija*, 2015, No. 2, pp. 38–51.
- Balabanov I.P.* Paleogeograficheskie predposylki formirovaniya sovremennyh prirodnyh uslovij i dolgosrochnyj prognoz razvitija golocenovyh terras Chernomorskogo poberezh'ja Kavkaza (Palaeogeographical pre-requisites of formation recent nature conditions and long term prognosis of development of Holocene terraces of Black Sea coastal of Caucasus). Vladivostok: Dal'nauka, 2009, 352 p.
- Barkovskaja M.G.* Osadkoobrazovanie v priurezovoj polose, na shel'fe i kontinental'noj okraine besprilivnyh morej (Sedimentation in shoreline, shelf and continental borders of tideless sea). Moskva: Izdatelstvo Instituta okeanologii im. P.P. Shirshova, 1997, 233 p.
- Blagovolin N.S.* Proishozhdenie i istorija razvitija Kerchenskogo proliva (Origin and history of development of Kerch strait). *Izv. AN SSSR, serija geomorfologicheskaja*, 1960, No. 1960, pp. 105–109.
- Blagovolin N.S.* Geomorfologija Kerchensko-Tamanskoj oblasti (Geomorphology of Kerch-Taman region). Moskva: Izdatelstvo AN SSSR, 1962, 192 p.
- Fedorov P.V.* Stratigrafija chetvertichnyh otlozhenij Krymsko-Kavkazskogo poberezh'ja i nekotorye voprosy geologicheskoi istorii Chernogo morja (Stratigraphy of Quarternary sediments of Crimea-Caucasus Coast and some questions of geological history of Black Sea). *Trudy GIN AN SSSR*, Vol. 88, Moskva: Nauka, 1963, 157 p.
- Fedorov P.V.* Plejstocen Ponto-Kaspija (Pleistocene of Ponto-Caspian). Moskva: Nauka, 1978, 165 p.
- Geologicheskoe stroenie shel'fov Kaspijskogo, Azovskogo i Chernogo morej v svjazi s ih neftegazonosnost'ju (Geological structure of shelves Caspian, Azov and Black Seas in connexion of their oil-gas-bearing). Moskva: Nauka, 1971, 74 p.
- Geologija shel'fa USSR, Kerchenskij proliv (Geology of shelf of UkSSR. Kerch strait). Kiev: Naukova dumka, 1981, 160 p.
- Geologija shel'fa Ukrainy, Stratigrafija (Geology of shelf of UkSSR. Stratigraphy). Kiev: Naukova dumka, 1983, 199 p.
- Geologija shel'fa Ukrainy, Tverdye poleznye iskopaemye (Geology of shelf of UkSSR, Hard useful mineral). Kiev: Naukova dumka, 1984, 199 p.
- Geologija shel'fa Ukrainy, Litologija (Geology of shelf of UkSSR. Lithology). Kiev: Naukova dumka, 1985, 187 p.
- Geologija shel'fa USSR, Tektonika (Geology of shelf of UkSSR. Tectonic). Kiev: Naukova dumka, 1987, 152 p.
- Inzhenernaja geologija shel'fa i poberezh'ja Chernogo morja (Engineering geology of shelf and coast of Black Sea). Moskva: Nauka, 1992, 117 p.
- Nevejskij E.N.* Processy osadkoobrazovanija v pribrezhnoj zone morja (Processes sedimentation in coastal zone of sea). Moskva: Nauka, 1967, 255 p.
- Osadkonakoplenie na kontinental'noj okraine Chernogo morja (Sedimentation on continental borders of Black Sea). Moskva: Nauka, 1978, 212 p.
- Porotov A.V., Myslivec V.I., Gajnanov V.I., Zin'ko V.N., and Zverev A.S.* Razvitie rel'efa poberezh'ja Kerchenskogo proliva v rajone m. Kamysh-Burun v pozdnem golocene (podannym geoarheologicheskimi i sejsmoakusticheskimi issledovanij). (Development relief of coast of Kerch strait in region Cape Kamysh-Burun in Late Holocene by data geoarheological and seismoacoustical research). *Vestnik Moskovskogo Universiteta*, 2014, Ser. 5, Geografija, No. 2, pp. 41–48.
- Tektonika mezokajnozoijskikh otlozhenij Chernomorskoj vpadiny (Tectonic of Mezokainozoic sediments of Chernomorsky depression). Moskva: Nedra, 1985, 215 p.

- Tektonika Severnogo Prichernomor'ja (Tectonic of Northern Prichernomor'ya). Kiev: Naukova dumka, 1988, 164 p.
- Shnjukov E.F., Alenkin V.M., and Grigor'ev A.V.* Geologičeskaja istorija Kerčenskogo proliva v pozdnečetvertičnoe vremja (Geological history of Kerch strait in Late Quarternary time). Pozdnečetvertičnaja istorija i sedimentogenez okrainnyh i vnutrennih morej. Moskva: Nauka, 1979, pp. 161–173.
- Shherbakov F.A. and Chistjakov A.A.* Strukturno-geomorfologičeskaja harakteristika shel'fa Kerčenskogo i Tamanskogo poluostr'ovov (Structural-geomorphological description of shelf Taman-Kerch peninsulas). *Geomorfologija*, 1980, No. 2, pp. 80–85.
- Skiba S.I., Shherbakov F.A., and Kuprin P.N.* K paleogeografii Kerčensko-Tamanskogo rajona v pozdnem plejstocene i golocene (Palaeogeography of Kerch-Taman region in Late Pleistocene and Holocene). *Okeanologija*, 1975, Vol. XV, Issue 5, pp. 865–867.
- Yanko-Hombah V., Gilbert A., and Dolukhanov P.* Controversy over the great flood hypothesis in the Black Sea in light of geological, paleontological evidence. *Quaternery International*, 2007, Vol. 167–168, pp. 91–113.
- Zenkovich V.P.* Morfologija i dinamika sovetskih beregov Chernogo morja (Morphology and dynamics of the Soviet Coast of Black Sea). Vol. I, Moskva: Izdatelstvo AN SSSR, 1958, 187 p.
- Zenkovich V.P.* Berega Chernogo i Azovskogo morej (Coasts of Black and Azov Seas). Moskva: Gosudarstvennoe izd-vo geografičeskoj literatury, 1958, 374 p.
- Zenkovich V.P.* Morfologija i dinamika sovetskih beregov Chernogo morja, Tom II (Severozapadnaja čast'). (Morphology and dynamics of the Soviet Coast of Black Sea, Vol. II). Moskva: Izdatelstvo AN SSSR, 1960, 215 p.

МИГРАЦИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ ЗОН В АТЛАНТИЧЕСКОМ ОКЕАНЕ И ПРИЛЕГАЮЩИХ РЕГИОНАХ В СРЕДНЕМ И ПОЗДНЕМ ТУРОНЕ ПО ПЛАНКТОННЫМ ФОРАМИНИФЕРАМ

Е. А. Соколова

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, 117997, Москва,
Нахимовский проспект, д. 36, e-mail: sokolova@ocean.ru*

Статья поступила в редакцию 15.02.2018, одобрена к печати 26.04.2018

По распределению раковин планктонных фораминифер (собственные данные) в туронских ядрах глубоководного бурения были реконструированы климатические зоны, соответствующие разным типам водных масс в Атлантическом и южной части Индийского океанов. Кроме того, использовались образцы из шельфовых морей Австралии и литературные данные по эпиконтинентальным бассейнам северного полушария. На основе пространственного распределения типов танатоценозов построены карты климатической зональности для раннего и среднего турона. Сравнение полученных реконструкций показало, что размеры климатических зон и очертание их границ в течение изученного временного интервала изменялись. Средний турон отличался исключительно теплыми и мягкими климатическими условиями. В позднем туроне наметилась некоторая тенденция к похолоданию. Наиболее ярко это проявилось в высоких широтах Индийского океана. Границы всех климатических зон сместились к экватору.

Ключевые слова: поздний мел, турон, фораминиферы, палеоклимат, климатическая зональность, водные массы

Введение

Планктонные фораминиферы (ПФ) отличаются широким распространением и большой чувствительностью к изменениям условий окружающей среды. Различным климатическим зонам соответствуют разные типы водных масс, характеризующиеся разными комплексами ПФ. Это позволяет успешно использовать их раковины для выделения в древних толщах слоев, которые накапливались в периоды потеплений и похолоданий, и реконструировать климатические условия далекого прошлого. Закономерности распределения современных и кайнозойских ПФ в водах Мирового океана к настоящему времени хорошо изучены (Бараш, 1988; Блюм, Соколова, 1987; Оськина и др., 1982). Ряд реконструкций выполнен для мелового времени (Соколова, 1998; Соколова, 2001; Hart, 2000; Zakharov, 2006). Кроме того, климатические пояса для среднего и позднего мела были выделены по палеоботаническим данным (Герман, 2004). Однако материалы, опубликованные по этому вопросу, недостаточно систематизированы и не очень полны. Поэтому дальнейшее микропалеонтологическое исследование мезозойского осадочного чехла представляет большой интерес.

В настоящей статье приведены результаты фораминиферового анализа, проведенного для средне- и позднегуронских океанических отложений.

Материал и методика исследования

По данным распределения раковин ПФ в туронских кернах глубоководного бурения нами была реконструирована климатическая зональность для акватории Атлантического и южной части Индийского океанов. Основным материалом для реконструкций послужили 250 собственноручно обработанных и изученных образцов из кернов 17 скважин глубоководного бурения и разрезов шельфовых морей Австралии. Кроме того, использовались литературные данные по разрезам северного полушария (Ion, 1983; Peryt, 1980) и опубликованные оценки палеотемператур, полученные в результате изотопно-кислородного анализа (Vice, et al., 2003; Hart, 2000; Zakharov, 2006).

Основы метода реконструкции климатической зональности древних океанов, разработанные и применяемые группой авторов (Блюм, Соколова, 1987; Оськина и др., 1982), базируются на актуалистическом подходе. Исследование ведется последовательно от более молодых и, следовательно, более изученных срезов к более древним. При реконструкции климатической зональности поздне мелового океана приходилось учитывать, что природные условия мела очень сильно отличаются от условий, существовавших в кайнозое, и вносить изменения и поправки в упомянутый метод (Соколова, 1998). Предлагаемая автором методика (с учетом меловой специфики), была неоднократно опробована (Кобаевич, Соколова, 2003; Соколова, 2001; Соколова, 2005). Ее суть состоит в следующем. Предполагается, что чувствительность определенного вида к тем или иным условиям среды не меняется за все время его существования; при установлении оптимальных условий вид увеличивает свою численность, при ухудшении – сокращает или полностью вымирает. Виды, обитающие в сходных климатических условиях, имеют сходные ареалы распространения. Раковины этих видов встречаются совместно в океанических осадках, которые сформировались в течение единых климатических этапов. Это позволяет объединить виды в климатические группы. В ряде случаев бывает трудно отнести тот или иной вид к какой-либо группе. В осадках, сформировавшихся на больших глубинах, виды, неустойчивые к растворению, отсутствуют, и нарушается изначальное соотношение видов. Кроме того, некоторые виды имеют очень широкие ареалы, их распространение не ограничивается узким климатическим поясом. Поэтому для выделения климатических групп главными критериями являются не ареалы распространения видов, а положение районов максимальной концентрации их раковин. Для поздне меловых осадков выделяются три климатические группы, названные по аналогии с современными: тропической, субтропической и умеренной. Эти группы не имеют прямых аналогов с современными группами, так как почти все древние виды вымерли на границе мела и палеогена. Однако раковины современных и меловых видов, относящиеся соответственно к тепловодным или холод-

новодным группам имеют характерные морфологические признаки. Дальнейшее исследование показало, что даже в пределах одной климатической группы, районы максимального обилия раковин разных видов несколько смещаются по отношению к экватору. Это позволило расположить виды ПФ в климатический ряд от самого тепловодного к самому холодноводному.

Танатоценозы ПФ состоят из представителей разных климатических групп. В танатоценозах одного и того же типа соотношения этих климатических групп приблизительно одинаковы. Районы с различными типами танатоценозов являются разными климатическими зонами океана, соответствующими разным типам водных масс.

В туроне для изучения были выбраны два временных среза, соответствующие по стратиграфической шкале (Robaszynski, Caron, 1995) среднему – (зона *Marginotruncana schneegansi*) и позднему турону (основание зоны *Dicarinella concavata*).

Этой работе предшествовали реконструкции, выполненные для четырех временных срезов маастрихта (Соколова, 1998), трех – кампана (Соколова, 2001), двух – сантона (Кобаевич, Соколова, 2003) и двух – коньяка (Соколова, 2005). При изучении каждого временного интервала, в соответствии с методом актуализма, используется материал, накопленный при исследовании более молодых отложений.

Туронские танатоценозы ПФ

В соответствии с нашей методикой работу над туронским материалом мы начали с самого молодого среза. В нашем распоряжении были образцы из 17 скважин и разреза Австралии. В отложениях верхнего турона (основание фораминиферовой зоны *Dicarinella concavata*) определено 105 видов ПФ. Из них 27 встречены в 15–17% скважин, остальные обнаружены только в 1–2 скважинах. Стратиграфическое распределение широко распространенных видов приведено на рис. 1. Кроме того, использовались литературные данные по разрезам северного полушария (Ion, 1983; Peryt, 1980).

С целью реконструкции климатической зональности позднего турона были составлены карты распределения всех широко распространенных в основании стратиграфической зоны *Dicarinella concavata* видов ПФ. Проведено сравнение ареалов видов, вымерших на границе турона и коньяка с одновозрастными ареалами видов, климатическая природа которых была выявлена ранее при изучении более молодых срезов. Например, ареал вида *Marginotruncana bouldinensis* Pessagno совпадает с ареалами *Marginotruncana paraconcavata* (Porthault) и *Dicarinella concavata* (Brotzen) в позднем туроне (рис. 2). Климатическая природа двух последних видов была установлена при изучении коньякских отложений. Это позволяет отнести вид *Marginotruncana bouldinensis* к субтропической группе и определить его место в климатическом ряду (рис. 3). При анализе полученного климатического ряда, были выявлены некоторые закономерности. Виды умеренной группы встречались в позднем туроне повсеместно. Их раковины образовывали в высоких широтах два чет-

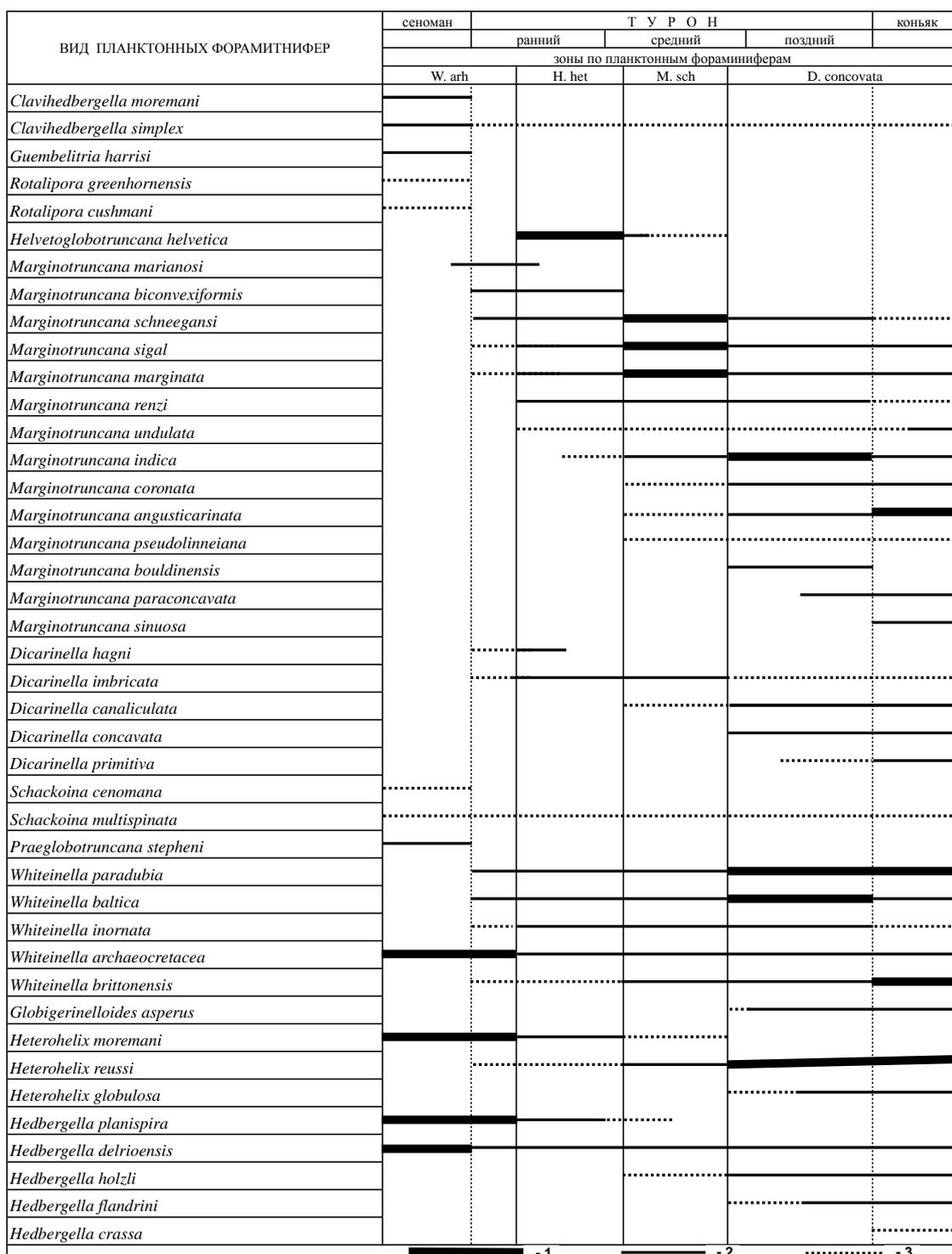


Рис. 1. Стратиграфическое распределение видов ПФ. 1 – обильны (более 8%); 2 – обычные (менее 8%); 3 – встречаются спорадически. Расшифровка зон по ПФ: W. arh – *Whiteinella archaeocretacea*; H. hel – *Helvetoglobotruncana helvetica*; M. sch – *Marginotruncana schneegansi*; D. concavata – *Dicarinella concavata*.

ко выраженные района максимальной концентрации. Субтропические виды чрезвычайно широко распространены по всей акватории океана, а также в окраинных

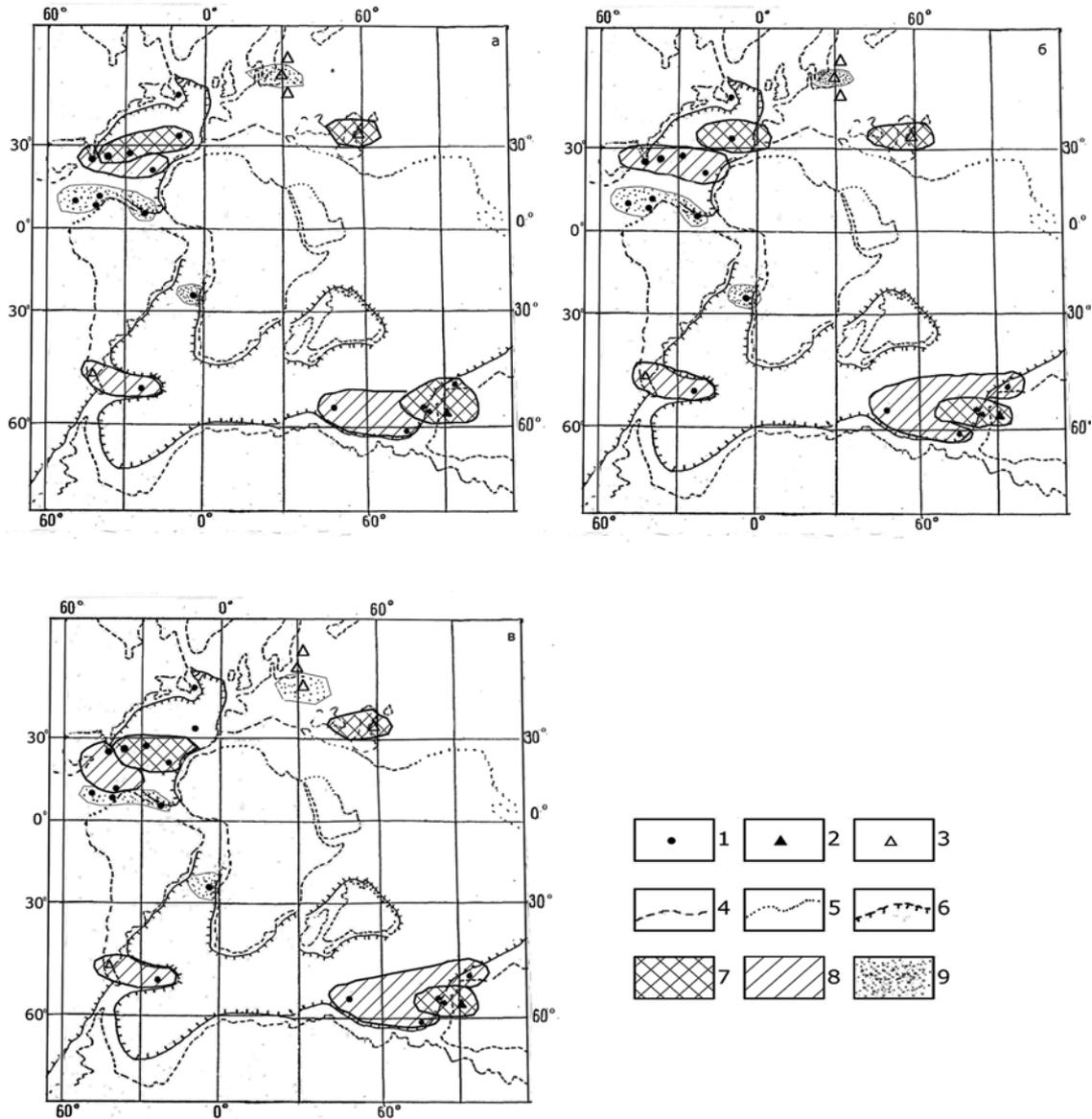


Рис. 2. Распределение раковин вида *Marginotruncana bouldinensis* Pessagno (а); *Marginotruncana paraconcovata* Porthault (б); *Dicarinella concavata* (Brotzen) (в) в позднеуронских отложениях: 1 – скважины глубоководного бурения; 2, 3 – разрезы, описанные на территории современных континентов: 2 – изученные автором; 3 – по литературным данным; 4, 5 – границы континентов: 4 – современных; 5 – в меловом периоде; 6 – границы шельфа; 7–9 – процентное содержание раковин: 7 – более 8%; 8 – 5–8%; 9 – менее 5%.

шельфовых морях Австралии и в эпиконтинентальных бассейнах северного полушария. Районы максимальной концентрации их раковин располагаются в средних широтах по обе стороны от экватора. Виды тропической группы имели более узкий ареал распространения и один низкоширотный район максимальной концентрации раковин (рис. 3).

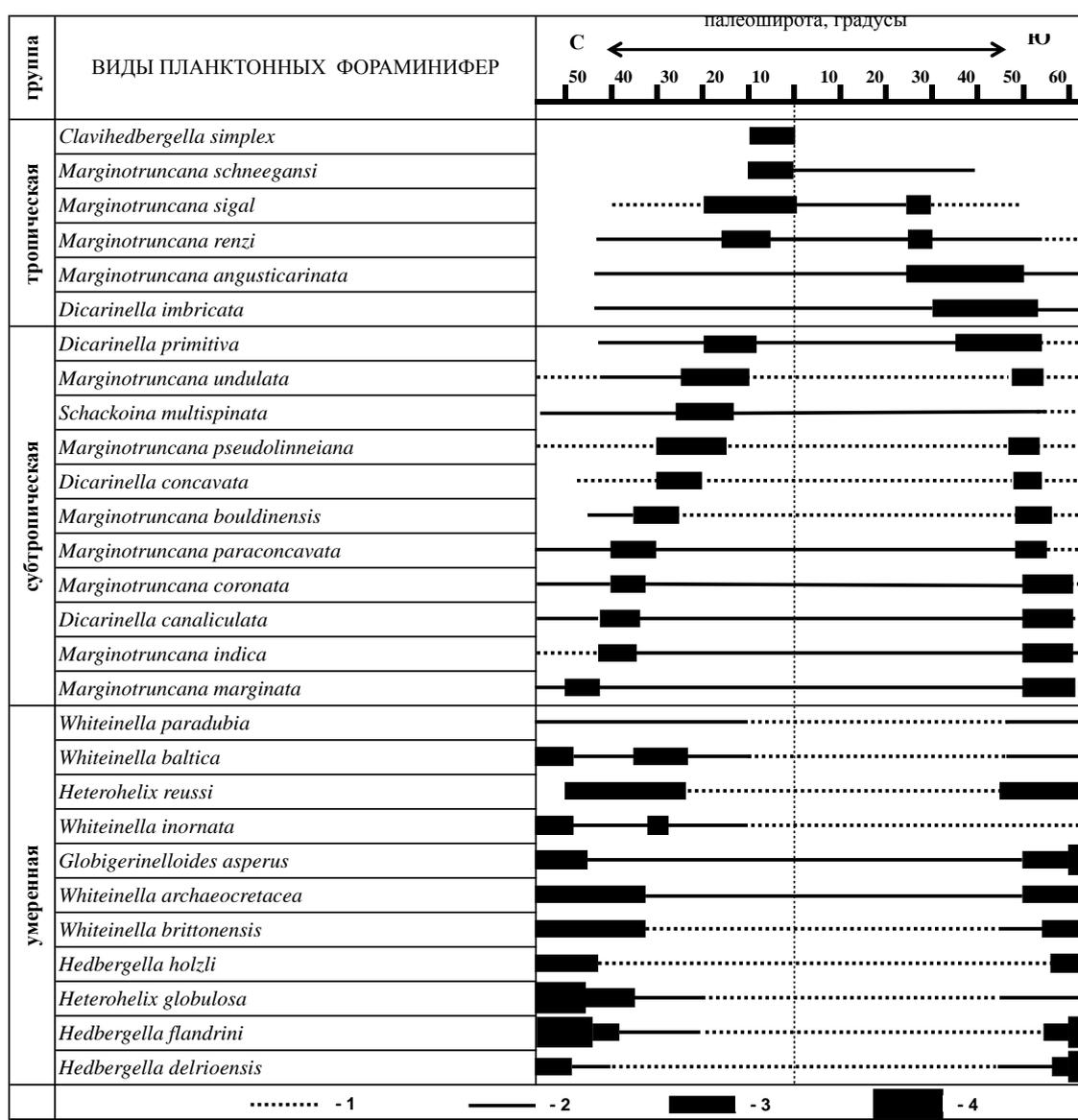


Рис. 3. Климатические группировки видов ПФ в позднем туроне: 1 – встречаются спорадически; 2 – обычны; 3 – обильны; 4 – весьма обильны.

Для каждой скважины и для каждого разреза было подсчитано число раковин видов ПФ, относящихся к разным климатическим группам, определено их соотношение. Точки с одинаковыми значениями этих соотношений характеризуются одним типом танатоценоза. В результате для позднего турона выделены три типа и один подтип танатоценоза: 1) в бореальном типе танатоценоза доминирует самый холодноводный вид *Hedbergella delrioensis* (Carsey), в конце позднего турона весьма обильны раковины вида *Heterohelix holzli* (Hagn and Zeil), присутствуют не менее 7 умеренных видов, составляющих по численности 45–50%, встречаются 5–6 субтропических видов; 2) промежуточный тип танатоценоза, представлен 18–22 видами субтропической группы, преобладающими в процентном отношении (многие виды имеют узкое широтное распространение), доминируют раковины различных

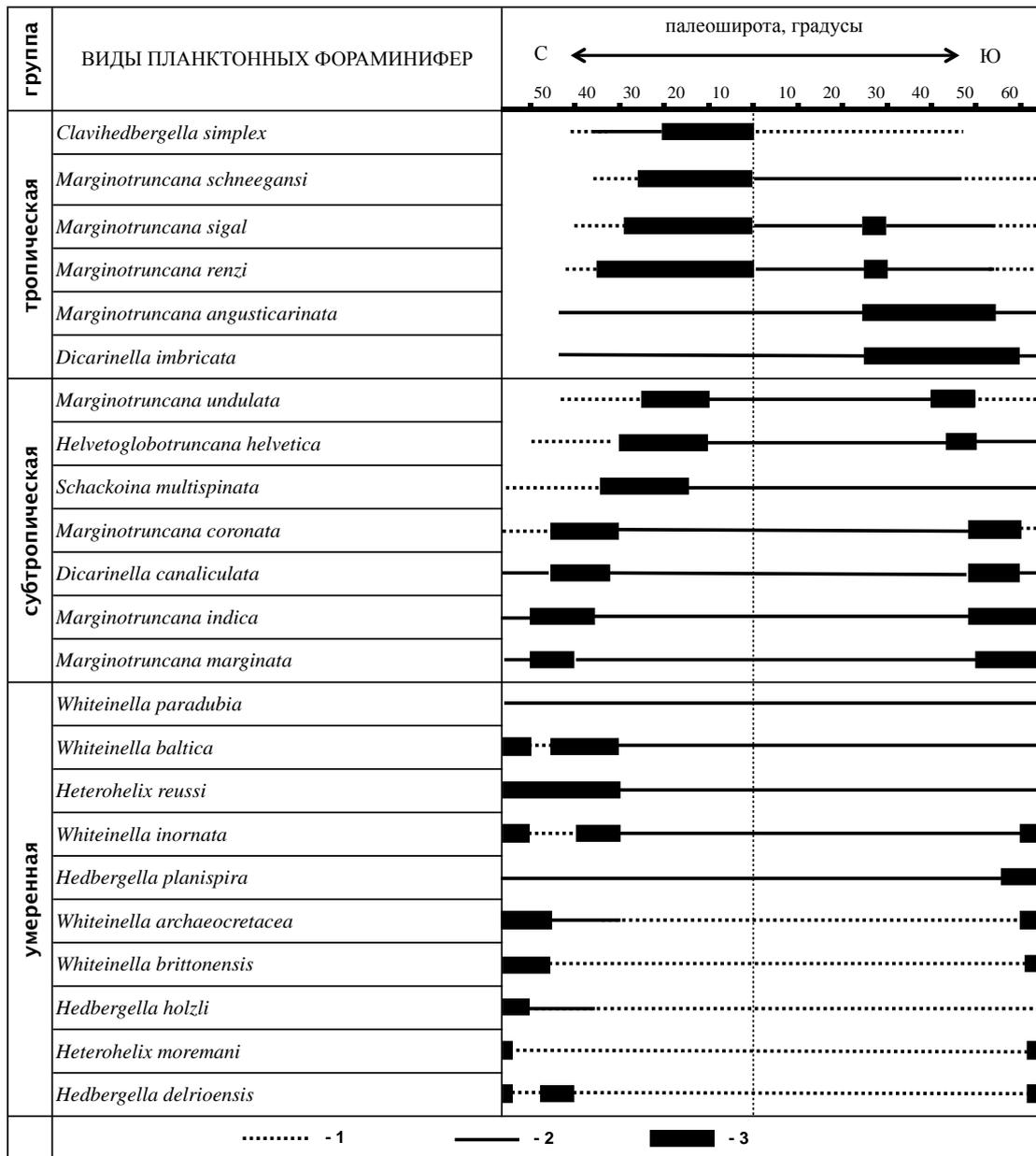


Рис. 4. Климатические группировки видов ПФ в среднем туроне: 1 – встречаются спорадически; 2 – обычные; 3 – обильны.

маргинотрункан и дикаринелл, виды умеренной группы составляют около 35%, а на долю тропических видов приходится не более 10%; 3) тетический тип танатоценоза характеризуется обилием и разнообразием всех видов ПФ, среди которых доминируют тропические формы (от 30 до 40% по численности); теплоавстральный подтип танатоценоза отличается от бореального присутствием единичных видов тропической группы.

Климатическая зональность для среднего турона реконструирована по 16 скважинам. В исследуемых отложениях зоны *Marginotruncana schneegansi* встречено 98 видов ПФ. Из них 26 широко распространены, они встречены более чем в 12% скважин. Полученный для среднего турона состав групп приведен на рис. 4.

Построенный климатический ряд несколько отличается от выше описанного. Отличия состоят в следующем. Виды умеренной группы распространены в среднем туроне достаточно широко (рис. 4), но их численность весьма ограничена. Только в высоких широтах северного полушария наблюдаются небольшие районы их повышенной концентрации. В Южном полушарии существенного увеличения численности раковин видов умеренной группы практически не наблюдается. Районы максимальной концентрации раковин субтропических видов в среднем туроне несколько смещены к полюсам (рис. 4). Виды тропической группы имеют более широкий ареал распространения. Они встречаются даже в высоких широтах Южного полушария, а район их максимальной концентрации занимает довольно большую акваторию от 45° ю.ш. до 30° с.ш. (здесь и далее имеются в виду палеошироты). Выделенные типы танатоценозов сходны с типами, описанными выше для среза зоны *Dicarinella concavata*. Их отличия состоят в следующем: 1) в отложениях среднего турона не выделен теплоавстральный подтип танатоценоза; 2) в бореальном типе танатоценоза резко доминирующих форм не наблюдается, виды умеренной группы не превышают 40% по численности; 3) в промежуточный тип танатоценоза в среднем туроне соотношение умеренных и тропических видов несколько смещается в пользу последних, их численность доходит до 20%.

На основе пространственного распространения тех или иных типов танатоценозов были построены климатические зоны для среднего и раннего турона (рис. 5). Положение скважин на картах определено по палеогеодинамическим реконструкциям (Зоненшайн, 1984; Scotese, 1991).

Карты климатической зональности для выбранных временных срезов турона

Выделенные климатические зоны океана соответствуют определенным типам водных масс и характеризуются разными танатоценозами ПФ. В результате анализа изменения положения границ климатических зон на изученных срезах и обзора литературных данных можно сделать следующие заключение о миграции водных масс в течение среднего и позднего турона.

Анализ карты климатической зональности для стратиграфической зоны *Margi-notruncana schneegansi* (рис. 5а) показал, что средний турон характеризовался весьма тепловодными условиями. В высоких широтах океана отсутствовали условия, характерные не только для бореальной и австральной зон; даже теплоавстральные и теплобореальные танатоценозы в океане не выявлены. Существование бореальной зоны можно предположить по находкам бореального комплекса микрофауны в разрезах Польши. Промежуточная зона в северном полушарии занимала акваторию от 45° до 20° с.ш. В Южном полушарии она была значительно смещена в сторону полюса. Промежуточный тип танатоценоза распространен в разрезах шельфовых морей Австралии и отмечен в Индийском океане на палеошироте 60° ю.ш., что абсолютно нехарактерно для столь высоких широт. Северная граница промежуточной

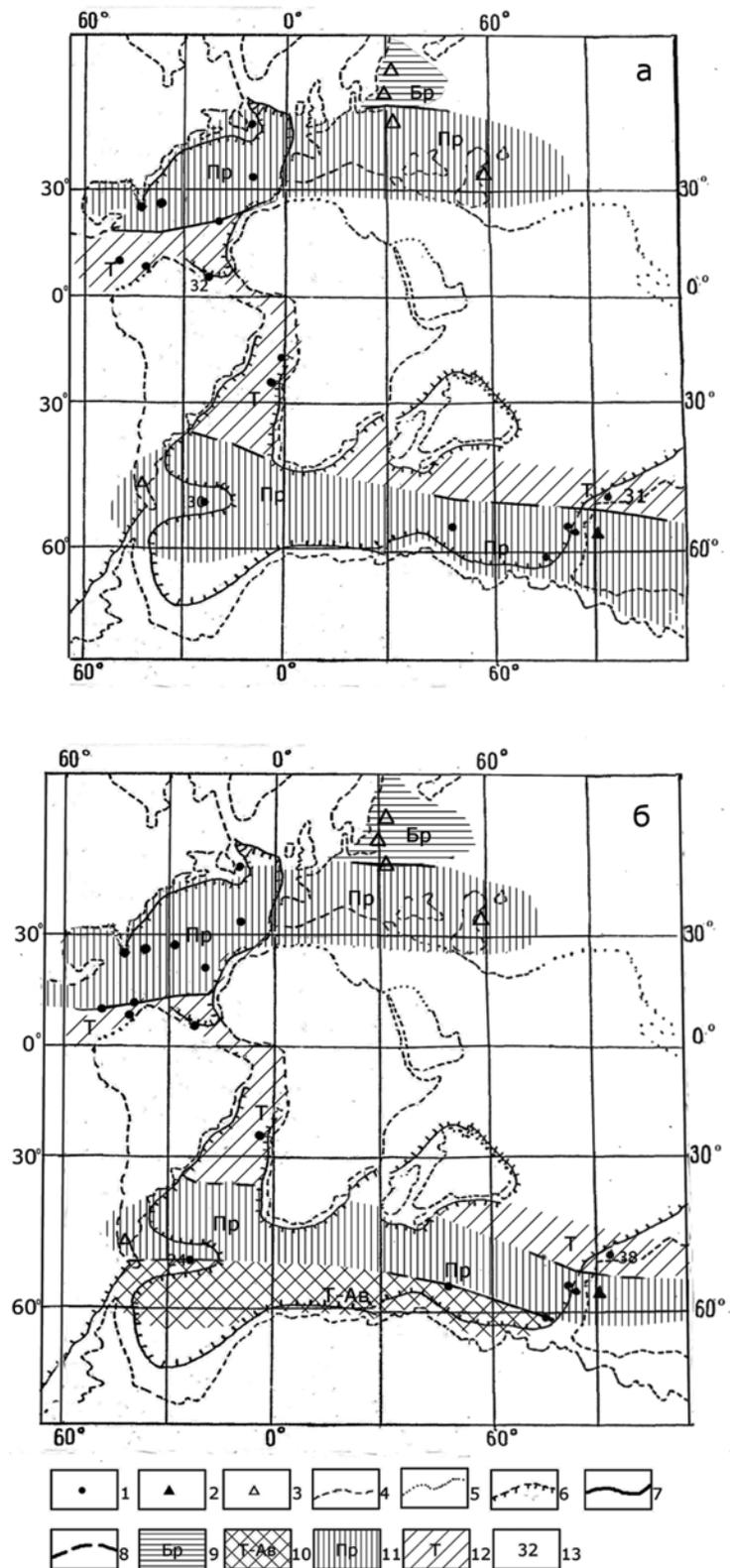


Рис. 5. Климатическая зональность в среднем (а), позднем туроне (б): 1–6 – см. на рис. 2; 7, 8 – границы климатических зон (7 – достоверные, 8 – гипотетические); 9–12 – климатические зоны (9 – бореальная, 10 – теплоавстральная, 11 – промежуточная, 12 – тетическая); 13 – палеотемпературы по литературным данным.

зоны проходила в районе 40–45° ю.ш. Тетическая зона распространялась от 15° с.ш. до 40° ю.ш. (рис. 5а).

При анализе карты климатической зональности для основания стратиграфической зоны *Dicarinella concavata* (рис. 5б) выяснилось, что в позднем туроне наметилась тенденция к похолоданию. В северном полушарии бореальная зона распространялась до 40° палеошироты. Ее южная граница проходила через разрезы Карпат (Ion, 1983), где, преимущественно, был развит переходный теплобореальный тип танатоценоза. Аналогичный теплоавстралийский танатоценоз характеризует отложения Индийского и Атлантического океанов в высоких широтах южного полушария. Промежуточная зона занимала в Северном полушарии значительную акваторию от 40° до 10° с.ш. В Южном полушарии ее простирали от 50° до 35° ю.ш. в Атлантическом океане, и от 60° до 45° ю.ш. в Индийском. Тетическая зона сузилась на 20°. Она занимала акваторию от 10° с.ш. до 35° ю.ш. (рис. 5б).

Установленное нами положение климатических зон подтверждается рядом палеотемпературных оценок (Vice et al., Hart, 2000; Zakharov et al., 2006).

Выводы

Климат в туроне был теплым и однородным, то есть отсутствовала резкая дифференциация температурных условий. Температура поверхностной воды в высоких широтах не опускалась ниже 24°C, а в экваториальном пространстве колебалась в диапазоне 32–33°C. Такое распределение температур, по-видимому, было обусловлено тем, что температурный градиент между полюсом и экватором был невелик, и горизонтальная циркуляция поверхностных вод в туроне была относительно вялой.

В Северном полушарии было значительно прохладней, чем в Южном. Границы климатических зон на протяжении изучаемого временного интервала были расположены ассиметрично относительно экватора – смещены к югу.

Средний турон характеризуется аномально теплыми условиями. Температура поверхностных водных масс, даже в высоких широтах, достигала 30°C.

В позднем туроне наметилась некоторая тенденция к похолоданию. Наиболее ярко это проявилось в высоких широтах Индийского океана. Границы всех климатических зон сместились к экватору.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФАНО России (тема № 0149-2018-0005).

Литература

- Бараиш М.С. Четвертичная палеоокеанология Атлантического океана. М.: Наука, 1988. 272 с.
- Блюм Н.С., Соколова Е.А. Климатическая зональность Тихого океана в миоцене по данным анализа комплексов планктонных фораминифер // Бюл. МОИП. Отд. геол. 1987. Т. 62. Вып. 6. С. 116–130.
- Герман А.Б. Позднемиоценовый климат Евразии и Аляски. М.: Наука, 2004. 157 с.

- Зоненшайн Л.П., Савостин Л.А., Седов А.П.* Глобальные палеогеодинамические реконструкции для последних 160 млн л. // *Геотектоника*. 1984. № 3. С. 3–16.
- Кобаевич Л.Ф., Соколова Е.А.* Сравнение комплексов сантонских планктонных фораминифер из скважин Атлантического океана и некоторых эпиконтинентальных бассейнов Северного полушария // *Бюл. МОИП. Отд. геол.* 2003. Т. 78. Вып. 5. С. 60–70.
- Оськина Н.С., Иванова Е.В., Блюм Н.С.* Климатическая зональность Атлантического, Индийского и Тихого океанов в плиоцене // *Докл. АН СССР*. 1982. Т. 264. № 2. С. 400–407.
- Соколова Е.А.* Палеоокеанологические реконструкции Тихого океана для конца позднего мела (маастрихт) по планктонным фораминиферам. М., 1998. 174 с. [Деп. в ВИНТИ 26.05.98. № 1351 98].
- Соколова Е.А.* Отражение климатической зональности кампана в Мировом океане по планктонным фораминиферам // *Бюл. МОИП. Отд. геол.* 2001. Т. 76. Вып. 4. С. 57–61.
- Соколова Е.А.* Климатическая зональность Атлантического и Индийского океанов в позднем туроне, коньяке и сантоне по планктонным фораминиферам // *Меловая система России и ближайшего зарубежья: Проблемы стратиграфии и палеогеографии: Сборник научных трудов*. СПб: Изд-во НИИЗК СПбГУ, 2005. С. 102–110.
- Bice K.L., Huber B.T., Norris R.D.* Extreme polar warmth during the Cretaceous greenhouse // *Paleoceanography*. 2003. Vol. 18. No. 2. P. 1–11.
- Hart M.B.* Climatic modeling in the Cretaceous using the distribution of planktonic foraminifer // *Climates: Geological Society Special Publications*. 2000. No. 181. P. 33–41.
- Ion J.* Foraminifères planctoniques du crétacé supérieur de Tara Birsel (Carpatés Orientales) // *Etude micropaléontologique*. 1983. Vol. XXXI. P. 5–167.
- Peryt D.* Planktic foraminifera zonation of the Upper Cretaceous in the Middle Vistula River Valley, Poland // *Palaeontologica Polonica*. 1980. No. 41. P. 3–101.
- Robaszynski F., Caron M.* Foraminifères planctoniques du Crétacé: commentaire de la zonation Europe-Méditerranée // *Bull. Soc. Geol. France*. 1995. Vol. 166. No. 6. P. 681–692.
- Scotese C.R.* Jurassic and Cretaceous plate tectonic reconstructions // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 1991. No. 87. P. 493–501.
- Zakharov Y.D., Popov A.M., Shigeta Y., Smyshlyaeva O.P., Sokolova E.A., Nagenndra R., Velivetskaya T.G., Afanasyeva T.B.* New Maastrichtian oxygen and carbon isotope record: Additional evidence for warm low latitudes // *Geosciences Journal*. 2006. Vol. 10. No. 3. P. 339–359.

MIGRATION OF CLIMATIC ZONES OF THE ATLANTIC OCEAN AND ADJACENT REGIONS IN THE MIDDLE AND LATE TURONIAN BASED ON PLANKTIC FORAMINIFERA

E.A. Sokolova

*Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences,
36 Nahimovskiy prospekt, Moscow, 117997, Russia, e-mail: sokolova@ocean.ru
Submitted 15.02.2018, accepted 26.04.2018*

According to the distribution of planktic foraminifera shells (own data), the climatic zones corresponding to different types of water masses in the Atlantic and Southern parts of the Indian Ocean were reconstructed in the Turonian cores of deep-sea drilling. In addition, samples from Australia offshore seas and literature data on epicontinental basins of the Northern Hemisphere were used. Based on the spatial distribution of types of tanatocenoses, maps of climatic zonality for the early and middle Turonian have been reconstructed. A comparison of the reconstructions showed the dimensions of the climatic zones and the outline of their boundaries during the time interval. The middle Turonian was characterized by exceptionally warm and mild climatic conditions. In the late Turonian, there has been a certain tendency. This was most clearly manifested in the high latitudes of the Indian Ocean. The boundaries of all climatic zones shifted to the equator.

Keywords: Late Cretaceous, Turonian, foraminifera, paleoclimate, climatic zoning, water masses

References

- Barash M.S.* Chetvertichnaja paleookeanologija Atlanticheskogo okeana (Quaternary paleoceanology of the Atlantic). Moscow: Nauka, 1988, 272 p.
- Bice K.L., Huber B.T., and Norris R.D.* Extreme polar warmth during the Cretaceous greenhouse. *Paleoceanography*, 2003, Vol. 18, No. 2, pp. 1–11.
- Bljum N.S. and Sokolova E.A.* Klimaticheskaja zonal'nost' Tihogo okeana v miocene po dannym analiza kompleksov planktonnyh foraminifer (Climatic zonation of the Pacific Ocean in the Miocene according to the analysis of complexes of planktonic foraminifera). *Bjul. MOIP. Otd. geol.*, 1987, Vol. 62, No. 6, pp. 116–130.
- German A.B.* Pozdnemelovoj klimat Evrazii i Aljaski (Late Cretaceous climate of Eurasia and Alaska). Moscow: Nauka, 2004, 157 p.
- Hart M.B.* Climatic modeling in the Cretaceous using the distribution of planktonic Foraminifer. *Climates: Geological Society Special Publications*, 2000, No. 181, pp. 33–41.
- Ion J.* Foraminifères planctoniques du crétacé supérieur de Tara Birsel (Carpates Orientales). *Etude micropaléontologique*, 1983, Vol. 31, pp. 5–167.
- Kopaevich L.F. and Sokolova E.A.* Sravnenie kompleksov santonskih planktonnyh foraminifer iz skvazhin Atlanticheskogo okeana i nekotoryh jepikontinental'nyh bassejnov Severnogo polusharija (Comparison of the complexes of Santonian planktic foraminifera from the wells of the Atlantic Ocean and some epicontinental basins of the Northern Hemisphere). *Bjul. MOIP. Otd. geol.*, 2003, Vol. 78, No. 5, pp. 60–70.
- Os'kina N.S., Ivanova E.V., and Bljum N.S.* Klimaticheskaja zonal'nost' Atlanticheskogo, Indijskogo i Tihogo okeanov v pliocen (Climatic Zonality of the Atlantic, Indian and Pacific Oceans in the Pliocene). *Dokl. AN SSSR*, 1982, Vol. 264, No. 2, pp. 400–407.
- Peryt D.* Planktic foraminifera zonation of the Upper Cretaceous in the Middle Vistula River

- Valley, Poland. *Palaeontologica Polonica*, 1980, No. 41, pp. 3–101.
- Robaszynski F. and Caron M. Foraminiferes planctoniques du Cretace: commentaire de la zonation Europe-Mediterranee. *Bull. Soc. Geol. France*, 1995, Vol. 166, No. 6, pp. 681–692.
- Sokolova E.A. Paleookeanologicheskie rekonstrukcii Tihogo okeana dlja konca pozdnego mela (maastriht) po planktonnym foraminiferam (Paleoceanological reconstruction of the Pacific Ocean for the Late Cretaceous (Maastricht) planktic foraminifera). Moscow, 1998, 174 p., Dep. v VINITI 26.05.98, No. 1351–98.
- Sokolova E.A. Otrazhenie klimaticheskoy zonal'nosti kampana v Mirovom okeane po planktonnym foraminiferam (Reflection of the climatic zonation of the Campanian in the World Ocean for planktic foraminifera). *Bjul. MOIP. Otd. geol.*, 2001, Vol. 76, No. 4, pp. 57–61.
- Sokolova E.A. Klimaticheskaja zonal'nost' Atlanticheskogo i Indijskogo okeanov v pozdnem turone, konjake i santone po planktonnym foraminiferam (Climatic zonality of the Atlantic and Indian Oceans in the Late Turonian, Coniacian, and planktic foraminifers), In: Melovaja sistema Rossii i blizhajshego zarubezh'ja: problemy stratigrafii i paleogeografii (The Cretaceous System of Russia and the Near Abroad: Problems of Stratigraphy and Paleogeography). Sankt-Peterburg: NIIZK SPbGU, 2005, pp. 102–110.
- Scotese C.R. Jurassic and Cretaceous plate tectonic reconstructions. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 1991, No. 87, pp. 493–501.
- Zakharov Y.D., Popov A.M., Shigeta Y., Smyshlyaeva O.P., Sokolova E.A., Nagenndra R, Velivetskaya T.G., and Afanasyeva T.B. New Maastrichtian oxygen and carbon isotope record: Additional evidence for warm low latitudes. *Geosciences Journal*, 2006, Vol. 10, No. 3, pp. 339–359.
- Zonenshajn L.P. Savostin L.A., and Sedov A.P. Global'nye paleogeodinamicheskie rekonstrukcii dlja poslednih 160 millionov let (Global paleogeodynamic reconstructions for the last 160 million years). *Geotektonika*, 1984, No. 3, pp. 3–16.

БАЗОВЫЕ ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ВЕРХНЕГО СЛОЯ ВОД ЮГО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ КАРСКОГО МОРЯ В ЗИМНИЙ ПЕРИОД

В.Ю. Федулов, Н.А. Беляев, А.В. Колоколова, А.Ф. Сажин

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, 117997, Москва,
Нахимовский проспект, д.36, e-mail: fedulov.vy@ocean.ru*

Статья поступила в редакцию 02.02.2018, одобрена к печати 26.04.2018

Приведены данные по распределению взвешенного вещества, растворенного и взвешенного органического углерода, хлорофилла «а» и феофитина в верхнем слое вод юго-западной части Карского моря в зимний период. Впервые получены значения концентраций вышеуказанных параметров для февраля-марта. Показано резкое различие их распределения для открытой части моря и зоны речного стока и существенное снижение средних значений всех показателей по сравнению с весенним и летним периодами.

Ключевые слова: Карское море, зимний период, взвесь, органический углерод, хлорофилл «а», поверхностный слой вод

Введение

К настоящему времени экосистема Карского моря является наиболее подробно изученной среди морей Российской Арктики (Романкевич, Ветров, 2001; Флинт, 2010; Экосистема Карского моря, 2015; Stein et al., 2003). Однако практически все исследования в Карском море проводились в летний и осенний периоды, хотя сезонные изменения играют в арктических морях определяющую роль. В 2016 г. появилась возможность проводить попутные исследования в ходе регулярных рейсов судов компании «Норильский Никель» по маршруту Мурманск – Дудинка (Сажин и др., 2017) в периоды тяжелой ледовой обстановки в Карском море. В настоящей работе впервые определено содержание и описаны тенденции распределения взвешенного вещества, взвешенного и растворенного органического углерода, хлорофилла «а» и феофитина в поверхностном слое вод в зимний период.

Материалы и методы

Отбор проб проводился в ходе рейса дизель-электрохода «Норильский никель», проходившего с 26 февраля по 14 марта 2017 года. Судно следовало по маршруту Мурманск – Дудинка – Мурманск (рис. 1А). В период проведения исследований средняя температура воздуха в Карском море составляла -12°C (-6 , -22°C). Поверхность моря по пути следования судна преимущественно была покрыта льдом, лишь изредка наблюдались свободные ото льда участки воды. Фиксировались как сплошные ле-

довые поля толщиной до 1 м, так и участки сплоченного мелкобитого льда. Граница мелкобитого льда и сплошных ледовых полей располагалась между ст. 3 и 14.

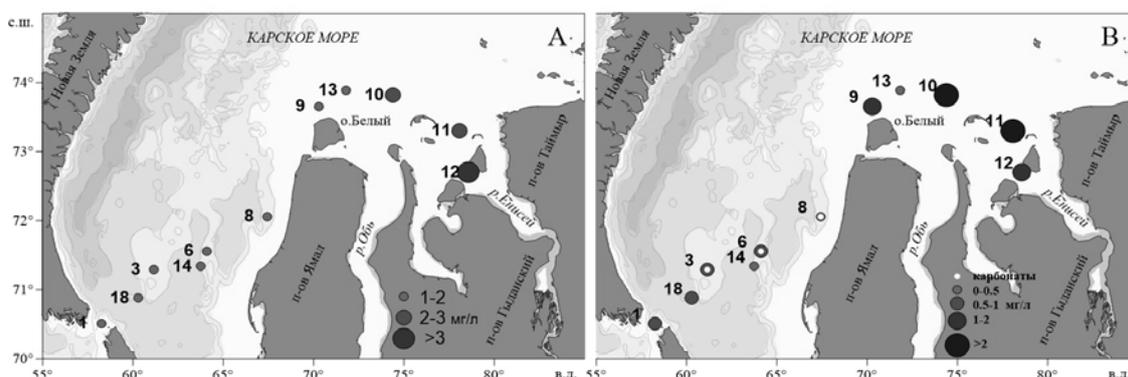


Рис. 1. Содержание растворенного органического углерода (А) и взвешенного вещества (В) в поверхностном слое вод Карского моря в феврале-марте 2017 г.

Пробы морской воды отбирались ведром из разводий на покрытой льдом поверхности моря по ходу движения судна в 30 л полиэтиленовую емкость, из которой сразу после окончания отбора проводился отбор проб воды на различные виды анализов (Сажин и др., 2017). Таким образом, обеспечивалась гомогенизация пробы на этапе отбора. За время отбора пробы судно успевало продвинуться на 2–3 мили. Повышенное внимание уделялось предотвращению загрязнения проб на палубе судна, исключался контакт пробоотборника и отбираемой пробы с любыми палубными конструкциями и бортом судна, пробоотбор осуществлялся с наветренной части максимально близко к носовой оконечности.

Определение температуры поверхностного слоя воды осуществлялось LCD-термометром (HANNA Checktemp1). Измерение производили на борту, сразу после отбора пробы. Соленость воды определяли в лабораторных условиях солемером Kelilong PHT-028.

Для определения общей концентрации взвешенного вещества (взвеси) пробы морской воды объемом 1.5–5 л фильтровали под вакуумом (0.4 атм.) через предварительно взвешенные лавсановые ядерные фильтры диаметром 50 мм с размером пор 0.45 мкм (Кравчишина, 2009). Определение весов фильтров и расчет концентраций взвеси проводили в стационарной лаборатории в ИО РАН. Как и в предыдущих исследованиях Карского моря (Беляев и др., 2010, 2015; Сажин и др., 2017), для определения растворенного (РОУ) и взвешенного (ВОУ) органического углерода, а также содержания карбонатов во взвеси, пробы фильтровали через предварительно прокаленные при 430°C фильтры GF/F диаметром 47 мм с условным диаметром пор 0.7 мкм. После фильтрации фильтры замораживали и хранили при –20°C до последующих анализов. Фильтрат для определения РОУ отбирался в стеклянные вials (22 мл), подкислялся до pH₂ и хранился при температуре +4°C. Определение концентраций РОУ, ВОУ и карбонатов производили на анализаторе Shimadzu TOC-Vcph с дополнительным модулем SSM-5000A (Беляев и др., 2010).

Концентрацию хлорофилла «а» и феофитина определяли флуориметрическим методом (Мошаров, 2010). Пробы воды (800 мл) сразу после отбора фильтровали через фильтры GF/F под вакуумом (0.2 атм.). Фильтры помещали в пробирки, заливали 90% раствором ацетона и хранили при температуре +4°C в темноте до проведения анализов. Определение флуоресценции экстракта выполняли флуориметром фирмы Turner Designs Instruments.

Результаты

Основные результаты измерений представлены в Таблице 1.

Таблица 1. Геохимические параметры верхнего слоя вод Карского моря в феврале-марте 2017 г.

№ ст.	Дата	Координаты (ггмм,мм)		S	T	POY	Взвесь	BOY	Карб.	BOY/ Взвесь	Хлро- филл«а»	Феофи- тин	Хл«а»/ BOY	
		с.ш.	в.д.											psu
Западный р-н	1	28.02	70°30.66'	58°14.47'	–	–1.4	1.08	0.56	51.71	н/о	9.3	0.11	0.01	0.22
	18	10.03	70°52.7'	59°76.46'	31.8	–1.6	1.30	0.92	43.92	н/о	4.8	0.12	0.01	0.26
	3	28.02	71°17.5'	61°09.88'	31.0	–1.8	1.27	0.50	42.63	1.5	8.5	0.45	н/о	1.05
	14	10.03	71°20.38'	63°44.39'	29.8	–1.6	1.29	0.21	44.91	н/о	21.3	0.02	0.01	0.05
	6	28.02	71°33.77'	64°06.12'	32.6	–1.8	1.16	0.64	42.63	1.75	6.7	0.11	0.09	0.26
	8	28.02	72°03.68'	67°26.31'	29.3	–1.8	1.18	0.28	30.87	1.49	11.1	0.07	0.01	0.23
	Среднее значение по западному р-ну				30.9	–1.7	1.2	0.52	42.80	1.60	10.3	0.15	0.03	0.30
Траверз о. Белый	9	1.03	73°39.42'	70°16.69'	27.9	–1.9	1.41	1.78	70.74	н/о	4.0	0.04	0.05	0.06
	13	9.03	73°53.28'	71°48.55'	31.8	–1.9	1.51	0.46	82.04	н/о	17.9	0.05	0.07	0.06
Восточный р-н	10	1.03	73°49.04'	73°82.37'	30.7	–1.8	2.43	7.33	307.2	н/о	4.2	0.19	0.23	0.06
	11	1.03	73°18.29'	78°04.88'	28.2	–1.5	2.64	18.11	483.2	н/о	2.7	0.17	0.43	0.04
	12	1.03	72°42.03'	78°34.45'	16.3	–0.7	3.22	1.61	141.7	н/о	8.8	0.08	0.15	0.06
	Среднее значение по восточному р-ну				25.1	–1.3	2.8	9.0	310.7	-	5.2	0.15	0.27	0.05
Среднее значение				28.9	–1.6	1.7	2.9	122.0	1.6	9.0	0.13	0.11	0.21	
Медианное значение				30.3	–1.8	1.3	0.6	51.7	1.5	8.5	0.11	0.06	0.06	
Макс. значение				32.6	–0.7	3.2	18.11	483.2	1.75	21.3	0.45	0.43	1.05	
Мин. значение				16.3	–1.9	1.1	0.28	30.87	1.49	2.7	0.02	0.01	0.04	
Число станций				10	11	11	11	11	11	11	11	11	11	

Соленость и температура. Учитывая способы отбора проб и измерения температуры воды можно отметить, что значения температуры по всем исследованным пробам достаточно однородны. Из всего массива повышенными значениями температуры выделяются 2 станции: ст. 1, расположенная в Карских воротах, и ст. 12 в устьевой зоне Енисея. На ст. 12 также зафиксировано минимальное значение солености (16.3 psu). В водах более низкой солености пробы воды отобрать не удалось в связи с тяжелой ледовой обстановкой. Наибольшая изменчивость солености поверхностных вод наблюдалась в зоне влияния речного стока (от о. Белый до устья Енисея), но распреснение поверхностных вод прослеживалось слабо. Станций с соленостью вод меньше 27 psu в районе исследований не выявлено (кроме ст. 12). Наибольший градиент солености наблюдался между станциями 9 и 13 (27.9–31.8 psu).

POY. Распределение POY в поверхностном слое вод исследуемого района относительно однородно (1.1–3.2 мг/л, среднее 1.7 мг/л). При проведении ана-

лиза зависимости содержания РОУ от солености (Беляев и др., 2010, 2015; Stein et al., 2003) по всем исследованным пробам линейной зависимости не выявлено. Повышенное содержание РОУ выявлено на трех станциях восточного района (ст. 10, 11, 12 рис. 2А I).

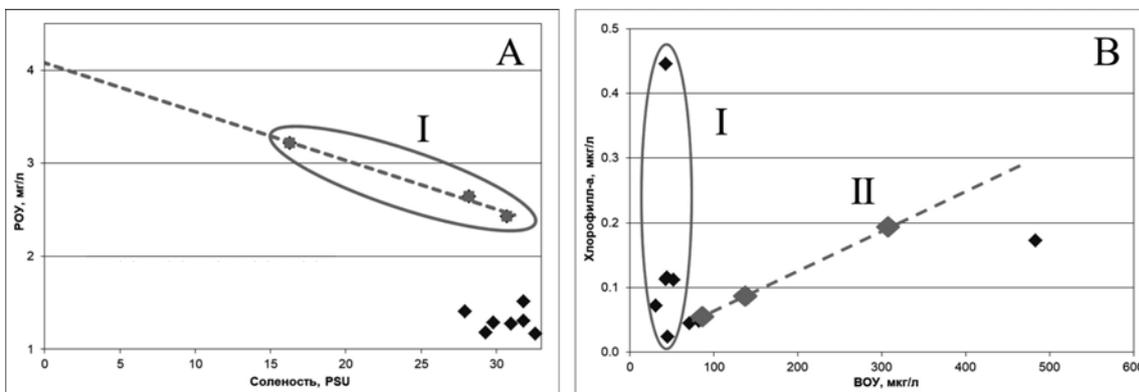


Рис. 2. Зависимость содержания РОУ от солености (А) I – линейная зависимость (повышенные концентрации РОУ) и отношение хлорофилл «а»/ВОУ (В) I – повышенные концентрации хлорофилла «а» относительно ВОУ, II – линейная зависимость.

Взвесь. Диапазон концентрации взвеси в поверхностных водах изменялся в широких пределах (0.28–18.11 мг/л, среднее 2.9 мг/л, табл. 1). При этом средние значения концентрации на станциях, расположенных западнее траверза о. Белый (рис. 1В, ст.1, 18, 3, 14, 6, 8) были существенно ниже – 0.52 мг/л, чем средние значения на станциях, расположенных восточнее – 9.0 мг/л (ст. 10, 11, 12). При этом по концентрациям взвеси среди исследованных проб резко выделяются ст. 10 и 11. На этих двух станциях концентрация взвеси более, чем в 10 раз превышала медианные значения. На ст. 12, расположенной ближе к устью Енисея, воды которой обладают существенно меньшей соленостью, содержание взвешенного вещества было существенно ниже.

ВОУ. Картина распределения ВОУ схожа с картиной распределения концентрации взвеси (30.87–483.2 мкг/л, среднее 122.0 мкг/л, табл. 1). В восточной части исследуемого района наблюдаются повышенные средние концентрации ВОУ, в западной – пониженные, при этом диапазон изменчивости концентраций ВОУ в западной части значительно меньше диапазона изменчивости концентраций взвеси. Необходимо отметить, что на ряде станций (ст. 3, 6, 8) отмечено присутствие карбонатов во взвеси, что является довольно редким явлением для акватории Карского моря (Беляев и др., 2010, 2015). Максимумы концентраций ВОУ совпадают с максимумами концентраций взвеси (ст. 10, 11 307.2 и 483.2 мкг/л соответственно), при этом разница в содержании ВОУ между этими станциями значительно меньше в сравнении с колебаниями концентраций самой взвеси.

ВОУ/Взвесь. Для восточной части исследуемого района относительное содержание ВОУ во взвеси ниже, чем для западной, при этом общая доля ВОУ во взвеси невелика и составляет 9% (табл. 1). Наибольшее содержание ВОУ во взвеси отмечено на ст. 14, расположенной на границе сплошных ледовых полей и битого льда

и ст. 13 – в зоне максимального градиента солености. Станции 10 и 11 характеризуются минимумами относительных концентраций ВОУ при аномально высоких концентрациях взвеси.

Хлорофилл «а». Во всем исследуемом районе наблюдались низкие концентрации хлорофилла «а», показывающие отсутствие активных фотосинтетических процессов и низкое содержание фитопланктона. При этом в восточной части концентрации феофитина в водорослях превышали концентрации хлорофилла «а». В западной части содержание феофитина ниже, чем хлорофилла «а». Единственная станция, на которой содержание хлорофилла «а» превосходило среднюю более, чем в три раза (ст.3–0.45 мкг/л) была расположена в западной части моря на границе мелкобитый лед – ледовые поля.

Хлорофилл «а»/ВОУ. Анализ отношения хлорофилл «а»/ВОУ позволил выявить три типа станций (рис. 2В). К первому типу относятся станции расположенные в западной части моря (ст. 1, 18, 3, 14, 6, 8). Для них характерны пониженные концентрации ВОУ, повышенные хлорофилла «а» и отсутствие зависимости между их концентрациями (рис. 2В I). Второй тип располагался в восточной части моря (ст. 9, 13, 10, 12). Для него характерно наличие линейной корреляции между содержанием ВОУ и концентрациями хлорофилла «а». (рис. 2В II, $R^2=0.99$). Выявленная зависимость может указывать на единый источник поступления взвеси в восточную часть исследуемого района. К третьему типу можно отнести ст. 11, относительное содержание хлорофилла «а» в водах которой минимально, несмотря на высокие концентрации взвеси.

Обсуждение

Как описано выше, материалы, представленные в настоящей работе, получены в сезон поздней зимы, ранее не охваченный исследованиями. Показано, что в период наблюдений концентрации исследуемых параметров ниже не только летних значений (Беляев и др., 2010, 2015; Мошаров и др., 2016), но и величин зафиксированных в начале весеннего периода (Сажин и др., 2017). Так, например, средние концентрации ВОУ в летне-осенний период для района исследований превышали наблюдаемые более чем в 2 раза, а в ранне-весенний в 1,5. В отличие от исследований 2016 года (ранне-весенний период) по комплексному анализу полученных данных представляется возможным выделить 2 хорошо различающихся района: западнее траверза о. Белый и восточнее, а также пограничную зону между ними. В ранне-весенний период провести такое разделение было невозможно (Сажин и др., 2017). При этом распреснение поверхностных вод в зимний сезон не может служить опорным параметром для проведения границы, так как может быть обусловлено не только поступлением в акваторию вод речного стока, но и локальным таянием льда.

Для восточного района даже в феврале-марте можно отметить существенное влияние речного стока, хотя и гораздо менее явно выраженное, чем в летний период. Это проявляется в относительно повышенных концентрациях РОУ, ВОУ,

взвеси и пониженных – хлорофилла «а». Относительно высокие значения феофитина, по сравнению с концентрациями хлорофилла «а», показывают существенную деградацию ОВ данного района. Для РОУ поверхностных вод данного района (рис 2А I) прослеживается линейный тренд зависимости от солености с расчетным содержанием РОУ в пресных водах порядка 4 мг/л, что сопоставимо со значениями, фиксировавшимися в 2016 году в пресных водах р. Енисей (Сажин и др., 2017). При этом концентрации РОУ вод восточного района существенно превосходят как концентрации РОУ вод западного района, так и средние концентрации РОУ для всего исследуемого района (Беляев 2010, 2015, Сажин 2017), что затрудняет анализ их генезиса и не позволяет однозначно утверждать, что они сформировались из-за смешения пресных и морских вод. Также в этом районе выделяются воды ст. 10 и 11, которые аномально обогащены взвесью, относительно обеднены ВОУ и хлорофиллом «а». Состав взвешенного вещества в водах данных станций может формироваться не только под влиянием вод речного стока, но и из-за процессов взмучивания поверхностного слоя донных осадков.

В западном районе концентрации взвеси, ВОУ и РОУ понижены относительно средних значений, при этом доля хлорофилла «а» в составе ВОУ существенно выше. Также регистрировалась повышенная доля ВОУ в составе взвеси. В пробах воды данного района отмечено присутствие карбонатов, не поставляемых с водами речного стока. Содержание в пробах хлорофилла «а» превышало содержание феофитина. Совокупность данных факторов позволяет предположить существенный вклад автохтонного материала в формирование состава взвеси.

Для всей исследованной акватории можно предположить существование двух фронтальных зон расположенных в районе границы речных и морских вод (ст. 9, 13) и границы мелкобитого и сплошного льда (ст. 3, 14). Несмотря на зимний период в этих районах наблюдаются наиболее высокие содержания ОВ в составе взвеси, а на границе битый–сплошной лед повышенное значение хлорофилла «а», что может говорить о поступлении новообразованного органического вещества в поверхностный слой вод в данных районах.

Авторы статьи выражают благодарность экипажу д/э «Норильский Никель» за содействие при выполнении судовых работ и компании «Норильский Никель» за возможность использовать ее флот для научных исследований, а также сотрудникам ММБИ РАН Ишкулову Д.Г, Дерябину А.А. и Болтенковой М.А. за помощь в подготовке и проведении экспедиции. Работа выполнена в рамках государственного задания ФАНО России (тема № 0149-2018-0005) при частичной поддержке РФФИ (проекты № 16-05-00032, № 18-05-00326).

Литература

- Беляев Н.А., Поняев М.С., Кирютин А.М. Органическое вещество воды, взвеси и донных осадков центральной части Карского моря // *Океанология*. 2015. Т. 554. С. 563–576.

- Беляев Н.А., Поняев М.С., Пересыпкин В.И. Органический углерод воды, взвеси и верхнего слоя донных осадков Карского моря // *Океанология*. 2010. Т. 50. № 5. С. 748–757.
- Кравчишина М.Д. Взвешенное вещество Белого моря и его гранулометрический состав. М.: Научный мир, 2009. 264 с.
- Мошаров С.А., Демидов А.Б., Симакова У.В. Особенности процессов первичного продуцирования в Карском море в конце вегетационного периода // *Океанология*. 2016. Т. 56. № 1. С. 90–100.
- Мошаров С.А. Распределение первичной продукции и хлорофилла «а» в Карском море в сентябре 2007 г. // *Океанология*. 2010. Т. 50. № 6. С. 933–941.
- Романкевич Е.А., Ветров А.А. Цикл углерода в арктических морях России. М.: Наука, 2001. 302 с.
- Сажин А.Ф., Мошаров С.А., Романова Н.Д., Беляев Н.А., Хлебонашев П.В., Павлова М.А., Дружкова Е.И., Флинт М.В., Копылов А.И., Заботкина Е.А., Ишкулов Д.Г., Макаревич П.Р., Пастернак А.Ф., Маккавеев П.Н., Дроздова А.Н. Планктонное сообщество Карского моря ранней весной // *Океанология*. 2017. Т. 57. № 1. С. 246–248.
- Флинт М.В. 54-й экспедиционный рейс научно-исследовательского судна «Академик Мстислав Келдыш» в Карское море // *Океанология*. 2010. Т. 50. № 5. С. 677–682.
- Экосистема Карского моря новые данные экспедиционных исследований. Материалы научной конференции. М.: АИР, 2015. 320 с.
- Siberian river run-off in the Kara Sea / Ed. R.Stein, K.Fahl, D.K. Futterer, E.M. Galimov and O.V. Stepanets // Elsevier Science. 2003a. 488 p.

BASE GEOCHEMICAL PARAMETERS OF THE SURFACE WATER LAYER SOUTHWESTERN KARA SEA IN THE WINTER SEASON

V.Y. Fedulov, N.A. Belyaev, A.V. Kolokolova, A.F. Sazhin

*Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, 36 Nahimovskiy prospekt,
Moscow, 117997, Russia, e-mail: fedulov.vy@ocean.ru
Submitted 02.02.2018, accepted 26.04.2018*

The suspended matter (SM), dissolved (DOC) and particulate organic carbon (POC), chlorophyll «a» and pheophytin distributions in surface water layer of southwest Kara Sea are presented. The concentration values of the above parameters were first obtained for February-March, previously unaffected by the previous studies. It was established that the measured concentrations were significantly lower in the winter period than those observed earlier in the summer and spring seasons. According to the complex data analysis, two separate regions are clearly distinguished: to the west and east of the Belyy Island traverse. The eastern region is under the decisive influence of a river discharge, manifested in relatively high concentrations of suspended matter, DOC and POC and relatively low concentrations of chlorophyll «a». Concentrations of suspended matter, dissolved and suspended organic carbon are reduced relative to the mean values, while the share of chlorophyll «a» in the POC is much higher in the western region. An increased POC concentration in the suspended matter is also recorded. Also, in the samples of the western region, the presence of carbonates, not supplied with the river discharge, was noted. The combination of these factors makes it possible to suggest a significant contribution of the autochthonous material to the suspended matter composition. The high content POC and chlorophyll «a» in the suspended matter could mark the supply of newly formed organic matter to the surface layer of water on the border of broken ice – ice fields.

Keywords: Kara Sea, winter season, suspended matter, organic carbon, chlorophyll «a», surface water layer.

References

- Belyaev N.A., Ponyaev M.S., and Kiryutin A.M.* Organic carbon in water, particulate matter, and upper layer of bottom sediments of the central part of the Kara Sea, *Oceanology*, 2015, Vol. 55, No. 4, pp. 508–520.
- Belyaev N.A., Ponyaev M.S., and Peresyphkin V.I.* The organic carbon in the water, the particulate matter, and the upper layer of the bottom sediments of the west Kara Sea. *Oceanology*, 2010, Vol. 50, No. 5, pp. 706–715.
- Ekosistema Karskogo morya, novye dannye ekspeditsionnykh issledovaniy, Materialy nauchnoi konferentsii (Ecosystem of the Kara Sea, new data from expeditionary research. Materials of the scientific conference), Moscow: APR, 2015, 320 p.
- Flint M.V.* Cruise 54th of the research vessel Akademik Mstislav Keldysh in the Kara sea. *Oceanology*, 2010, Vol. 50, No. 5, pp. 677–682.
- Kravchishina M.D.* Vzveshennoe veshchestvo Belogo morya i ego granulometricheskii sostav (Suspended particulate matter in the White Sea and its grain size distribution). Moscow: Nauchnyi mir, 2009, 264 p.
- Mosharov S.A., Demidov A.B., and Simakova U.V.* Peculiarities of the primary production process in the Kara Sea at the end of the vegetation season. *Oceanology*, 2016, Vol. 56, No. 1, pp. 84–94.
- Mosharov S.A.* Distribution of the primary production and chlorophyll a in the Kara Sea in September of 2007. *Oceanology*, 2010, Vol.50, No. 6, pp. 884–892.
- Pasternak A.F., Makkaveev P.N., and Drozdova A.N.* The plankton community of the Kara Sea in early spring. *Oceanology*, 2017, Vol. 57, No. 1, pp. 222–224.
- Romankevich E.A., and Vetrov A.A.* Tsikl ugleroda v arkticheskikh moryakh Rossii (Cycle of Carbon in the Russian Arctic Seas). Moscow: Nauka, 2001, 302 p.
- Sazhin A.F., Mosharov S.A., Romanova N.D., Belyaev N.A., Khlebopashev P.V., Pavlova M.A., Druzhkova E.I., Flint M.V., Kopylov A.I., Zobotkina E.A., Ishkulov D.G., Makarevich P.R., Pasternak A.F., Makkaveev P.N., and Drozdova A.N.* The plankton community of the Kara Sea in early spring. *Oceanology*, 2017, Vol. 57, No. 1, pp. 222–224.
- Siberian river run-off in the Kara Sea, Ed. R.Stein, K.Fahl, D.K. Futterer , E.M. Galimov and O.V. Stepanets, Elsevier Science, 2003a, 488 p.

МОНИТОРИНГ ВОДНО-ЛЕДОВОЙ ЭКОСИСТЕМЫ ФЬОРДА НЕЛЛА В ПЕРИОД РАБОТ РОССИЙСКОЙ АНТАРКТИЧЕСКОЙ ЭКСПЕДИЦИИ (2018)

И.А. Мельников

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН
117997, Москва, Нахимовский проспект, д. 36, e-mail: migor39@yandex.ru
Статья поступила в редакцию 20.04.2018, одобрена к печати 25.05.2018*

В рамках научной программы Российской Антарктической экспедиции (сезон 2017–2018), во фьорде Нелла (ст. Прогресс, Восточная Антарктика) был выполнен мониторинг водно-ледовой экологической системы по теме «Оценка экологии зоны морских льдов Антарктики», который проводится здесь, начиная с Международного полярного года (2007). Выполнен сбор водных и ледовых проб в реперных точках фьорда 23 и 29 декабря для проведения химического анализа и изучения видового состава водной и ледовой биоты.

Ключевые слова: Антарктика, морской лед, экосистема, биота

Ежегодно, начиная с Международного полярного года (2007), в период работ Российской Антарктической экспедиции (РАЭ) у континентальной станции «Прогресс», расположенной на побережье залива Прюдс Земли Принцессы



Рис. 1. Фьорд Нелла, расположенный на побережье залива Прюдс Земли Принцессы Елизаветы, Восточная Антарктика ($69^{\circ}22'$ ю.ш. и $76^{\circ}23'$ в.д.), где, начиная с МППГ-2007, проводится ежегодный мониторинг водно-ледовой экологической системы (Мельников, 2007; Мельников, Гогорев, 2008; Мельников, Ратькова, 2018).

Елизаветы (восточная Антарктика), проводится мониторинг водно-ледовой экологической системы во фьорде Нелла (рис. 1) по теме «Оценка экологии зоны морских льдов Антарктики» («Криаль»). Цель мониторинга – показать роль биоты морских льдов в глобальных биосферных процессах Южного океана, отвечающую идеологии ключевых международных программ, направленных на изучение глобальных изменений климата и биосферы (WCRP и IGBP), находящихся под эгидой ООН (Meiners et al., 2012).

В текущем году полевые работы были выполнены у мыса Биологический в трех реперных точках фьорда. Точки отбора кернов льда определялись GPS и выполнялись если это позволяла ледовая обстановка, в координатах предыдущих съемок 52–62 РАЭ в направлении от берега к центру фьорда. Сбор водных и ледовых проб на предмет изучения состава, структуры и функционирования водно-ледовой экосистемы проводился в период начала таяния ледового покрова. Полевые работы включали в себя: 1 – сбор ледовых кернов в трех точках на разрезе от берега к центру фьорда; 2 – отбор проб подледной воды с поверхностного горизонта на предмет измерения гидрохимических параметров; 3 – СТД-зондирование в точках отбора кернов водной толщи от поверхности до дна.

Для отбора ледовых кернов использовали кольцевой бур с внутренним диаметром 180 мм. При каждом отборе ледового керна из пробуренной лунки с помощью пластикового шприца отбирали пробы поверхностной морской воды. Ледовый керн делили на кратные секции по 10 или 20 см в зависимости от толщины льда. Пробу каждой секции ледового керна помещали в пластиковые контейнеры и затем растапливали при комнатной температуре (рис. 2, 3). Собранные пробы хранились в морозильной камере нэс «Академик Федоров» до проведения измерений. Соленость морского льда измеряли на солемере Beckman SoluBridge (модель RB-5-349A, точность измерения $\pm 0.1\%$). Концентрации минеральных форм крем-



Рис. 2. Отбор ледового керна 141 см.



Рис. 3. Полевая обработка ледовых кернов.

ния и фосфора в пробах растопленного льда и морской воды измеряли в стационарных условиях на борту нэс «Академик Федоров». Часть талой воды ледовой пробы использовали для концентрирования ледовых организмов на предмет выявления видового состава ледовой флоры и фитопланктона. Для этого воду концентрировали до объема 50 мл методом обратной фильтрации через нуклеопоровый фильтр с размером пор 1 мк. Сконцентрированные пробы фиксировали формалином до концентрации 1% для последующего анализа видового состава в стационарных условиях лабораторий ИО РАН и МГУ. Все методы обработки водных и ледовых проб, а также оборудование – стандартные, применяемые в гидробиологической практике РАН и Госкомгидромета.

Первые отборы проб были выполнены 23 декабря 2018 г. Данные приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Точка	Время	Широта	Долгота	Толщина, см
№1	23.12.2017	69°22.775'S	76°21.992' E	114
№2	23.12.2017	69°22.869'S	76°21.782' E	134
№3	23.12.2017	69°22.945'S	76°21.496' E	158

Спустя шесть дней на данном разрезе были повторно выполнены сборы водных и ледовых проб (табл. 2).

Таблица 2.

Точка	Время	Широта	Долгота	Толщина, см
№1	29.12.2017	69°22.775'S	76°21.992' E	99
№2	29.12.2017	69°22.869'S	76°21.782' E	108
№3	29.12.2017	69°22.945'S	76°21.496' E	123

После отбора кернов лунки были разбурены мотобуром «Jiffy» с использованием шнека диаметром 20 см и далее с помощью пешни обколоты до размера майны, позволяющей провести зондирование слоя морской воды от поверхности до дна профилографом SBE 19plus. В собранных пробах воды и льда были выполнены определения содержания кремния, минерального фосфора, нитратного и нитритного азота, аммонийного азота. (табл. 3).

Таблица 3.

	номер части керна, пробы	Si, μM	P-PO ₄ , мкМоль/л	N-NO ₂ , мкМоль/л	N-NO ₃ , мкМоль/л	N-NH ₄ , мкМоль/л	S‰ соленость
лед 23.12	1-1	1,8	2,88	0,00			1,51
	1-2	0,4	1,27	0,00			1,37
	1-3	0,5	1,29	0,01			1,36
	2-1	1,7	0,90	0,02			1,21
	2-2	0,7	0,54	0,01			1,53
	2-3	1,1	1,04	0,04			2,02
	3-1	1,7	1,21	0,03			2,83
	3-2	0,9	0,80	0,02			3,52
	3-3	1,0	0,58	0,01			3,55
Пов.вода 23.12.	27	6,0	1,35	0,19	0	3,85	
	28	4,3	1,47	0,32	0	0,73	
	29	4,0	2,69	0,22	0	2,45	
лед 29.12	1-1	1,1	1,53	0,18			0,70
	1-2	1,6	2,40	0,24			1,27
	1-3	0,9	2,56	0,21			0,62
	2-1	0,8	1,56	0,17			0,36
	2-2	1,6	2,33	0,23			1,28
	2-3	1,5	1,63	0,21			1,45
	3-1	0,7	3,48	0,13			1,03
	3-2	0,5	1,30	0,12			1,68
	3-3	0,9	1,65	0,23			2,11
Пов.вода 29.12.	1	4,3	0,28	0,10	0,09	1,33	
	2	3,0	0,20	0,10	0	0,52	
	3	1,9	0,16	0,08	0	0,50	

Хочется выразить благодарность сотрудникам сезонного состава РАЭ-63 Абрамову А.А., Кузнецову В.Л., Кашину С.В., Аршакяну Г.Г. и гидрологу станции «Прогресс» Семенову А. В. за проведение полевых работ на льду фьорда Нелла, а также ведущему гидрохимику ВНИРО Гангнус И.А. за выполнение гидрохимических анализов водных и ледовых проб на борту НЭС «Академик Федоров».

Настоящая работа выполнена при финансовой поддержке темы госзадания № 0149-2018-0008.

Литература

- Мельников И.А.* Исследования в Антарктике по программе МПГ // Бюл. МПГ. 2007. С. 14–16.
- Мельников И.А., Гогорев Р.М.* Криобиологические характеристики морского льда прибрежной зоны Антарктики // Природные процессы в полярных областях Земли / Отв. ред. В.М. Котляков. 2008. Т. 3. Ч. 2. С. 226–233.
- Мельников И.А., Ратькова Т.Н.* Характеристика фитоценоза морского льда фьорда Нелла (залив Прюдс, восточная Антарктика) // Проблемы Арктики и Антарктики 2018. [в печати].
- Meiners K. M., I. Melnikov, B. Raymond.* Chlorophyll «a» in Antarctic sea ice from historical ice core data // *Geophysical Journal Letters*. 2012. Vol. 39. L21602. doi 10.1029/2012GL053478.

MONITORING OF THE NELL FJORD WATER-ICE ECOSYSTEM DURING THE PERIOD OF WORK THE RUSSIAN ANTARCTIC EXPEDITION (2018)

I.A. Melnikov

*Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences,
36 Nahimovskiy prospekt, Moscow, 117997, Russia, e-mail: migor39@yandex.ru
Submitted 20.04.2018, accepted 25.05.2018*

As part of the scientific program of the Russian Antarctic expedition (season 2017–2018), in the Nella fjord (Progress station, East Antarctica) was carried out monitoring of the water-ice environmental system on the topic «Assessment of the ecology of the Antarctic sea ice zone», which is held here since the International Polar Year (2007). Water and ice samples were collected at the fjord reference points on 23 and 29 December for chemical analysis and study of species composition of water and ice biota.

Keywords: Antarctica, sea ice, ecosystem, biota

References

- Melnikov I.A.* Issledovaniya v Antarktike po programme MPG. Byulleten' MPG, 2007, pp. 14–16.
- Melnikov I.A. and Gogorev R.M.* Kriobiologicheskie harakteristiki morskogo l'da pribrezhnoj zony Antarktiki. «Prirodnye processy v polyarnyh oblastiakh Zemli» (Otv. red. V.M. Kotlyakov). 2008, Vol. 3, Ch. 2, pp. 226–233.
- Melnikov I.A. and Rat'kova T.N.* Harakteristika fitocenoza morskogo l'da f'orda Nella (zaliv Pryuds, vostochnaya Antarktika). Problemy Arktiki i Antarktiki (v pechati), 2018.
- Meiners K. M., I. Melnikov, and B. Raymond.* Chlorophyll «a» in Antarctic sea ice from historical ice core data. *Geophysical Journal Letters*, 2012, Vol. 39, L21602, doi: 10.1029/2012GL053478.

ИЗМЕРЕНИЯ УРОВНЯ МОРЯ В НЕБЛАГОПРИЯТНЫХ УСЛОВИЯХ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

О.П. Никитин^{1,2}, А.А. Постнов¹

¹Государственный океанографический институт имени Н.Н. Зубова Росгидромета,
Россия, 119034, Москва, Кропоткинский пер, 6,

e-mail: opnikitin@mail.ru

²Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, 117997, Москва,
Нахимовский проспект, д. 36

Статья поступила в редакцию 28.03.2018, одобрена к печати 26.04.2018

Сообщается о проведенном 13–15 марта 2018 г. в Государственном океанографическом институте имени Н.Н. Зубова Росгидромета международном семинаре-симпозиуме «Измерения уровня моря в неблагоприятных условиях окружающей среды». На нем были заслушаны и рассмотрены в общей сложности 24 доклада, представленные экспертами в области уровня моря из 11 стран. В настоящей работе приводится ряд основных выводов и рекомендаций семинара. Более полные рекомендации, тезисы и презентации докладов участников размещены на сайте Межправительственной океанографической комиссии ЮНЕСКО <http://www.ioc-unesco.org/hostile-conditions-sea-level-workshop>.

Ключевые слова: уровень моря, измерения уровня моря, неблагоприятные условия, поплавковые, гидростатические, радарные, донные уровнемеры, успокоительные колодцы

По договоренности с Межправительственной океанографической комиссией (МОК) ЮНЕСКО международный семинар-симпозиум «Измерения уровня моря в неблагоприятных условиях окружающей среды» состоялся в Москве, в Государственном океанографическом институте (ГОИН) имени Н.Н. Зубова Росгидромета 13–15 марта 2018 г. С российской стороны основными организаторами мероприятия были заместители директора ГОИН проф. В.М. Грузинов и А.А. Постнов, являющийся также вице-президентом МОК, и заведующий лабораторией ГОИН О.П. Никитин, являющийся также национальным координатором и представителем России в международном проекте ГЛОСС (Глобальная система наблюдений за уровнем моря). Большой вклад в организацию семинара и в подготовку заключительного документа внесли штатный сотрудник МОК ЮНЕСКО д-р Thorkild Aarup, а также проф. Philip Woodworth (Великобритания). Проведение семинара финансировалось совместно ГОИН и МОК ЮНЕСКО.

В работе семинара-симпозиума приняли участие эксперты в области уровня моря из 10 стран: Австралии, Великобритании, Германии, Канады, Норвегии,

России, США, Финляндии, Франции и Швеции. Эксперты из Дании приняли заочное участие в мероприятии, прислав два стендовых доклада. В общей сложности было представлено 19 устных и 5 стендовых докладов, в том числе 7 – российских авторов. Рабочими языками симпозиума были английский и русский языки, в связи с чем все три дня работали двое переводчиков-синхронистов. Презентации и тезисы докладов размещены на сайте МОК ЮНЕСКО и доступны соответственно по адресам <http://www.ioc-unesco.org/hostile-conditions-sea-level-workshop> и http://www.ioc-unesco.org/index.php?option=com_oe&task=viewDocumentRecord&docID=21329.

Основное внимание в докладах и обсуждениях было уделено проблемам измерения уровня моря в районах, которые могут находиться под неблагоприятным воздействием окружающей среды. К таким районам, в первую очередь, относятся прибрежные зоны морей, покрываемые льдом в холодное время года, что происходит почти во всех морях, примыкающих к России. Кроме того, в неблагоприятных условиях происходят измерения уровня морей на труднодоступных гидрометеорологических станциях (к которым относится почти половина из морских станций береговой сети Росгидромета), из-за проблем со снабжением, ремонтом отказавшего оборудования, энергообеспечением, связью и др. Серьезное негативное воздействие на береговые уровнемерные посты могут оказывать штормовые волны и ветры (вплоть до разрушения оборудования постов), а также обледенение. Трудно измерять уровень моря в районах с приливами большой амплитуды. При эксплуатации погружных уровнемеров приходится бороться с их биологическим обрастанием и коррозией.

Было отмечено сокращение наблюдательной сети в Арктике и, в особенности, вдоль побережья России и констатирована необходимость разработки плана реорганизации и переоснащения сети наблюдений за уровнем моря в Арктике.

В период семинара-симпозиума произошел обмен информацией и опытом измерений уровня моря в описанных выше условиях. В частности, были рассмотрены новые измерительные системы, технологии защиты приборов и методы устойчивой передачи данных наблюдений.

Было констатировано, что автоматические уровнемеры и в неблагоприятных условиях должны обеспечивать точность измерения уровня моря не хуже 1 см и обеспечивать непрерывность и однородность рядов наблюдений. Решение о переводе наблюдений на новую модель уровнемера в конкретном районе должно приниматься на основании предварительного тестирования, включающего параллельные измерения с помощью имеющегося и нового уровнемеров в течение как минимум одного года.

Обязательным требованием при эксплуатации автономных автоматических уровнемеров, которые можно устанавливать на длительный срок в труднодоступных и даже в безлюдных районах, должно являться проведение регламентных работ. Они состоят в проведении в полевых условиях краткосрочных параллельных контрольных измерений – сверок показаний автоматических уровнемеров с показаниями уровнемерной рейки; при необходимости корректировки нуля

уровнемера по результатам сверки; периодической послегарантийной (вплоть до ежегодной) проверки всех датчиков уровнемера по всему диапазону их измерений в стационарных условиях организации-производителя уровнемера (на основе договора о послегарантийном обслуживании уровнемера) и, наконец, периодической очистки измерителей от биоорганизмов и ржавчины.

Большое внимание было уделено обсуждению преимуществ и недостатков имеющихся технологий измерений уровня моря. Хотя в некоторых регионах со льдом (например, в Канаде и Антарктике) используются поплавковые уровнемеры в обогреваемых колодцах, их, по-видимому, в большинстве случаев будет труднее устанавливать и эксплуатировать в этих районах, чем альтернативные, гидростатические, уровнемеры. Стоимость установки автономного гидростатического уровнемера на открытом воздухе может оказаться примерно в 30 раз дешевле стоимости сооружения массивного бетонного обогреваемого успокоительного колодца с павильоном над ним и подводящей демпфирующей трубой, находящейся частично в земле у основания колодца и частично в морской воде. Несколько участников семинара-симпозиума сообщили об использовании ими в полярных районах радиолокационных уровнемеров (широко применяемых в последнее время в мировой практике для измерений уровня незамерзающих морей). При этом было отмечено, что для подверженных воздействию льда морей необходимо проведение дополнительных исследований и/или выработка новых технологических решений. Была принята к сведению разработанная в ГОИН конструкция колодца мареографа для установки в нем уровнемеров лазерного типа, обеспечивающая исключение образования туманов.

Было далее подчеркнuto, что не существует единого подхода/технического решения (в части датчиков, электропитания, передачи данных и т. п.), который был бы применим во всех местах и противодействовал бы всем видам внешних неблагоприятных воздействий. При проектировании каждой станции необходимо выбирать подходящие технологии с учетом положительных и отрицательных свойств каждой из них.

Было признано, что оценка стоимости установки станции должна основываться на четко определенных требованиях пользователей (включая возможные затраты при потере данных в кризисной ситуации) и на балансе между первоначальными инвестициями и долгосрочными эксплуатационными расходами. Основной вклад в суммарную (за весь период эксплуатации) стоимость уровнемерной станции вносит стоимость стальных и бетонных конструкций, инфраструктуры и обслуживания. Если стальные конструкции и инфраструктура мало подвержены старению и рассчитаны на длительную эксплуатацию, инвестиции амортизируются в течение значительного периода времени. Многократная замена недорогой станции может оказаться дешевле в долгосрочной перспективе, чем попытка спроектировать станцию для экстремальных условий.

При выборе места установки измерителей уровня моря, а также при их дальнейшей эксплуатации необходимо следовать рекомендациям, содержащимся в

руководствах МОК (IOC Manuals and Guides, 1985, 1994, 2002, 2006 и 2016). При этом по возможности следует выбирать место расположения и конструкцию измерителя уровня моря таким образом, чтобы предотвратить возможность их повреждения при проведении в гавани строительных и дноуглубительных работ, а также избегать мест, подверженных воздействию швартующихся и проходящих судов.

В отдаленных районах рекомендуется предусматривать наличие резервного оборудования: резервных источников питания, использование различных видов энергии (например, аккумуляторов, электросети, солнечной энергии, ветра) вместе с резервными средствами связи. Необходимо иметь на уровнемерных станциях несколько измерительных датчиков и способствовать использованию различных технологий. В случаях, когда датчики предназначены для мониторинга цунами и крупных штормовых нагонов, целесообразно устанавливать их максимально высоко над уровнем моря.

Полный текст выводов и рекомендаций, выработанных участниками семинара-симпозиума, размещен на сайте МОК ЮНЕСКО по адресу http://www.ioc-unesco.org/index.php?option=com_oe&task=viewDocumentRecord&docID=21507.

Выводы и рекомендации предыдущих семинаров по измерениям уровня моря в неблагоприятных условиях окружающей среды изложены в отчетах МОК (IOC Workshop Report, 1988 и IOC Workshop Report, 1990). На рис. 1 и 2 приведены фотографии участников семинара-симпозиума.



Рис. 1. Групповая фотография участников семинара-симпозиума в ГОИН 13–15.03.2018.



Рис. 2. В работе семинара принимали участие также переводчики-синхронисты.

Литература

- Manual on Sea Level Measurement and Interpretation. Vol I, II, III, IV and V // *IOC Manuals and Guides*. 1985, 1994, 2002, 2006, 2016. No. 14.
- Workshop on Sea-Level Measurements in Hostile Conditions // *IOC Workshop Report* No. 54: Summary report and submitted papers. Bidston. UK. 28–31 March 1988.
- Workshop on Sea-Level Measurements in Antarctica // *IOC Workshop Report*. No. 69 and No. 69: Supplement. Leningrad. USSR. 28–31 May 1990.

SEA-LEVEL MEASUREMENTS IN HOSTILE CONDITIONS

O.P. Nikitin^{1,2}, A.A. Postnov¹

¹*N.N. Zubov's State Oceanographic Institute of Roshydromet
Kropotkinsky per. 6, 119034, Moscow, e-mail: opnikitin@mail.ru*

²*Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences,
36 Nahimovskiy prospekt, Moscow, 117997, Russia,*

Submitted 28.03.2018, accepted 26.04.2018

An international workshop on sea-level measurements in hostile conditions was held 13–15 March 2018 at the N.N. Zubov State Oceanographic Institute (SOI) of Roshydromet, Moscow, Russian Federation. Experts from 11 countries (Australia, Canada, Denmark, Finland, France, Germany, Norway, Russian Federation, Sweden, United Kingdom, and USA) presented to the workshop a total of 24 presentations. They are available from <http://www.ioc-unesco.org/hostile-conditions-sea-level-workshop>. The presentations and discussions at the workshop focused on problems of sea level measurements in regions exposed to several different kinds of adverse environmental impact. Such regions primarily include the coastal zones of the polar regions, as well as the seas covered with ice during winter. The workshop addressed the impacts of extreme events, such major storms and high wave conditions. The workshop also discussed new measurement systems and instrument protection technologies, together with methods for sustainable transmission of observational data. Recommendations of the workshop at SOI are available from http://www.ioc-unesco.org/index.php?option=com_oe&task=viewDocumentRecord&docID=21507.

Keywords: sea level, sea-level measurements, hostile conditions, float, hydrostatic, radar, bottom tide gauges, stilling wells

References

- Manual on Sea Level Measurement and Interpretation. Vol I, II, III, IV and V. IOC Manuals and Guides No. 14. 1985, 1994, 2002, 2006, 2016.
- Workshop on sea-level measurements in hostile conditions. IOC Workshop Report, No. 54, Summary report and submitted papers, Bidston, UK, 28–31 March 1988.
- Workshop on Sea-Level Measurements in Antarctica. IOC Workshop Report, No. 69 and No. 69, Supplement, Leningrad, USSR, 28–31 May 1990.

УЧЕНЫЙ-РАДИОФИЗИК ВЛАДИМИР ЛОБЫЦЫН (1938–2005)

А.И. Гинзбург

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН
117997, Москва, Нахимовский проспект, д. 36, e-mail: ginzburg@ocean.ru
Статья поступила в редакцию 23.04.2018, одобрена к печати 26.04.2018

Кратко изложена работа в Институте океанологии радиофизика В.В. Лобыцына, успешно сочетавшего активную научную деятельность в области радиофизических методов исследования океана и научно-историческую работу, посвященную возвращению памяти о русских моряках, волею судьбы оказавшихся на чужбине и закончивших свою жизнь за пределами России.

Ключевые слова: радиофизические методы исследования океана, Лобыцын В.В., ДЮМАНД



Кандидат технических наук по специальности «радиофизика» Владимир Викторович Лобыцын после окончания кадровой военной службы (в сентябре 1983 г.) в звании подполковника 12 лет проработал в Институте океанологии с ноября 1983 г. по май 1995 г. В 1983–1990 гг. он работал в должности старшего научного сотрудника в Кабинете исследова-

ования океана дистанционными методами в составе Отдела экспериментальной и космической океанологии (с 1985 г. – заведующий группой радиофизических методов), с 1990 по 1992 гг. был помощником директора Института по научно-организационной работе, после чего вернулся к научной работе в Лабораторию исследования океана аэрокосмическими средствами. Направлением его научной работы было изучение явлений на поверхности океана радиофизическими методами. Им опубликовано 128 научных и историко-публицистических работ, в том числе 27 работ по научно-технической тематике по специальности «радиофизика».

За время работы в Институте Владимир Викторович проявил себя как отличный организатор научных исследований с использованием современной (на тот период) аппаратуры дистанционных измерений. По воспоминаниям его коллеги по радиофизическим методам исследования океана С.В. Переслегина, это был



В.Н. Пелевин и В.В. Лобыцын на борту НИС «Профессор Сергей Дорофеев», 1990 г.

«Восточное море-89»). В 1990 г. он участвовал в совместном с Ленинградским гидрометеорологическим институтом рейсе на НИС «Профессор Сергей Дорофеев». Находясь на должности помощника директора Института, он организовал две и провел одну советско (российско)-греческую экспедицию по программе ДЮМАНД (22-ой рейс НИС «Витязь», 29-ый рейс НИС «Академик Мстислав Келдыш»).

В дальнейшем, по окончании работы в Институте океанологии, Владимир Викторович целиком посвятил себя любимому делу – возвращению памяти о русских моряках, волею судьбы оказавшихся на чужбине. Его усилия, упорство и энтузиазм на этом поприще дали поистине выдающиеся практические результаты в деле увековечения памяти о людях и событиях военно-морской истории России и русского зарубежья в печатных и мемориальных проектах, воскресивших многие незаслуженно забытые имена.

«энергичный, собранный в кулак инженер», который «всегда находил лучшее решение». Под его руководством в 1984–1985 гг. была создана станция приема спутниковых изображений поверхности океана в видимом, инфракрасном и СВЧ диапазонах спектра и разработана методика ее использования на научно-исследовательских судах. Эта станция успешно работала в 11-ом рейсе НИС «Витязь». В 1985 г. при его участии на НИС «Дмитрий Менделеев» был установлен доплеровский радиолокатор на основе доработанного измерителя вертолетного ДИВ-1, предназначенного для получения спектра орбитальных скоростей волн.

В.В. Лобыцын был организатором и участником ряда прибрежных и морских экспедиций, в том числе международных («Карибэ-Интеркосмос-88»,

А.И. Гинзбург

THE SCIENTIST-RADIOPHYSICIAN VLADIMIR LOBYTSYN

A.I. Ginzburg

Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences
36 Nahimovskiy prospekt, Moscow, 117997, Russia, e-mail: ginzburg@ocean.ru
Submitted 23.04.2018, accepted 26.04.2018

A brief description of the work at the Institute of oceanology of radiophysicist V.V. Lobysyn, who successfully combined active scientific activity in the field of radiophysical methods of ocean research and a scientific-historical work devoted to the return of memory of Russian sailors, who by fate's fate found themselves in a foreign land and who ended their lives outside of Russia.

Keywords: radiophysical methods of ocean research, Lobysyn V.V., DUMAND

РУССКИЙ ОФИЦЕР ВЛАДИМИР ЛОБЫЦЫН (1938–2005)

В.В. Леонидов

*Государственное бюджетное учреждение культуры города Москвы
«Дом русского зарубежья им. А. Солженицына»
109240, Россия, Москва, Нижняя Радищевская улица, 2,
e-mail: pr@bfrz.ru*

Статья поступила в редакцию 02.04.2018, одобрена к печати 26.04.2018

Посвящается памяти Владимира Викторовича Лобыцына (1938–2005) – офицера, ученого-инженера, выдающегося историка русского флота, литературоведа; человека, внесшего огромный вклад в увековечение памяти о людях и событиях военной и военно-морской истории России и русского зарубежья в печатных трудах и мемориальных проектах, воскресивший многие незаслуженно забытые имена.

Ключевые слова: В.В. Лобыцын, русский офицер Лобыцын, память о русских моряках, моряки крейсера «Жемчуг» в Пенанге, Русский экспедиционный корпус в Мурмелон-Ле-Грант, корабли русской эскадры Врангеля в Бизерте, памятник русским морякам в Бизерте, морские рассказы писателей русского зарубежья



Он был настоящим офицером. Во всем, в каждом жесте, в походке. В том, как он вставал, когда в комнату входили женщины, как тщательно и чисто, но без всякой вычурности, следил за одеждой. В яростном и мгновенном неприятии всего, что представлялось ему выходящим за пределы порядочности и чести.

Но, главное, Владимир Викторович просто воплощал в себе ныне такие затертые и, прямо скажем, не всегда самыми достойными людьми эксплуатирующиеся понятия, как честь офицера и честь военно-морского флота. Казалось, он шагнул в наше время откуда-то из старинных времен, когда приход офицера-моряка всегда гарантировал благородное украшение любого общества.

Ярость и страстность непостижимым образом сочетались в нем с поразительной тщательностью и педантичностью в работе. Готовя к публикации сотни исторических документов, возвращая память об

ушедших моряках и морских офицерах, он всегда самым тщательным образом, до последней сдачи в типографию, готовил рукописи и иллюстрации.

Не было ни одной запятой, которой он не выверил бы по самым разным источникам. Тяжело переживая отказы, которые иногда встречались в его ураганной деятельности, он в то же время всегда умел восхищаться работой других. И поэтому Лобыцыну помогали очень многие. Слишком силен был магнетизм его личности, а человека, влюбленного и фанатично посвящающего себя благородному делу, не могут не уважать те, кто встречает его на дороге жизни.

Он был потомственный офицер, и впоследствии сам Владимир Викторович начал свои первые исследования с поиска отца, сгинувшего в огне Второй мировой. Сомнений в выборе пути у него никогда не было.

Он родился 28 января 1938 года, после школы поступил в Артиллерийскую радиотехническую академию, по окончании которой четверть века отдал службе в научно-исследовательских учреждениях Вооруженных сил и демобилизовался в звании подполковника. Нельзя не сказать, что, наверное, человек его таланта и способностей, человек какой-то фантастической ответственности за любое порученное дело мог бы закончить службу в более высоком звании.

Тем не менее, он увидел очень много стран и континентов. А уйдя со службы в 1983 году, стал сотрудником Института океанологии им. П.П. Ширшова АН СССР. Одновременно с этим Владимир Викторович стал во всю мощь реализовывать свою «одну, но пламенную страсть» – возвращение памяти о русских моряках, закончивших свою жизнь за пределами России.

Впрочем, это касалось не только моряков. Так, на страницах журнала «Вокруг света» Лобыцын первым опубликовал статью о кладбище рядом с французским местечком Мурмелон-Ле-Грант. Там, где похоронены офицеры и солдаты Русского экспедиционного корпуса, воевавшие во Франции с немцами в годы Первой мировой войны. Впоследствии Владимир Викторович очень помог кинорежиссеру Сергею Зайцеву при работе над фильмом «Погибли за Францию», посвященным этой забытой странице русской военной славы.

Этапом и, естественно, результатом огромной работы стала статья Лобыцына в том же «Вокруг света» – с картой российских морских памятников и захоронений за пределами России. Времена изменились, и наряду с развалом всего и вся пришла свобода и возможность наконец-то сказать полную правду о людях, долгие десятилетия проходивших по спискам «врагов народа».

«И теперь мы смотрим на трехсотлетнюю историю Российского Флота как на единую, мы снова почитаем героизм русских моряков, проявленный в Русско-японской и Первой мировой войнах, устанавливаем памятник белым морякам на кладбище в далекой Бизерте, делая на нем надпись: «Россия Вас помнит» – писал сам Лобыцын, завершая последнюю подготовленную им книгу «Морские рассказы писателей русского зарубежья». Книгу, которую он успел полностью выверить и сдать в издательство «Согласие», а вот увидеть ее ему уже не удалось.

Энергия его была поразительной. Он бился во все двери, чтобы «пробить» установку доски с именами погибших на памятнике морякам крейсера «Жемчуг», погибшим в 1914 году в Пенанге (Малайзия), и довел это немыслимое предприятие до конца. В Успенском кафедральном соборе Хельсинки стараниями Владимира Викторовича удалось установить мемориальную доску с фамилиями 59 офицеров флота, убитых и скончавшихся в 1917 году.



Н.А. Черкашин и В.В. Лобыцын у освященной доски со списком моряков, погибших на крейсере «Жемчуг», 1996 г.

В греческом Пилосе благодаря Лобыцыну теперь стоит памятный знак в память о погибших в Наваринском сражении в 1827 году. На острове Сантахамина в Финляндии он восстановил утраченную икону на памятнике русским воинам, погибшим еще во времена Крымской войны. И еще очень много сил отдал тому, чтобы на турецком полуострове Галлиполи, там, куда в 1920 году прибыли солдаты и офицеры корпуса генерала Кутепова, был восстановлен памятник. Такой же, какой в начале двадцатых они поставили своим погибшим товарищам и чей силуэт воспроизведен на русском кладбище в Сент-Женевьев-де-Буа. Но завершить задуманное Владимиру Викторовичу не удалось.

Но удалось выполнить другую, также далеко не легко исполнимую задачу. Лобыцын умудрился добиться, чтобы в парке, примыкающем к российскому посольству в Стамбуле, был поставлен памятный знак погибшим российским подводникам с подводной лодки «Морж», пропавшей без вести в 1917 году.

Это же надо себе представить! Сколько согласований, кабинетов, объяснений, поисков денег и, к слову, и своих собственных затрат, чтобы где-то на краю света возник памятник, или просто доска, или крест в память о наших соотечественниках. О тех, для кого Андреевский флаг означал все.

Лобыцын обожал работать в архивах и порою как-то удивительно по-детски радовался очередной находке. А работать он умел и любил. Государственный ар-

хив Российской Федерации, Российский государственный архив Военно-морского флота, Отдел русского зарубежья Российской государственной библиотеки, частные собрания, в том числе и коллекция его близкого друга, сына морского офицера Александра Плотто, живущего в Париже, – всего не перечислить. И все-таки этапом для него стала работа с коллекцией Русско-американского общества «Родина». Оно было основано в 1954 году и очень скоро стало одним из главных центров хранения наследия русской культуры и исторических реликвий за пределами России.

В 1979 году бывшими русскими офицерами в США обществу были переданы уникальные архивы и коллекции. При обществе был создан музей, архив и библиотека. Начиная с 1993 года, все эти сокровища решением Совета старшин Общества были переданы в Россию.

Огромную роль в переговорах по решению этого вопроса и в самой организации возвращения такой огромной коллекции сыграла директор Дирекции президентских программ Российского фонда культуры Елена Чавчавадзе.

Владимир Викторович приступил одним из первых к разбору необозримой коллекции «Родины» и очень быстро обнаружил там большой массив источников по истории русской военно-морской эмиграции – архив Общества офицеров Российского императорского флота в Америке и ряд уникальных изданий, таких как, к примеру, полный комплект «Морского сборника», издававшегося в Бизерте – порту на побережье северного Туниса. В дополнение к другим архивным изысканиям эти материалы наконец-то заложили основу для полномасштабных изданий.

Вначале появились небольшие брошюры: описание «морской» части коллекции «Родины», полная библиографическая систематизация Бизертинского «Морского сборника». Маленькие по объему, они сразу стали настольными для любого исследователя русского флота. Дальше была нашумевшая книжечка, посвященная легендарному «Китобою» – маленькому тральщику, не спустившему Андреевский флаг и бесстрашно прорвавшегося в 1920 году из Ревеля в Крым, а затем – в Бизерту, где нашли свою последнюю стоянку корабли Русской эскадры Врангеля.

А затем пришел черед больших, полномасштабных изданий. Сначала появился «Мартиролог русской военно-морской эмиграции по изданиям 1920–2000 гг.» – справочник с биографическими сведениями о почти двух тысячах чинах Российского флота и Морского ведомства, умерших за пределами ставшей Советской России. Сотни матросов, гардемарин, лейтенантов и адмиралов были спасены от забвения. Дальше началось триумфальное шествие книг, выпущенных в издательстве «Согласие» при поддержке Вацлава Михальского. Это был и том статей из бизертинского «Морского сборника», и прекрасный альбом «Варяг – к столетию подвига», и «Записки подводника» офицера и писателя Василия Меркушова. Последней книгой, как уже говорилось, стал сборник «Морские рассказы писателей русского зарубежья». Издатели, поместив на развороте обложки фотографию Владимира Викторовича, подписали: «О таких людях, как Владимир Викторович Лобыцын, принято говорить – соль земли. Потому что эти люди движут жизнь, а не потребляют ее. Он был выдающимся историком русского флота, и опыт его бесценен».

К этому трудно что-либо добавить. А вспоминать обо всем, что он сделал, можно бесконечно. Как готовил выставки и оформил в Кисловодске целый зал, посвященный Колчаку, как организовывал бесконечные дары в морские музеи и архивы. Как до бесконечности работал над оформлением витрин и стендов...

Что же, в который раз остается вспомнить слова Жуковского: «не вспоминай с тоской – их нет, но с благодарностью – были».

Спасибо Вам, Владимир Викторович, за то, что жизнь подарила нам Вас.

Памяти Владимира Лобыцына

Столько дел – куда там, не до смерти Вам,
Верстки ворох и за томом том,
И Колчак, и памятник Бизертинский,
И статьи о чем-то о другом.
В то, что нету Вас, никак не верится,
Только ноет сердце от тоски,
А над небом вьется стяг Андреевский,
Там, где Вас встречают моряки.

Те, кто шел на смерть полями минными,
Кого за борт кинуло волной,
Офицеры в ряд с гардемаринами
Принимают Вас в последний строй.
Руднева Вы видите и Беренса,
Как присяга, души их крепки,
А над небом вьется стяг Андреевский,
Там, где Вас встречают моряки.

В даль вселенной, световыми милями,
Полыхая окнами кают,
Развернулись русские флотилии,
Вам последний отдают салют.
Лапником покрыты или вереском,
На земле могилы далеки,
А над небом вьется стяг Андреевский,
Там, где Вас встречают моряки.

Наяву ли, или это снится мне,
Будто кончен важный разговор,
С именем Владимира Лобыцына
В порт вошел сверкающий линкор...
А над ним, над чайками и реями,
Там, где все отброшены клинки,
Вьется, вьется, вьется стяг Андреевский
И в строю застыли моряки.

Избранная библиография о В.В. Лобыцыне
Составители: Т.В. Акулова-Конецкая, Н.А. Кузнецов

- Владимир Лобыцын* У меня такое впечатление, что я прожил несколько жизней: [беседа с историком] / В.В. Лобыцын; беседу вел К. Куяс-Скрижинский // Русская мысль. 2003. 11–17 дек. № 46. С. 8: фото с А.В. Плотто; 18–31 дек. № 47–48. С. 10: фото экипажа КР «Кагул». (Судьба человека).
- Дардыкина Н.* Жертвоприношение по-русски: Николай II послал русский корпус умирать за Францию: [В.В. Лобыцын о начале Первой мировой войны] // Моск. комсомолец. 2004. 9 авг. С. 5. (Тайны XX века).
- Добрикова Ю.* Последний хозяин тайги: [Вера Владимировна о работе В.В. Лобыцына над к/ф. «Диалоги с Колчаком»] / В. Владимировна; Ю. Добрикова // Пятигор. правда. 2004. 27 марта. № 36. С. 4. (Субботний вернисаж).
- Довыденко Л.* Русский легион чести: [о работе В.В. Лобыцына над к/ф. «Погибли за Францию»] // Вече Твери. 2002. 28 нояб. № 218. С. 7.
- Дойков Ю.В.* Пушкинское имя Ризнич: [о русском подводнике Иване Ризнице, исторической догадке В.В. Лобыцына] // Архангельск. 2006. 18 марта. № 46. С. 5. (Судьбы).
- Кузнецов Н.А.* А над небом вьется стяг Андреевский // Литературные незнакомцы. 2006. № 3(13). С. 98–104.
- Леонидов В.В.* Русский офицер Владимир Лобыцын: [памяти В.В. Лобыцына // Лит. незнакомцы. 2006. № 3 (13). С. 98–104: 12 фото. (Семейный архив).
- Леонидов В.В.* С благодарностью были: [памяти В.В. Лобыцына] // Родина. 2008. № 3. С. 122–123: фото. (Память сердца).
- Невосполнима боль утраты: [памяти В.В. Лобыцына] / [подп.: коллектив Российского Фонда Культуры] // Рос. вести. 2005. 29 июня 5 июля. № 26. С. 11: фото.
- Николаева И.* Мартовские иды Нового града: [Беседа с писателем Вацлавом Михальским] // Октябрь. 2001. № 5. С. 48.
- Прежде столиц – Россия: [о работе В.В. Лобыцына над к/ф. «Погибли за Францию»] // Пятигор. правда. 2002. 3 окт. С. 4.
- Черкашин Н.* Александр Колчак и его команда: [о фотографии моряков парохода «Вайгач», атрибут. В.В. Лобыцыным] // Родина. 2015. № 3. С. 83–85: фото. (Благодаренье снимку).

RUSSIAN OFFICER VLADIMIR LOBYTSYN
(1938–2005)

V.V. Leonidov

Solzhenitsyn House of Russian Abroad, 2, Nizhnyaya Radishchevskaya street, Moscow,
109240, Russia, phone: e-mail: pr@bfrz.ru
Submitted 02.04.2018, accepted 26.04.2018

Dedicated to the memory of Vladimir Viktorovich Lobytsyn (1938–2005) – an officer, scientist, outstanding historian of the Russian fleet, literary critic; a man who made a huge contribution to perpetuating the memory of people and events in the military and naval history of Russia and the Russian Diaspora in printed works and memorial projects, which revived many undeservedly forgotten names.

Keywords: Russia remembers you, memory of Russian sailors, sailors of the cruiser Pearl in Penang, Russian Expeditionary Corps in Marmelton-Le Grant, ships of the Wrangel Russian squadron in Bizerta, Lobytsyn V.V., Russian officer Lobytsyn

**Selected bibliography on V.V. Lobytsyn
(Compilers: T.V. Akulova-Konetskaya, N.A. Kuznetsov)**

- Cherkashin N.* Aleksandr Kolchak i ego komanda: [o fotografii moryakov parohoda «Vajgach», atribut. V.V. Lobytsynym]. *Rodina*, 2015, No. 3, pp. 83–85, (Blagodaren'e snimku), [In Russian].
- Dardykina N.* Zhertvoprinoshenie po-russki: Nikolaj II poslal russkij korpus umirat' za Franciyu: [V.V. Lobytsyn o nachale Pervoj mirovoj vojny]. *Mosk. Komsomolets*, 2004, 9 August, pp. 5, (Tajny XX veka), [In Russian].
- Dialogi s Kolchakom. *Pyatigorskaya Pravda*, 2004, 27 Marta, No. 36, pp. 4, (Subbotnij vernisazh), [In Russian].
- Dojkov Yu.B.* Pushkinskoe imya – Riznich: [o russkom podvodnike Ivane Rizniche, istoricheskoy dogadke V.V. Lobytsyna]. *Arhangel'sk*, 2006, 18 March, No. 46, pp. 5, (Sud'by), [In Russian].
- Dovydenko L.* Russkij legion chesti: [o rabote V.V. Lobytsyna nad k/f. «Pogibli za Franciyu»]. *Veche Tveri*, 2002, 28 November, No. 218, pp. 7, [In Russian].
- Kuznetsov N.A.* A nad nebom v'etsya styag Andreevskijm. *Literaturnye neznakomcy*, 2006, No. 3(13), pp. 98–104, [In Russian].
- Leonidov V.V.* Russkij oficer Vladimir Lobytsyn: [pamyati V.V. Lobytsyna]. *Literaturnie neznakomcy*, 2006, No. 3 (13), pp. 98–104, 12 foto, (Semejnyj arhiv), [In Russian].
- Leonidov V.V.* S blagodarnostiyu – byli [pamyati V.V. Lobytsyna]. *Rodina*, 2008, No. 3, pp. 122–123, (Pamyat' serdca), [In Russian].
- Lobytsyn Vladimir* U menya takoe vpechatlenie, chto ya prozhil neskol'ko zhiznej: [beseda s istorikom], V.V. Lobytsyn, besedu vel K. Kuyas-Skrizhinskij. *Russkaya mysl'*, 2003, 11–17 Desember, No. 46, pp. 8, foto s A.V. Plotto, 18–31 Desember, No. 47–48, pp. 10, foto ehkipazha KR «Kagul», (Sud'ba cheloveka), [In Russian].
- Nevospolnima bol' utraty: [pamyati V.V. Lobytsyna], podpis': kollektiv Rossijskogo Fonda Kul'tury]. *Ros. Vesti*, 2005, 29 June – 5 July, No. 26, pp. 11, foto, [In Russian].
- Nikolaeva I.* Martovskie idy Novogo grada: [Beseda s pisatelem Vatslavom Mihal'skim]. *Oktyabr'*, 2001, No. 5, pp. 48, [In Russian].
- Prezhde stolits – Rossiya: [o rabote V.V. Lobytsyna nad k/f. «Pogibli za Franciyu»]. *Pyatigorskaya Pravda*, 2002, 3 Oktober, pp. 4, [In Russian].

**К 90-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ
РОСТИСЛАВА ВСЕВОЛОДОВИЧА ОЗМИДОВА
(1928–1998)**

В.М. Журбас

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, 117997, Москва,
Нахимовский проспект, д. 36, e-mail: zhurbas@ocean.ru*

Статья поступила в редакцию 16.04.2018, одобрена к печати 26.04.2018

Краткое изложение жизненного пути и основополагающих научных достижений (зависимость коэффициента горизонтальной турбулентной диффузии в океане от масштаба явления, ограничение вертикального размера трехмерных турбулентных вихрей в устойчиво стратифицированной среде – масштаб Озмидова, перемежаемость океанской турбулентности) выдающегося российского физика-океанолога, члена-корреспондента РАН Р.В. Озмидова, успешно сочетавшего активную научную деятельность с подготовкой молодых исследователей.

Ключевые слова мелкомасштабная турбулентность в океане, турбулентная диффузия, масштаб Озмидова



29 января 2018 г. исполнилось 90 лет со дня рождения Ростислава Всеволодовича Озмидова, выдающегося российского океанолога, член-корреспондента РАН, профессора, заведующего Лабораторией морской турбулентности Института океанологии РАН, главного редактора журнала «Океанология».

С именем Р.В. Озмидова связана целая эпоха в советской и российской океанологии. Он является первооткрывателем нового направления в морской гидрофизике – исследования мелкомасштабной турбулентности и микроструктуры океана. Им впервые получен универсальный спектр кинетической энергии движения вод океана, найдено выражение для внешнего масштаба

турбулентности в стратифицированной среде, известного в мировой литературе как масштаб Озмидова, открыты закономерности диффузии примесей в океане. Р.В. Озмидов был идейным вдохновителем и организатором крупных океанских экспериментов-полигонов во всех океанах, на всех широтах от Арктических морей до Антарктиды. Он возглавлял научные экспедиции в 11 океанских рейсах, руководил рядом проектов по оборонной тематике.

Ростислав Всеволодович – представитель династии Озмидовых, верой и правдой служивших Отечеству. Его дед, Николай Максимович Озмидов, потомственный дворянин, действительный статский советник, известный русский инженер-электротехник, был профессором Рижского политехнического института. Он получил образование в Цюрихе, там он встретил молодую француженку Армид Паулин Анн Доре, племянницу известного французского художника Гюстава Доре, которая впоследствии стала его женой и родила ему двух сыновей и двух дочерей-близнецов. Именно Николаю Максимовичу Озмидову Рига обязана первыми электротехническими сооружениями. В преддверии оккупации Риги немцами в 1914 г. Николай Максимович с семьей был эвакуирован в Москву, где ему вместе с другими профессорами из Риги было поручено создать в Иваново-Вознесенске политехнический институт по образцу и программе рижского. В 1922 г. в связи с болезнью жены (по версии латвийского сайта www.russkije.lv, из-за невыносимых для заслуженного профессора условий жизни и работы в Советской России) Николай Максимович с семьей (женой, двумя дочерьми и старшим сыном) возвратился в Ригу. Однако в Иваново-Вознесенске остался жить младший сын Николая Максимовича – Всеволод, участник Первой мировой войны, награжденный за храбрость орденом Станислава с мечами. Всеволод Николаевич был инженером-строителем, одним из руководителей строительства меланжевого комбината. 29 января 1927 г. в семье Всеволода Николаевича Озмидова и Варвары Шевелкиной, выпускницы химфака Иваново-Вознесенского политеха, родился сын, названный Ростиславом. В 1937 г. В.Н. Озмидова арестовали и по ложному обвинению в контрреволюционной деятельности и вредительстве и отправили в БеломорЛАГ, где он умер в 1938 г. Так десятилетний Ростислав остался без отца, и его, вместе со старшей сестрой Ириной, вырастила, поставила на ноги мама – Варвара Шевелкина.

Ростислав Озмидов с золотой медалью окончил среднюю школу в Иваново. Поступив на Физический факультет МГУ им. Ломоносова, он увлекся океанологией и выполнил дипломную работу под руководством известного физика-океанолога В.Б. Штокмана.

В 1954 г. Р.В. Озмидов поступает в аспирантуру Института океанологии РАН, с которым связана вся его последующая трудовая деятельность. Первые научные труды Ростислава Всеволодовича были посвящены экспериментальным и теоретическим исследованиям турбулентной диффузии примесей в море. На Каспийском море, а затем и в Тихом океане им была проведена серия опытов с дискретными частицами, позволившая установить справедливость в морской среде закона «четырех третей» для зависимости коэффициента диффузии от масштаба явления. Вслед

за этими опытами Р.В. Озмидову удалось получить и теоретическое решение уравнения турбулентной диффузии с коэффициентом, задаваемым законом «четырёх третей». Затем, в первой половине шестидесятых он провел серию экспериментов по турбулентной диффузии флуоресцентных красителей в Черном море, получив первые «живые» распределения концентрации диффундирующей примеси в море.

В 1965 г. Озмидов опубликовал в журнале «Физика атмосферы и океана» две, пожалуй, самые главные свои работы, принесшие ему мировую известность. Обе они ставили своей целью ответить на вопрос, в какой степени теория подобия локально-изотропной турбулентности Колмогорова-Обухова применима к океану. Во-первых, Озмидов получил выражение для вертикального масштаба движений в турбулентной, устойчиво стратифицированной среде, начиная с которого турбулентность эффективно подавляется стратификацией:

$$L_o = \sqrt{\varepsilon/N^3},$$

где ε – скорость диссипации энергии турбулентности, N – частота свободных колебаний жидкости в стратифицированной среде, нижний индекс O в левой части формулы происходит от фамилии ее первооткрывателя, Озмидова (Ozmidov scale). Во-вторых, Озмидов выдвинул важную гипотезу о том, что энергоснабжение океана происходит квазидискретно, на нескольких пространственно-временных масштабах, различающихся по порядку величины, и, следовательно, могут существовать несколько последовательных «инерционных» интервалов Колмогоровского типа.

В 1968 г. Ростислав Всеволодович защитил докторскую диссертацию и издал свою первую монографию «Горизонтальная турбулентность и турбулентный обмен в океане», которая впоследствии стала настольной книгой нескольких поколений физиков-океанологов. В этом же году была создана Лаборатория морской турбулентности, которую он возглавил и которой руководил на протяжении 30-и лет до своей кончины. Главной задачей Лаборатории было экспериментальное и теоретическое исследование свойств трехмерной мелкомасштабной турбулентности океана. Сейчас уже ни для кого не является тайной, что развитие этой новой области океанологии в значительной мере определялось военно-прикладными задачами, главным образом связанными с возможностью обнаружения подводных лодок по турбулентному следу. Примерно в то же время научные коллективы для решения аналогичных проблем появились в США и Канаде. Новые задачи требовали создания совершенно новой измерительной техники – турбулиметров, позволяющих измерять высокочастотные флуктуации скорости движения воды и ее скалярных свойств с масштабами до нескольких миллиметров. В начале семидесятых такая техника была создана в Особом конструкторском бюро Института океанологии под общим научным руководством Р.В. Озмидова.

В семидесятые и в первой половине восьмидесятых годов под руководством Озмидова был проведен ряд научных экспедиций, результатом которых явились современные, ставшие уже классическими, представления об океанской турбулент-

ности. Было показано, что турбулентность в толще океана характеризуется пространственно-временной перемежаемостью, которая, по всей видимости, является единственной формой существования турбулентности в среде с сильно устойчивой стратификацией. Эти результаты были обобщены в монографии «Океанская турбулентность», опубликованной в 1981 г. (в соавторстве с А.С. Мониним).

Особое место в научном творчестве Р.В. Озмидова занимают исследования турбулентной диффузии примесей в океане. Как уже отмечалось, этой теме были посвящены его первые научные работы. Впоследствии, переключившись на другую научную тематику, Ростислав Всеволодович не забывал свою «первую любовь», и в руководимой им Лаборатории каждому аспиранту предлагалось попробовать свои силы в том или ином аспекте современных исследований турбулентной диффузии примесей в море. Итогом этой своеобразной эстафеты поколений стала вышедшая в 1986 г. монография Р.В. Озмидова «Диффузия примесей в океане», в которой были обобщены результаты самого автора и его учеников. Интересно, что последняя из его опубликованных работ также была посвящена проблеме турбулентной диффузии, на этот раз уже пятен фитопланктона в океане (Океанология, 1998).

Р.В. Озмидов – автор более 350 печатных работ, в том числе 12 монографий, большинство из которых переиздано за рубежом. Под руководством В.В.Озмидова



Совещание в каюте начальника экспедиции Р.В. Озмидова (2 рейс НИС Дм. Менделеев, 1969 г.). Слева направо: А.Н. Гезенцевей, А.Н. Колмогоров, М.Н. Кошляков, Ю.З. Миропольский, Р.В. Озмидов, Ю.П. Непрочнов, Б.Н. Филюшкин, В.Т. Пака.

защищено 25 кандидатских и 8 докторских диссертаций. Р.В. Озмидову присуждена медаль Льежского университета за заслуги в области океанографии. В 1990 г. он был избран член-корреспондентом Академии Наук СССР.

Все, кто хоть раз встречался с Ростиславом Всеволодовичем, неизбежно попадали под необыкновенное обаяние этого интеллигентного, немного застенчивого,

В.М. Журбас

говорящего густым басом человека. Большой любитель и знаток природы, заядлый рыболов и грибник, он увлеченно рассказывал об известных только ему заповедных местах Подмосковья, где реки и озера богаты рыбой, а в лесах полно опят и белых, он был энтузиастом лыжных и байдарочных походов, мог запросто устроить выезд всей Лабораторией на шашлыки с ночевкой накануне дня Ивана Купалы.

Доброжелательность и обаяние Ростислава Всеволодовича, помноженные на талант, энциклопедические знания и преданность науке, притягивали к нему молодежь. Во многих уголках Земного шара можно найти ученых-океанологов, которые являются его учениками: в России, на Украине, в Азербайджане, Грузии, Эстонии, Литве, Польше, Болгарии, Вьетнаме, Германии, Голландии, Австралии, Канаде, США.

Основные научные труды Р.В. Озмидова

- Монин А.С., Озмидов Р.В.* Океанская турбулентность. Л.: Гидрометеиздат, 1981. 376 с.
- Озмидов Р.В.* О распределении энергии по разномасштабным движениям океанических вод // Изв. АН СССР. Серия физики атм. и океана. 1965. № 4. С. 439–448.
- Озмидов Р.В.* О турбулентном обмене в устойчиво стратифицированном океане // Изв. АН СССР. Серия физики атм. и океана. 1965. № 8. С. 853–860.
- Озмидов Р.В.* О зависимости коэффициента горизонтального турбулентного обмена в океане от масштаба явления // Изв. АН СССР. Серия физики атм. и океана. 1968. Т. 4. № 11. С. 1224–1225.
- Озмидов Р.В.* Горизонтальная турбулентность и турбулентный обмен в океане. М.: Наука, 1968. 199 с.
- Озмидов Р.В.* Диффузия примеси в океане. Л.: Гидрометеиздат, 1986. 280 с.

TO THE 90TH ANNIVERSARY OF ROSTISLAV VSEVOLODOVICH OZMIDOV (1928–1998)

V.M. Zhubas

*Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences,
36 Nahimovskiy prospekt, Moscow, 117997, Russia, e-mail: zhurbas@ocean.ru
Submitted 16.04.2018, accepted 26.04.2018*

A summary of the life path and basic scientific achievements (the dependence of the lateral eddy diffusivity in the ocean on the length scale of the phenomenon, the limitation of the vertical size of 3D turbulent vortices in a stably stratified medium – the Ozmidov's scale, intermittency of ocean turbulence) of the outstanding Russian ocean physicist, corresponding member of the Russian Academy of Sciences R.V. Ozmidov, who successfully combined scientific activity with fostering of young researchers.

Keywords: small-scale oceanic turbulence, turbulent diffusion, Ozmidov scale

The main scientific works of R.V. Ozmidov

Monin A.S. and Ozmidov R.V. Okeanskaya turbulentnost. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1981, 376 p.

Ozmidov R.V. O raspredelenii energii po raznomasshtabnym dvizheniyam okeanicheskikh vod. *Izv. AN SSSR, seriya fiziki atm. i okeana*, 1965, No. 4, pp. 439–448.

Ozmidov R.V. O turbulentnom obmene v ustoychivo stratifitsirovannom okeane. *Izv. AN SSSR, seriya fiziki atm. i okeana*, 1965, No. 8, pp. 853–860.

Ozmidov R.V. O zavisimosti koeffitsiyenta gorizontalnogo turbulentnogo obmena v okeane ot masshtaba yavleniya. *Izv. AN SSSR, seriya fiziki atm. i okeana*, 1968, Vol. 4, No. 11, pp. 1224–1225.

Ozmidov R.V. Gorizontalnaya turbulentnost i turbulentnyy obmen v okeane. Moskva: Nauka, 1968, 199 p.

Ozmidov R.V. Diffuziya primesi v okeane. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1986, 280 p.

**УЧЕНЫЙ И ПОЭТ:
К 85-ЛЕТИЮ АЛЕКСАНДРА ГОРОДНИЦКОГО**

Н.А. Пальшин, Н.А. Шишкина

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, 117997, Москва,
Нахимовский проспект, д. 36, e-mail: palshin@ocean.ru*

Статья поступила в редакцию 20.04.2018, одобрена к печати 26.04.2018

Краткое изложение жизненного пути и основных научных работ в области геологии и геофизики океана А.М. Городницкого. Широко известен также как поэт, автор песен и писатель-маринист.

Ключевые слова: морская геофизика, подводные горы, океаническая литосфера, тектоника плит, палеомагнитные реконструкции, градиентная морская магнитная съемка, природа океанических магнитных аномалий



*Наступила пора расставанья,
Тран скрипучий нам под ноги дан.
Ну так что ж, океан, до свиданья,
Мы вернёмся к тебе, океан!*

Недавно исполнилось 85 лет Александру Моисеевичу Городницкому – поэту, геологу, геофизику.

А.М. Городницкий – один из ведущих российских ученых в области геологии и геофизики океана. Доктор геолого-минералогических наук (1982), профессор

(1991), академик Российской академии естественных наук (1992), Заслуженный деятель науки Российской Федерации (2005), главный научный сотрудник Института океанологии им. П. П. Ширшова РАН, автор более 250 научных работ, посвященных геофизике и тектонике океанского дна.

Сорок шесть лет он работает в Институте океанологии им. П.П. Ширшова, куда он пришел, уже имея за плечами большой опыт практической экспедиционной работы, в том числе дальних океанских рейсов, а также научных исследований.

Родился Александр Моисеевич в Ленинграде. Ребенком был эвакуирован из блокадного Ленинграда. Окончил с золотой медалью среднюю школу, затем геофизический факультет Ленинградского горного института имени Г.В. Плеханова (ныне Национальный минерально-сырьевой университет «Горный») по специальности «геофизика».



Трудовую деятельность начал в Научно-исследовательском институте геологии Арктики, где в качестве геофизика, старшего геофизика, начальника отряда и начальника партии работал в северо-западной части Сибирской платформы, в районах Туруханска, Норильска и Игарки, где занимался поисками медно-никелевых руд и медного оруденения геофизическими методами. Он является одним из первооткрывателей Игарского медно-рудного поля. В качестве геофизика принимал участие в океанографических экспедициях в Атлантике, Охотском, Балтийском и Черном морях, в том числе на экспедиционном паруснике «Крузенштерн».

В 1962–1963 гг. в Северной Атлантике он, совместно с Э.М. Литвиновым и Н.Н. Трубятчинским, одним из первых в нашей стране провел морские магнитные измерения с буксируемым магнитометром. А.М. Городницкий – один из авторов изобретения нового метода измерений электрического поля океана. В 1967 г. совместно с В.Д. Федоровым и А.Н. Пармоновым при работах на Черном и Белом морях открыл биоэлектрический эффект фитопланктона в море.

В 1968 г. защитил в МГУ кандидатскую диссертацию на тему «Применение магнитометрии и электрметрии для изучения дна океана».

С 1969 по 1972 гг. руководил Лабораторией морской геофизики в Научно-исследовательском институте геологии Арктики. С 1969 г. по 1972 г. руководил Лабораторией морской геофизики в Научно-исследовательском институте геологии Арктики.



31-й рейс «Дмитрий Менделеев» 1983 г. Палубные работы магнитного отряда.



Подготовка к погружению на аппарате «Мир 1» «Академик Мстислав Келдыш» 16-й рейс 1988 г.

В 1972 г. А.М. Городницкий переезжает в Москву и поступает в Институт океанологии им. П.П. Ширшова, тогда АН СССР, где работает старшим научным сотрудником в отделе тектоники литосферных плит. Отдел тогда возглавлял выдающийся ученый, активный пропагандист нового в то время направления в науках о Земле – теории тектоники литосферных плит, Олег Георгиевич Сорохтин, который оказал большое влияние на формирование А.М. Городницкого как ученого. В 1982 г. защитил докторскую диссертацию на тему «Строение океанической литосферы и формирование подводных гор». С 1985 по 2005 гг. Городницкий руководил лабораторией геомагнитных исследований Института океанологии, а с 2005 г. занимает должность главного научного сотрудника лаборатории геофизических полей.

За годы работы в Институте океанологии им. П.П. Ширшова А.М. Городницкий участвовал во многих океанологических экспедициях в различные районы Мирового океана, многократно погружался на дно в подводных обитаемых аппаратах, был на Северном полюсе и в Антарктиде.



31-й рейс «Дмитрий Менделеев» 1983 г. Л. Ваньян, А. Городницкий, И. Беляев, А. Филин, Н. Сабашникова, Н. Пальшин.

Основным его научным интересом все годы было геомагнитное поле Земли. На основе совместного анализа палеомагнитных, геологических и палеоклиматических данных, он, совместно с Л.П. Зоненншайном, составил серию карт – палеогеодинамических реконструкций океанов и континентов от кембрия до наших дней. Им впервые предложена и разработана методика расчета мощности океанической литосферы по линейным магнитным аномалиям в комплексе с данными измерений поля силы тяжести и плотности теплового потока и рассчитана карта мощности литосферы Мирового океана.

Им предложена оригинальная модель формирования вулканических подводных гор и островов в океане, в соответствии с которой высота палеовулканов определяется мощностью океанической литосферы. Совместно с О.Г. Сорохтиным предложена новая гипотеза гибели коралловых рифов и образования гайотов в позднем мелу.

А.М. Городницкий был одним из основоположников палеомагнитного моделирования подводных гор по данным магнитных и батиметрических съемок. В результате магнитного моделирования проведено определение возраста ряда палеовулканов в Северной Атлантике и Тихом океане и рассчитана кинематика Тихоокеанской плиты в мезозое и кайнозое.

А.М. Городницкий внес большой вклад в изучение природы магнитных аномалий в океане и их связи с геологическим строением и тектонической эволюцией океанической литосферы. На основе совместного анализа результатов магнитного моделирования по материалам геомагнитных съемок в зоне Срединно-Атлантиче-



ского хребта и данных петромагнитного изучения образцов горных пород, слагающих океаническую кору, им разработана новая петромагнитная модель океанической литосферы. В соответствии с этой моделью, значительный вклад в аномалии магнитного поля в океане, в том числе и в линейные, наряду с базальтами слоя 2, могут вносить серпентизированные перидотиты нижнего слоя океанической коры, а также перидотиты верхней мантии.

Им предложена и обоснована оригинальная модель петромагнитного строения зон медленно-спрединговых хребтов, в которых происходит интенсивное формирование серпентинитовых протрузий, связанное со

сменой эруптивной фазы дискретного спрединга тектонической.

В последние годы А.М. Городницкий с соавторами успешно разрабатывает новую в морской магнитометрии область – исследование тонкой пространственной структуры аномального магнитного поля на акваториях на основе применения высокоточной дифференциальной магнитной съемки. В его лаборатории разработан оригинальный аппаратно-методический комплекс для измерений курсового градиента. Применение этого комплекса показало его высокую эффективность для изучения тонкой структуры аномального магнитного поля, а также для поисков месторождений нефти, газа и твердых полезных ископаемых на акваториях шельфовых морей. Кроме того, эта аппаратура и методика, в рамках Балтийского международного экологического проекта, была успешно использована для обнаружения под осадками затонувших судов с химическими боеприпасами на акватории Балтийского моря.

Александр Моисеевич ведет большую преподавательскую работу в Международном университете в Дубне и в МГУ им. М.В. Ломоносова. Под его руководством защитили диссертации 6 кандидатов наук. Он неоднократно выезжал по приглашению с лекциями в университеты Германии, США, Бельгии и Израиля. На протяжении многих лет регулярно принимает участие с докладами в работе ведущих международных конгрессов и симпозиумов.

А.М. Городницкий активно занимается пропагандой на телевидении достижений современной отечественной науки и искусства. Он автор и ведущий телесериала из 34 получасовых научно-популярных фильмов «Атланты в поисках истины». Сериал этот за последние годы 6 раз демонстрировался по телеканалу «Культура» и имеет высокий зрительский рейтинг.

За научные заслуги неоднократно награждался грамотами Российской академии наук. В 1998 г. награжден знаком «Рыцарь науки», а в 2004 г. – крестом «За заслуги» РАЕН, в 2003 г. – орденом «Полярная звезда». В 1999 г. по решению РАН в его честь названа малая планета №5988. Награжден многими медалями.

Александр Моисеевич широко известен также как поэт, автор песен и писатель. Он автор 32 книг стихов, песен и мемуарной прозы и нескольких десятков дисков с авторскими песнями. Один из основоположников жанра авторской песни. Член союза писателей России (1972) и Международного Пен-клуба (1998). Президент ассоциации российских бардов. Лауреат царскосельской художественной премии (1998). Первый лауреат Государственной премии имени Булата Окуджавы (1999). Стихи и песни А.М. Городницкого переведены на языки многих народов мира, включены в антологии русской поэзии и учебники по русской литературе.

Литература

- Городницкий А.М.* В поисках истины М.: Эксмо-Яуза, 2015. 416 с. (Актуальные проблемы и тайны науки).
- Городницкий А.М., Филлин А.М., Малютин Ю.Д.* Морская магнитная градиентная съемка. М.:ВНИРО, 2004. 140 с.
- Городницкий А.М., Филлин А.М.* Изучение тонкой пространственной структуры аномального магнитного поля на акваториях при решении геологических и экологических задач. Известия секции наук о Земле. РАЕН. 2001. № 1. С. 5–89.
- Городницкий А.М., Валяшко Г.М., Страхов В.Н. и др.* Магнитные аномалии земных глубин. Киев.: Наукова думка, 1976.
- Городницкий А.М., Виноградов М.Е., Лисицын А.П. и др.* Полвека изучения Мирового океана. М.: Наука, 1999.
- Городницкий А.М., Печерский Д.М., Валяшко Г.М. и др.* Петромагнитная модель литосферы. Киев: Наукова думка, 1994.
- Городницкий А.М., Беляев И.И. и др.* Магнитное поле океана. М.: Наука, 1993. 300 с.
- Городницкий А.М. и др.* Природа магнитных аномалий и строение океанической коры. М.: ВНИРО, 1996.
- Городницкий А.М., Филлин А.М.* Изучение дна океанов и поиск металлических объектов магнитными методами // Вестник Российской академии естественных наук. 2001. С. 21–28.
- Городницкий А.М.* Инверсии геомагнитного поля и жизнь на Земле // Земля и Вселенная. 2006. № 1. С. 68–77.
- Gorodnitsky A.M. et al.* Anomalous Magnetic Field of the World Ocean/ edited by Alexander M. Gorodnitsky. 1995 [CRC Press, Ann Arbor, Boca Raton]. 253 p.
- Gorodnitsky A., Filin A.* Techniques and results of magnetic detection of dumped weapons in Bornholm and Skagerrak dumpsites. Chemical munition dump sites in coastal environments. Belgium, Brussel: Renard Centre of Marine Geology, 2002. P. 53–64.
- Gorodnitsky A. and Gilat A.* Geophysical Fields Structure and Tectonic Evolution of the Eastern Mediterranean // *Israel Technological Advantedge. Ierusalem, Scientific Journal.* 2001. Vol. 1.
- Gorodnitsky A.* Structure in a zone of the Mid-Atlantic Ridge. *Ierusalem, Israel InterRidge News,* 2000. Vol. 9 (1). pp. 23–26.

**SCIENTIST AND POET
TO THE 85TH ANNIVERSARY OF ALEXANDRA GORODNITSKOGO**

N.A. Palshin, N.A. Shishkina

*Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences,
36 Nahimovskiy prospekt, Moscow, 117997, Russia, e-mail: palshin@ocean.ru
Submitted 20.04.2018, accepted 26.04.2018*

A brief curriculum vitae and basic scientific works in the field of ocean geology and geophysics of A.M. Gorodnitskiy, widely known also as a poet, songwriter and writer.

Keywords: marine geophysics, submarine mountains, oceanic lithosphere, paleomagnetic reconstructions, gradient marine geomagnetic survey, nature of magnetic anomalies

References

- Gorodnitskiy A.M.* V poiskakh istiny (Aktualnyye problemy i tayny nauki). Moskva: Eksmo-Yauza, 2015, 416 p.
- Gorodnitskiy A.M., Filin A.M., and Malyutin Yu.D.* Morskaya magnitnaya gradiyentnaya syemka. Moskva: VNIRO, 2004, 140 p.
- Gorodnitskiy A.M. and Filin A.M.* Izucheniye tonkoy prostranstvennoy struktury anomalnogo magnitnogo polya na akvatoriyakh pri reshenii geologicheskikh i ekologicheskikh zadach. *Izvestiya sektsii nauk o Zemle, Rossiyskoy akademii estestvennykh nauk*, 2001, No. 1, pp. 5–89.
- Gorodnitskiy A.M., Valyashko G.M., Strakhov V.N., et al.* Magnitnyye anomalii zemnykh glubin. Kiyev, Naukova dumka, 1976.
- Gorodnitskiy A.M., Vinogradov M.E., Lisitsyn A.P., et al.* Polveka izucheniya Mirovogo okeana. Moskva: Nauka, 1999.
- Gorodnitskiy A.M., Pecherskiy D.M., Valyashko G.M., et al.* Petromagnitnaya model litosfery. Kiyev, Naukova dumka, 1994.
- Gorodnitskiy A.M. Belyayev I.I., et al.* Magnitnoye pole okeana. Moskva: Nauka, 1993, 300 p.
- Gorodnitskiy A.M., et al.* Priroda magnitnykh anomalii i stroyeniye okeanicheskoy kory. Moskva: VNIRO, 1996.
- Gorodnitskiy A.M. and Filin A.M.* Izucheniye dna okeanov i poisk metallicheskih obyektov magnitnymi metodami. *Vestnik Rossiyskoy akademii estestvennykh nauk*, 2001, pp. 21–28.
- Gorodnitskiy A.M.* Inversii geomagnitnogo polya i zhizn na Zemle. *Zemlya i Vselennaya*, 2006, No. 1, pp. 68–77.
- Gorodnitskiy A.M. et al.* Anomalous Magnetic Field of the World Ocean. Edited by Gorodnitskiy, CRC Press, Ann Arbor, Boca Raton, 1995, 253 p.
- Gorodnitskiy A.M. and Filin A.M.* Techniques and results of magnetic detection of dumped weapons in Bornholm and Skagerrak dumpsites. Chemical munition dump sites in coastal environments, Belgium, Brussel, Renard Centre of Marine Geology, 2002, pp. 53–64.
- Gorodnitskiy A. and Gilat A.* Geophysical Fields Structure and Tectonic Evolution of the Eastern Mediterranean. *Israel Technological Advantedge. Ierusalem, Scientific Journal*, 2001, Vol. 1.
- Gorodnitskiy A.* Structure in a zone of the Mid-Atlantic Ridge. *Ierusalem, Israel InterRidge News*, 2000, Vol. 9 (1), pp. 23–26.

К 70-ЛЕТИЮ ЛЕОПОЛЬДА ИСАЕВИЧА ЛОБКОВСКОГО

Н.О. Сорохтин

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, 117997, Москва,
Нахимовский проспект, д. 36, e-mail: nsorokhtin@ocean.ru*

Статья поступила в редакцию 20.04.2018, одобрена к печати 26.04.2018

Статья посвящена выдающемуся Советскому и Российскому ученому геологу-геофизику, одному из лидеров мировой науки Л. И. Лобковскому

Ключевые слова: Л.И. Лобковский, геодинамика, Арктика, тектоника плит, геофизика, механика сплошных сред, клавишная модель



26 марта 2018 г. исполнилось 70 лет выдающемуся геологу-геофизику, специалисту в области глобальной и региональной геодинамики, научному руководителю геологического направления Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН, доктору физ.-мат. наук, профессору, член-корреспонденту РАН Леопольду Исаевичу Лобковскому.

Л.И. Лобковский в 1972 г. окончил механико-математический факультет МГУ. В том же году поступил в аспирантуру ИО АН, которую окончил в 1975 г., защитив кандидатскую диссертацию на тему «Геомеханическая модель зон субдукции». В 1985 г. защитил докторскую диссертацию «Характер геодинамических процессов, геофизических полей и сейсмичности в зонах спрединга и субдукции».

С 1993 по 2018 гг. Л.И. Лобковский занимал должность заместителя директора по геологическому направлению Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН. С 1994 г. является заведующим лабораторией сейсмологии и геодинамики, преобразованной в 2017 г. в лабораторию геодинамики, георесурсов, георисков и геоэкологии ИО РАН. В 2008 г. избран член-корреспондентом РАН, с 2000 г. действительный член Европейской академии.

Основные научные интересы Л.И. Лобковского связаны с применением методов механики сплошной среды к решению проблем геодинамики, морской геоло-

гии, геофизики и океанологии. Им разработаны количественные геодинамические модели процессов спрединга и субдукции океанской литосферы, коллизии литосферных плит, эволюции пассивных континентальных окраин, погружения фундамента осадочных бассейнов; предложена «клавишная» модель циклов сильнейших цунамигенных землетрясений, которая получила прямое подтверждение данными космической геодезии, предсказаны сильнейшие цунамигенные землетрясения в центральных Курилах в 2006–2007 гг. и промоделированы процессы распространения соответствующих волн цунами в Тихом океане и Охотском море; предложена концепция двухъярусной тектоники плит; развита термохимическая модель мантийной конвекции, на основе которой выполнено численное моделирование глобальной эволюции Земли на протяжении всей ее истории. Созданная им новая геодинамическая модель эволюции Арктического региона на период верхней юры, мела и кайнозоя вошла составной частью в обоснование заявки Российской Федерации в Комиссию ООН на установление внешней границы континентального шельфа России в Арктике. В последние годы Л.И. Лобковский развивает сформулированное им новое научное направление в геологии и геодинамике, получившее название концепции тектоники деформируемых литосферных плит, которая обобщает классическую плитотектоническую парадигму.

Л.И. Лобковский – член Экспертного совета по Арктике и Антарктике Совета Федерации РФ, член Научно-экспертного совета Госкомиссии по развитию Арктической зоны РФ», член Научно-координационного совета Госпрограммы РФ «Развитие судостроения и техники для освоения шельфа на 2013–2030 гг.», член Экспертного совета Российского Научного Фонда, член бюро Отделения наук о Земле РАН, член редколлегии журналов «Океанология» и «Арктика: экология и экономика», председатель диссертационного совета Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН, член диссертационных советов Геологического института РАН и Института динамики геосфер РАН.

Л.И. Лобковский организовал инновационное направление развития морских геолого-геофизических исследований с использованием высокоразрешающих технологий получения данных в интересах освоения углеводородных ресурсов шельфа России. Им организован Каспийский филиал ИО РАН в Астрахани, на базе которого проводятся комплексные геолого-геофизические и экологические исследования Каспийского моря и осуществляется научное сопровождение крупных нефтегазовых проектов. В частности, впервые в России разработана и внедрена система непрерывного геодинамического мониторинга процесса нефтегазодобычи на шельфе на месторождениях им. Ю. Корчагина и В. Филановского НК «Лукойл» в Северном Каспии с помощью донных станций.

Первым учителем Леопольда Исаевича на механико-математическом факультете МГУ был выдающийся механик профессор Вениамин Петрович Мясников, впоследствии ставший академиком РАН.

Основное влияние на профессиональный рост и деятельность Леопольда Исаевича, с моей точки зрения, оказали два ведущих столпа Российской гео-

логии и геодинамики, которые не только сформировали в нем ученого, но и вывели его на мировой уровень геологической науки. Одним из них был руководитель его аспирантуры и, впоследствии, научный опекун многих его начинаний доктор ф.-м.н., профессор Олег Георгиевич Сорохтин – выдающийся Советский и Российский геолог-геофизик, один из первых разработчиков концепции тектоники литосферных плит в нашей стране, создатель основных положений теории глобальной эволюции Земли.

Олег Георгиевич, будучи очень неординарным и одаренным человеком, не раз отмечал, что Леопольд Исаевич был самым перспективным и многообещающим среди всех его учеников. Многие годы они плодотворно сотрудничали в области разработки основных положений теории глобальной эволюции Земли, обогащая и дополняя друг друга.

Вторым учителем Леопольда Исаевича стал на определенном этапе его профессиональной деятельности академик РАН, доктор г.-м.н., профессор Виктор Ефимович Хаин. Личность В.Е. Хаина почти легендарная, геолог-нефтяник настолько увлекся и преуспел в изучении региональной геологии и геодинамики Земли, что в конце жизни его «за глаза» иногда называли русским Зюссом. Совместно с О.Г. Сорохтиным и рядом других выдающихся геологов Советского Союза В.Е. Хаин поддержал идеи мобилизма в нашей стране и всячески их пропагандировал.

Л.И. Лобковский автор более 300 научных работ и 14 монографий. Наиболее широко известными среди них являются «Геодинамика зон спрединга, субдукции и двухъярусная тектоника плит» (1988 г.); написанная совместно с В.Е. Хаиным и А.М. Никишиным книга «Современные проблемы геотектоники и геодинамики» (2004 г.). Л.И. Лобковский инициировал и выступил ответственным редактором и соавтором беспрецедентной серии книг «Мировой океан», в рамках которой вышли первые два тома: Том 1: «Геология и тектоника океана. Катастрофические явления в океане» (Научный мир, 2013; Том 2: «Физика, химия и биология океана). Осадкообразование в океане и взаимодействие геосфер Земли». (Научный мир, 2014). В настоящее время подготовлен к печати Том 3: «Полезные ископаемые и газогидраты океана» (Научный мир, 2018).

В столь знаменательный юбилей Леопольд Исаевич сохраняет высочайшую работоспособность, возглавляет исследования по ряду важнейших проблем морской геологии и геофизики и является, по сути, «играющим тренером» нашей команды.

Основные публикации Л.И. Лобковского

Баренблатт Г.И., Лобковский Л.И., Нигматулин Р.И. Математическая модель истечения газа из газонасыщенного льда и газогидратов // Докл. РАН. 2016. Т. 470. № 4. С. 458–461.

Каракин А.В., Лобковский Л.И. Механика пористой двухфазной вязко деформируемой среды и некоторые геофизические приложения // Изв. АН СССР. Механика жидкости и газа. 1979. № 6. С. 53.

- Каракин А.В., Лобковский Л.И.* Механика пористой двухфазной астеносферы // Изв. АН СССР. Механика жидкости и газа. 1979. № 6. С. 63
- Лаверов Н.П., Лобковский Л.И., Кононов М.В., Добрецов Н.Л., Верниковский В.А., Соколов С.Д., Шипилов Э.В.* Геодинамическая модель развития Арктического бассейна и примыкающих территорий для мезозоя и кайнозоя и внешняя граница континентального шельфа России // Геотектоника. 2013. Т. 47. № 1. С. 3–35
- Лобковский Л.И., Сорохтин О.Г.* Тектоника литосферных плит и происхождение цунамигенных землетрясений // Докл. АН СССР. 1980. Т. 251. № 5.
- Лобковский Л.И., Сорохтин О.Г., Шеменда А.И.* Моделирование деформаций островных дуг, приводящих к образованию тектонических террас и возникновению цунамигенных землетрясений // Докл. АН СССР. 1980. Т. 255. № 1. С. 74.
- Лобковский Л.И., Баранов Б.В.* Клавишная модель сильных землетрясений в островных дугах и активных континентальных окраинах // Докл. АН СССР. 1984. Т. 275. № 4. С. 843.
- Лобковский Л.И.* Геодинамика зон спрединга, субдукции и двухъярусная тектоника плит Москва: Наука, 1988.
- Лобковский Л.И.* Схема двухмасштабной двухъярусной тектоники плит и внутриплитные деформации земной коры // Докл. АН СССР. 1988. Т. 302. № 1. С. 62.
- Лобковский Л.И., Никишин А.М., Хаин В.Е.* Современные проблемы геотектоники и геодинамики. Москва: Научный Мир, 2004.
- Лобковский Л.И.* Катастрофическое землетрясение и цунами 26.12.2004 в северной части Зондской островной дуги: геодинамический анализ и аналогия с Центральными Курилами // Вестник РАЕН. 2005. № 2. С. 53.
- Лобковский Л.И., Левченко Д.Г., Леонов А.В., Амбросимов А.К.* Геоэкологический мониторинг морских нефтегазовых акваторий. Москва: Наука, 2005.
- Лобковский Л.И., Мазова Р.Х., Катаева Л.Ю., Баранов Б.В.* Генерация и распространение катастрофических цунами в акватории Охотского моря. Возможные сценарии // Докл. РАН. 2006. Т. 410. № 4. С. 528–531.
- Лобковский Л.И., Мазова Р.Х.* Механизм очага цунами 2004 г. в индийском океане: анализ и численное моделирование // Физика Земли. 2007. № 7. С. 46–56.
- Лобковский Л.И., Куликов Е.А., Рабинович А.Б., Иващенко А.И., Файн И.В., Ивельская Т.Н.* Землетрясения и цунами 15 ноября 2006 г. и 13 января 2007 г. в районе центральных Курил: оправдавшийся прогноз // Докл. РАН. 2008. Т. 418. № 6. С. 829–833
- Лобковский Л.И., Рабинович А.Б., Куликов Е.А. и др.* Курильские землетрясения и цунами 15 ноября 2006 г. и 13 января 2007 г. [наблюдения, анализ, и численное моделирование] // Океанология. 2009. Т. 49. № 2. С. 181–197.
- Лобковский Л.И., Мазова Р.Х., Кисельман Б.АП., Морозова А.О.* Численное моделирование и спектральный анализ цунами 15 ноября 2006 г. в Курило-Камчатском регионе // Океанология. 2010. Т. 50. С. 485–494.
- Лобковский Л.И., Вержбицкий В.Е., Кононов М.И., Шрейдер А.А., Гарагаш И.А., Соколов С.Д., Тучкова М.И., Котелкин В.Д., Верниковский В.А.* Геодинамическая модель эволюции Арктического региона в позднем мезозое-кайнозое и проблема внешней границы континентального шельфа России // Арктика: экология и экономика. 2011. № 1. С. 104–115.
- Лобковский Л.И.* Успехи и трудности теории тектоники плит: обобщение классической парадигмы на примере Арктического региона // Мировой океан. Т.1: Геология и тектоника океана. Катастрофические явления в океане / ред. Л.И. Лобковский. М: Научный Мир, 2013. С. 29–52.

- Лобковский Л.И., Гарагаш И.А., Дубовская А.В.* Связь напряженно-деформируемого состояния земной коры Восточного Прикаспия с зонами возникновения очагов землетрясений // Докл. РАН. 2013. Т. 449. № 4. С. 458.
- Лобковский Л.И., Никифоров С.Л., Шахова Н.Е., Семилетов И.П., Либина Н.В., Ананьев Р.А., Дмитриевский Н.Н.* О механизмах деградации подводных многолетнемерзлых пород на Восточном Арктическом шельфе // Докл. РАН. 2013. Т. 449. № 2. С. 185–188.
- Лобковский Л.И., Шипилов Э.В., Кононов М.В.* Геодинамическая модель верхнемантийной конвекции и преобразование литосферы Арктики в мезозое и кайнозое // Физика Земли. 2013. № 6. С. 20–38.
- Лобковский Л.И., Баранов Б.В., Дозорова К.А., Мазова Р.Х., Кисельман Б.А., Баранова Н.А.* Командорская сейсмическая брешь: прогноз землетрясения и расчет цунами. Океанология. 2014. Т. 54. № 4. С. 561.
- Лобковский Л.И., Никифоров С.Л., Дмитриевский Н.Н., Либина Н.В., Семилетов И.П., Ананьев Р.А., Мелузов А.А., Росляков А.Г.* О процессах газовыделения и деградации подводных многолетнемерзлых пород на шельфе моря Лаптевых // Океанология. 2015. Т. 55. № 2. С. 312.
- Лобковский Л.И.* Тектоника деформируемых литосферных плит и модель региональной геодинамики применительно к Арктике и северо-восточной Азии // Геология и геофизика. 2016. Т. 57. № 3. С. 476–495.
- Лобковский Л.И., Владимирова И.С., Габсатаров Ю.В., Гарагаш И.А., Баранов Б.В., Стеблов Г.М.* Постсейсмические движения после Симуширских землетрясений 2006–2007 гг. на различных стадиях сейсмического цикла // Докл. РАН. 2017. Т. 473. № 3. С. 359–364.
- Лобковский Л.И., Владимирова И.С., Габсатаров Ю.В., Баранов Б.В., Гарагаш И.А., Стеблов Г.М.* Сеймотектонические деформации, связанные с землетрясением Мауле 2010 г., на разных стадиях сейсмического цикла по данным спутниковых геодезических наблюдений // Докл. РАН. 2017. Т. 477. № 6. С. 716–721.
- Сорохтин О.Г., Лобковский Л.И.* Механизм затягивания океанических осадков в зону поддвига литосферных плит // Изв. АН СССР. 1976. (Физика Земли).
- Lobkovsky L.I., Cloetingh, S., Nikishin, A.M., Volozh, Yu.A., Lankreijer, A.C., Belyakov, S.L. et al.*, Extensional basins of the former Soviet Union structure, basin formation mechanisms and subsidence history // *Tectonophysics*. 1996. Vol. 266.
- Lobkovsky L.I., Kerchman V.I.* A two-level concept of plate tectonics: application to geodynamics // *Tectonophysics*. 1991. Vol. 199.
- Lobkovsky L.I., Kerchman V.I., Baranov B.V., Pristavakina E.I.* Analysis of seismotectonic processes in subduction zones from the standpoint of a keyboard model of great earthquakes // *Tectonophysics*. 1991. Vol. 199.
- Lobkovsky L., Kotelkin V.* The history of supercontinents and oceans from the standpoint of thermochemical mantle convection. *Precambrian Research*. 2015. Vol. 259. С. 262–277.
- Lobkovsky L.I., Garagash I., Baranov B., Mazova R., Baranova N.* Modeling features of both rupture process and the local tsunami wave field from the 2011 Tohoku earthquake // *Pure Appl. Geophys.* 2017. Vol. 174. P. 3919–3938.

TO THE 70TH ANNIVERSARY OF
LEOPOLD I. LABKOVSKY

N.O. Sorokhtin

*Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences,
36 Nahimovskiy prospekt, Moscow, 117997, Russia, e-mail: nsorokhtin@ocean.ru
Submitted 20.04.2018, accepted 26.04.2018*

The article is devoted to the outstanding Soviet and Russian scientist geologist – geophysicist,
One of the leaders of the world science L.I. Lobkovsky

Keywords: L.I. Lobkovsky, geodynamics, Arctic, plate tectonics, Geophysics, mechanics of continuous media, keyboard model

Selected bibliography of L.I. Lobkovsky

- Barenblatt G.I., Lobkovskiy L.I., and Nigmatulin R.I.* Matematicheskaya model' istecheniya gaza iz gazonasyshchennogo l'da i gazogidratov. *Dokl. RAN*, 2016, Vol. 470, No. 4, pp. 458–461.
- Karakin A.V. and Lobkovskiy L.I.* Mekhanika poristoj dvuhfaznoj vyazko deformiruemoj sredy i nekotorye geofizicheskie prilozheniya. *Izv. AN SSSR. Mekhanika zhidkosti i gaza*, 1979, No. 6, pp. 53.
- Karakin A.V. and Lobkovskiy L.I.* Mekhanika poristoj dvuhfaznoj astenosferyyu. *Izv. AN SSSR. Mekhanika zhidkosti i gaza*, 1979, No. 6, pp. 63.
- Laverov N.P., Lobkovskiy L.I., Kononov M.V., Dobrecov N.L., Vernikovskiy V.A., Sokolov S.D., and Shipilov E.V.* Geodinamicheskaya model' razvitiya Arkticheskogo bassejna i primykayushchih territorij dlya mezozoya i kajnozoya i vneshnyaya granica kontinental'nogo shel'fa Rossii. *Geotektonika*, 2013, Vol. 47, No. 1, pp. 3–35.
- Lobkovskiy L.I. and Sorohtin O.G.* Tektonika litosfernyh plit i proiskhozhdenie cunamigennyh zemletryasenij. *Dokl. AN SSSR*, 1980, Vol. 251, No. 5.
- Lobkovskiy L.I., Sorohtin O.G., and Shemenda A.I.* Modelirovanie deformacij ostrovnyh dug, privodyashchih k obrazovaniyu tektonicheskikh terras i vzniknoveniyu cunamigennyh zemletryasenij. *Dokl. AN SSSR*, 1980, Vol. 255, No. 1, pp. 74.
- Lobkovskiy L.I. and Baranov B.V.* Klavishnaya model' sil'nyh zemletryasenij v ostrovnyh dugah i aktivnyh kontinental'nyh okrainah. *Dokl. AN SSSR*, 1984, Vol. 275, No. 4, pp. 843.
- Lobkovskiy L.I.* Geodinamika zon sprenginga, subdukcii i dvuh'yarusnaya tektonika plit. Moskva: Nauka, 1988.
- Lobkovskiy L.I.* Skhema dvuhmasshtabnoj duhyarusnoj tektoniki plit i vnutriplitnye deformacii zemnoj kory. *Dokl. AN SSSR*, 1988, Vol. 302, No. 1, pp. 62.
- Lobkovskiy L.I., Nikishin A.M., and Hain V.E.* Sovremennye problemy geotektoniki i geodinamiki. Moskva: Nauchnyj Mir, 2004.
- Lobkovskiy L.I.* Katastroficheskoe zemletryasenie i cunami 26.12.2004 v severnoj chasti Zondskoj ostrovnoj dugi: geodinamicheskij analiz i analogiya s Central'nymi Kurilami. *Vestnik RAEN*, 2005, No. 2, pp. 53.
- Lobkovskiy L.I., Levchenko D.G., Leonov A.V., and Ambrosimov A.K.* Geoekologicheskij monitoring morskikh neftegazovykh akvatorij. Moskva: Nauka, 2005.
- Lobkovskiy L.I., Mazova R.X., Kataeva L.YU., and Baranov B.V.* Generaciya i rasprostranenie

- katastroficheskikh cunami v akvatorii Ohotskogo moray. Vozmozhnye scenarii. *Dokl. RAN*, 2006, Vol. 410, No. 4, pp. 528–531.
- Lobkovskiy L.I. and Mazova R.H. Mekhanizm ochaga cunami 2004 goda v Indijskom okeane: analiz i chislennoe modelirovanie. *Fizika Zemli*, 2007, No. 7, pp. 46–56.
- Lobkovskiy L.I., Kulikov E.A., Rabinovich A.B., Ivashchenko A.I., Fajn I.V., and Ivel'skaya T.N. Zemletryaseniya i cunami 15 noyabrya 2006 goda i 13 yanvarya 2007 goda v rajone central'nyh Kuril: opravdavshiysya prognoz. *Dokl. RAN*, 2008, Vol. 418, No. 6, pp. 829–833.
- Lobkovskiy L.I., Baranov B.V., Dozorova K.A., Mazova R.H., Kisel'man B.A., and Baranova N.A. Komandorskaya seismicheskaya bresh': prognoz zemletryaseniya i raschet cunami. *Okeanologiya*, 2014, Vol. 54, No. 4, pp. 561.
- Lobkovskiy L.I., Nikiforov S.L., Dmitrevskiy N.N., Libina N.V., Semiletov I.P., Anan'ev R.A., Meluzov A.A., and Roslyakov A.G. O processah gazovydeleniya i degradacii podvodnyh mnogoletnemerzlyh porod na shel'fe morya Laptevyyh. *Okeanologiya*, 2015, Vol. 55, No. 2, pp. 312.
- Lobkovskiy L.I. Tektonika deformiruemyyh litosfernyh plit i model' regional'noj geodinamiki primenitel'no k Arktike i severo-vostochnoj Azii. *Geologiya i geofizika*, 2016, Vol. 57, No. 3, pp. 476–495.
- Lobkovskiy L. I., Vladimirova I. S., Gabsatarov YU. V., Garagash I. A., Baranov B. V., and Steblou G.M. Postseismicheskie dvizheniya posle Simushirskih zemletryaseniij 2006–2007 gg. na razlichnyh stadiyah seismicheskogo cikla. *Dokl. RAN*, 2017, Vol. 473, No. 3, pp. 359–364.
- Lobkovskiy L.I., Vladimirova I.S., Gabsatarov YU.V., Baranov B.V., Garagash I.A., and Steblou G.M. Sejsmotektonicheskie deformacii, svyazannye s zemletryaseniem Maule 2010 gjda, na raznyh stadiyah seismicheskogo cikla po dannym sputnikovyyh geodezicheskikh nablyudenij. *Dokl. RAN*, 2017, Vol. 477, No. 6, pp. 716–721.
- Lobkovsky L.I., Cloetingh, S., Nikishin, A.M., Volozh, Yu.A., Lankreijer, A.C., Belyakov, S.L. et al., Extensional basins of the former Soviet Union – structure, basin formation mechanisms and subsidence history. *Tectonophysics*, 1996, Vol. 266.
- Lobkovsky L.I. and Kerchman V.I. A two-level concept of plate tectonics: application to geodynamics. *Tectonophysics*, 1991, Vol. 199.
- Lobkovsky L.I., Kerchman V.I., Baranov B.V., and Pristavakina E.I. Analysis of seismotectonic processes in subduction zones from the standpoint of a keyboard model of great earthquakes. *Tectonophysics*, 1991, Vol. 199.
- Lobkovskiy L.I., Rabinovich A.B., Kulikov E.A. et al. The Kuril earthquakes and tsunamis of November 15, 2006, and January 13, 2007: observations, analysis, and numerical modeling. *Oceanology*, 2009, Vol. 49, No. 2, pp. 166–181.
- Lobkovskiy L.I., Mazova R.K., Kisel'man B.A., and Morozova A.O. Numerical modeling and spectral analysis of tsunami on November, 15, 2006 in Kuril-Kamchatka region. *Oceanology*, 2010, Vol. 50, No. 4, pp. 449–458.
- Lobkovsky L.I., Verzhbitsky V.E., Kononov M.V., Shreider A.A., Garagash I.A., Sokolov S.D., Tuchkova M.I., Kotelkin V.D., and Vernikovskiy V.A. Geodynamical model of Arctic region evolution in late mesozoic and cenozoic and the problem of the outer limits of the continental shelf. *Arctic: ecology and economy*, 2011, No. 1, pp. 104–115.
- Lobkovsky L.I. Advances and difficulties of the plate tectonics theory: a generalization of the classical paradigm in the case of the Arctic region. *The World Ocean, Vol. 1: Geology and Tectonics of the Ocean. Catastrophic Phenomena in the Ocean*, Ed. by L.I. Lobkovsky, Moscow Scientific World, 2013, pp. 29–52.

- Lobkovsky L.I., Shipilov E.V., and Kononov M.V.* A geodynamic model of upper mantle convection and transformation of Arctic lithosphere in Mesozoic and Cenozoic. *Izvestiya. Physics of Solid Earth*, 2013, No. 6, pp. 20–38.
- Laverov N. P., Lobkovsky L.I., Kononov M.V., Dobretsov N.L., Vernikovskiy V.A., Sokolov S.D., and Shipilov E.V.* A geodynamic model of the evolution of the Arctic basin and adjacent territories in the Mesozoic and Cenozoic and the outer limit of the Russian continental shelf. *Geotectonics*, 2013, Vol. 47, No. 1, pp. 1–30.
- Lobkovskii L.I., Nikiforov S.L., Libina N.V., Ananiev R.A., Dmitrevskii N.N., Shakhova N.E., and Semiletov I.P.* Mechanisms responsible for degradation of submarine permafrost on the Eastern Arctic shelf of Russia. *Doklady Earth Sciences*, 2013, Vol. 449, No. 1, pp. 280–283.
- Lobkovskii L.I., Garagash I.A., and Dubovskaya A.V.* Correlation between the stress-strain state of the Earth's crust in the Eastern Caspian region and zones of earthquake source generation. *Doklady Earth Sciences*, 2013, Vol. 449, No. 2, pp. 397–401.
- Lobkovsky L. and Kotelkin V.* The history of supercontinents and oceans from the standpoint of thermochemical mantle convection. *Precambrian Research*, 2015, Vol. 259, pp. 262–277.
- Lobkovsky L.I., Garagash I., Baranov B., Mazova R., and Baranova N.* Modeling features of both rupture process and the local tsunami wave field from the 2011 Tohoku earthquake. *Pure Appl. Geophys*, 2017, Vol. 174, pp. 3919–3938.
- Sorohtin O.G. and Lobkovskiy L.I.* Mekhanizm zatyagivaniya okeanicheskikh osadkov v zonu poddvinga litosfernykh plit. *Izv. AN SSSR, Fizika Zemli*, 1976, No. 5, pp. 3–10.

**К 100-ЛЕТИЮ ВЫДАЮЩЕГО СОВЕТСКОГО УЧЕНОГО
ПРОФЕССОРА К.С. ШИФРИНА
1918–2011**

О.В. Копелевич

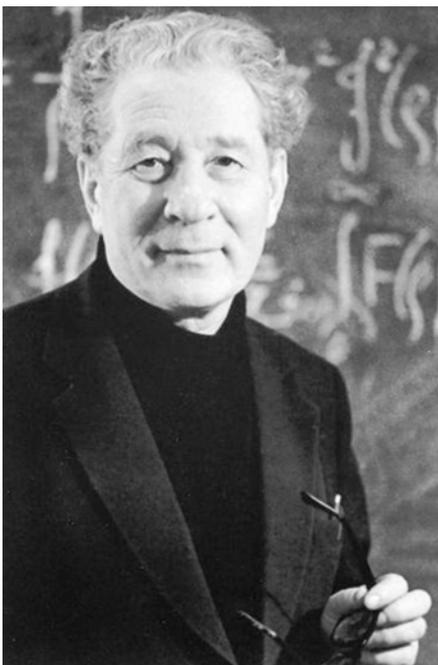
*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, 117997, Москва,
Нахимовский проспект, д. 36, e-mail: oleg@ocean.ru*

Статья поступила в редакцию 20.04.2018, одобрена к печати 26.04.2018

Статья посвящена 100-летию выдающегося ученого профессора Кузиэля Соломоновича Шифрина, который возглавлял оптические исследования в Институте океанологии с 1969 по 1992 г. Выполнял научные работы мирового уровня в различных областях физики, включая электрические свойства полупроводников, рассеяние электромагнитных волн разными частицами, обратные задачи теории рассеяния, перенос радиации в атмосфере, кинетику образования облаков и осадков, пассивную радиотеплокацию, оптику океана и атмосферы над океаном. Первая работа, принесшая ему мировую известность, – разработка теории электрических свойств хорошо проводящих полупроводников, опубликована в Журнале технической физики в 1944 г. Послевоенные исследования, когда началось широкое развитие полупроводниковой техники, показали, что разработанная Шифриным теория дает правильное объяснение многим практически важным эффектам.

Значительная часть научной деятельности Шифрина связана с теоретическими исследованиями рассеяния электромагнитного излучения частицами. В 1951 г. им опубликована книга «Рассеяние света в мутной среде» – первая в мире монография по теории однократного рассеяния света частицами.

Шифрин – основоположник метода микроволновой радиотеплокации (РТЛ). Первый в мире тематический сборник по этой проблеме под его редакцией опубликован в 1968 г. и немедленно переведен на английский. Всепогодный метод РТЛ широко применяется в настоящее время для спутниковых измерений температуры поверхности океана, ледяного покрытия и других параметров.



Огромный вклад Шифрин внес в разработку методов решения обратной задачи теории рассеяния – оценке распределения частиц по размерам по данным измерений характеристик рассеяния.

Под руководством Шифрина исследован широкий круг задач по оптике океана: теория поглощения и рассеяния света в морской воде, определение количественного и качественного состава океанской взвеси по особенностям светорассеяния, использование оптических методов в спутниковой океанологии. В 1983 г. опубликовал монографию «Введение в оптику океана», переведенную на английский.

К.С. Шифрин – организатор всесоюзных пленумов по оптике океана; под его руководством защищена 51 кандидатская диссертация, был консультантом 9 докторских. С 1992 по 2003 г. работал в Орегонском университете США, скончался в 2011 г.; прах захоронен на Преображенском кладбище в Санкт-Петербурге.

Ключевые слова: электрические свойства полупроводников, рассеяние света частицами, обратные задачи теории рассеяния, пассивная радиотеплолокация, оптика океана и атмосферы

Введение

В числе выдающихся ученых, прославивших Институт океанологии П.П. Ширшова РАН научными достижениями, получившими мировое признание и сохранившими свою значимость до настоящего времени, следует назвать проф. К.С. Шифрина, который возглавлял Оптический отдел ИО АН (позже Лабораторию оптики океана и атмосферы Ленинградского отделения) с 1969 по 1992 гг.

Знакомство с научными работами Кузиэля Соломоновича Шифрина впечатляет широтой его исследовательских интересов: тематика публикаций охватывает и электрические свойства полупроводников (работы 1942–1943 гг.), и рассеяние электромагнитных волн разными частицами (начиная с 1946 г.), и обратные задачи теории рассеяния (с 1951 г.), и перенос радиации в атмосфере, кроме того, кинетику образования облаков и осадков, разработку метода пассивной радиотеплолокации (1963–1967 гг.), и, наконец, его работы в Институте океанологии в области оптики океана и атмосферы над океаном (1969–2003 гг.). Шифрин опубликовал более 400 научных работ, полный список которых можно найти в книге, посвященной его 90-летию (Шифрин, 2008). Многие из них были переведены на английский язык и опубликованы за рубежом; Шифрин избран действительным членом Американского оптического общества (1985 г.), членом Итальянской геофизической ассоциации (1989 г.).

Основная цель этой статьи – показать современное значение работ К.С. Шифрина по оптике океана и атмосферы над океаном. Но, прежде чем перейти к работам по этим проблемам, выполненным в Институте океанологии, имеет смысл кратко рассказать о его наиболее важных предшествующих работах, получивших мировое признание.

Биографические даты

Кузиэль Соломонович Шифрин родился 26 июля 1918 г. в Мстиславле (Белоруссия). В 1925 г. семья переехала в Ленинград, где в 1932 г. он окончил семь классов средней школы и поступил учеником токаря на военный завод им. Калинина. Учебу продолжил в фабрично-заводском училище (ФЗУ) при этом заводе. В 1934 г. поступил на рабфак (рабочий факультет) при Ленинградском университете (ЛГУ), а летом 1935 г. поступил на физфак ЛГУ. Учился одновременно на физическом и математико-механическом («матмехе») факультетах, где в то время на высочайшем уровне преподавали крупные ученые: на матмехе Н.М. Гюнтер, Р.О. Кузьмин, Л.В. Канторович (будущий Нобелевский лауреат), Г.М. Фихтенгольц (автор известного трехтомника по высшей математике); на физфаке – акад. В.И. Смирнов (автор пятитомника по высшей математике), акад. В.А. Фок, члены-корреспонденты АН СССР С.Э. Фриш, Т.П. Кравец, будущий академик И.Я. Померанчук.

После окончания ЛГУ в 1940 г. Шифрин поступил в аспирантуру по специальности теоретическая физика в Ленинградский физико-технический институт (ЛФТИ); его руководителем стал один из наиболее крупных советских физиков-теоретиков член-корреспондент АН СССР Яков Ильич Френкель.

После начала войны Кузиэль Соломонович эвакуировался вместе с ЛФТИ в г. Казань, где занимался различными оборонными задачами (автоматическое наведение торпеды на цель, расчет радиосистем, автоматически подстраивающихся к параметрам приходящей радиоволны, и другими). В ноябре 1941 г. был направлен на оборонные работы в Чувашию, где в составе группы сотрудников АН, куда входил также будущий академик (тогда кандидат наук) А.М. Обухов, строил оборонный рубеж, а в августе 1942 г. – на лесозаготовки для нужд АН. В промежутках между этими командировками молодой ученый сдал кандидатские экзамены.

За период с января 1942 г. по март 1943 г. выполнил две фундаментальные работы, одна из которых была посвящена ферромагнетикам, другая полупроводникам. Вторую из них в апреле 1943 г. защитил на ученом совете ЛФТИ (в Казани) как кандидатскую диссертацию.

После защиты служил в армии в качестве начальника лаборатории кафедры физики Ленинградской военно-воздушной академии им. А.Ф. Можайского, которая в это время была эвакуирована в Йошкар-Олу. В ноябре 1944 г. направлен на военную кафедру Казанского авиационного института, а там переведен на кафедру физики. Читал лекции по разным разделам физики и факультативные курсы по теории горения и взрывов, статистической физике и кинетике и другим.

После окончания войны в январе 1946 г. К.С. Шифрин вернулся в Ленинград и поступил на работу в Главную геофизическую обсерваторию (ГГО) им. А.И. Воейкова, где проработал 23 года и опубликовал около 200 работ по различным направлениям физики атмосферы и не только (см. ниже).

В июле 1969 г. перешел в Институт океанологии АН СССР (ИОАН), где проработал 24 года. В июне 1992 г., в тяжелое для российской науки время, был приглашен в США в качестве профессора на факультет океанологии и атмосферы в Орегонский университет, который находился в небольшом городке Корваллис. Здесь продолжал заниматься оптикой атмосферы и океана, а также новой проблемой рассеяния коротких электромагнитных импульсов на сферических частицах. В 2003 г. вышел на пенсию. За период с 1992 по 2003 гг. опубликовал около 20 работ, но сам оценил этот период как «менее продуктивный, чем рассчитывал, когда переезжал в США» (Шифрин, 2008). На мой взгляд, главная причина – отрыв от своих учеников, отсутствие, как он сам пишет, «хороших помощников». Учеников у Шифрина в России всегда было очень много; достаточно сказать, что он был научным руководителем 51 кандидатской диссертации и консультантом по 9 докторским работам (Шифрин, 2008).

Скончался ученый в Корваллисе в июне 2011 г. Его прах перевезен в Санкт-Петербург и захоронен на Преображенском кладбище.

О работах К.С. Шифрина, получивших мировое признание, до перехода в Институт океанологии

К теории электрических свойств хорошо проводящих полупроводников

Это первая работа Шифрина мирового уровня, результаты которой он представил как кандидатскую диссертацию (см. выше) и опубликовал в «Журнале технической физики» (Шифрин, 1944а-в). Работа основана на появившихся экспериментальных данных, которые показывали, что при нагревании хорошо проводящих полупроводников их электропроводность убывает, тогда как у обычных она возрастает. Еще во время защиты значение этой работы оценил «отец советской физики» акад. А.Ф. Иоффе, который в своем выступлении сказал, что работу Шифрина будут долго цитировать, и оказался прав. После войны, когда полупроводники привлекли всеобщее внимание в перспективе практического использования, выяснилось, что именно теория, разработанная Шифриным, дает правильное объяснение многим практически важным эффектам (Шифрин, 2008).

Приоритет и значение работы Шифрина отмечены в обзорной статье, опубликованной в «Успехах физических наук» в 1955 г. (Самойлович, Коренблит, 1955):

«Мысль о том, что аномальные свойства в той или иной степени вырожденных полупроводников, а также полуметаллов следует связать со статистическими свойствами системы носителей тока в них, в частности с температурной зависимостью химического потенциала, впервые высказана и реализована в работах Шифрина в 1944 г. Им впервые выведены общие зависимости различных кинетических коэффициентов в полупроводниках и полуметаллах от химического потенциала при различных видах зависимости длины пробега от энергии ...» По-настоящему значение работ Шифрина было оценено лишь в послевоенное время в связи с широким развитием полупроводниковой техники на базе хорошо проводящих полупроводников. Многие из предсказанных Шифриным эффектов действительно обнаружены при тщательном исследовании электрических свойств Ge, Si и SiC. Позднее, уже будучи в США, К.С. нашел ссылку на свои работы по полупроводникам даже в американских учебниках по физике (Шифрин, 2008).

Теория рассеяния электромагнитного излучения частицами

Работы по этой проблеме опубликованы в многочисленных статьях и широко известны, но главный результат мирового уровня – это, конечно книга «Рассеяние света в мутной среде» (Шифрин, 1951). Это первая в мире монография по теории однократного рассеяния света частицами. Широко известная книга Хюлста «Рассеяние света малыми частицами» была издана на английском лишь в 1957 г. (русский перевод Хюлст, 1961).

Интересно, что к исследованиям по этой проблеме Шифрина подтолкнула практическая задача, решение которой была на него возложена в ГГО. Задача, связанная с защитой цитрусовых от утренних заморозков, где важная роль отводилась

дымовой завесе, ее радиационному эффекту, который всеми исследователями приписывался поглощению и переизлучению радиации частицами дыма. Шифрин решил исследовать влияние рассеяния излучения и стал рассматривать классические формулы для расчета рассеяния сферическими частицами, выведенные еще в 1908 г. немецким физиком Густавом Ми и представляющие решение в виде рядов, в которых число значимых членов определяется размером частицы (точнее, так называемым дифракционным параметром $\rho = 2\pi a/\lambda_a$, где a – радиус частицы, λ_a – длина волны излучения в во внешней среде, в которой находится частица). Шифрину удалось разобраться со сложнейшими формулами и впервые объяснить несколько интересных физических явлений (см. ниже). Что касается вышеупомянутой задачи, он показал, что основной вклад в эффект дымовой завесы вносит именно рассеяние излучения частицами дыма.

Книга «Рассеяние света в мутной среде» стала основой докторской диссертации Шифрина. Защита состоялась в Государственном оптическом институте в октябре 1951 г. Впечатляет состав оппонентов: академик В.В. Шулейкин, член-корреспондент Я.И. Френкель, известный физик профессор А.Л. Гершун (отец одного из крупнейших специалистов по гидрооптике А.А. Гершуна). Дополнительным оппонентом, из-за болезни Шулейкина, был член-корреспондент Т.П. Кравец.

В чем значение основных результатов, полученных Шифриным и представленных в его книге и диссертации? Чтобы ответить на этот вопрос, надо, прежде всего, осознать, что в то время не было мощных ЭВМ, которые позволили бы проводить достаточно быстрые и точные расчеты по формулам Ми. А для расчета рассеяния крупными частицами надо учитывать более сотни членов ряда (например, для частицы с радиусом 10 мкм и длиной волны света 546 нм – 140 членов). Поэтому важнейшее достижение работы Шифрина – разработка приближенных формул для двух предельных случаев: 1) больших частиц (дифракционный параметр $\rho \rightarrow \infty$); 2) так называемых оптически «мягких» частиц (показатель преломления близок к 1 и размеры частиц не слишком велики $2\rho |m-1| < 1$).

В первом случае оказалось удобным использовать приближение геометрической оптики; полученные результаты оказались полезны при рассмотрении различных вопросов оптики облаков. Второй случай соответствует рассеянию взвешенными в морской воде биологическими частицами небольших размеров; забегая вперед, добавим, что для крупных биологических частиц можно ввести поправочный множитель, который позволит проводить расчеты с приемлемой точностью (Буренков и др., 1975).

Шифрину удалось разобраться с так называемым «парадоксом удвоения», который заключался в том, что асимптотическое значение коэффициента ослабления частицы при увеличении ее размера оказывается равным $2\pi a^2$, т.е. соответствует удвоенному значению ее площади сечения (как пишет сам Кусиэль Соломонович, он потратил на решение этой задачи почти год). Объяснение этому эффекту заключается в том, что, помимо ослабления, которое учитывается геометрической оптикой, есть еще дифракционная составляющая, обусловленная дифракцией на

контуре частицы. Согласно расчетам Шифрина, эта составляющая сосредоточена в области углов рассеяния $\theta < 6/\rho$, т.е. для упомянутой выше частицы радиусом 10 мкм этот угол составит порядка 3° .

Позднее Шифрин узнал, что Хюлст указал на значение коэффициента ослабления $2\pi a^2$ еще в 1946 г., но эта статья была опубликована в малоизвестном журнале, и Кузиэль Соломонович ничего не знал об этой работе. В свою очередь, Хюлст ничего не знал о книге Шифрина. Редактор книги Хюлста акад. В.В. Соболев в предисловии к ней писал: «...досадно, что автор почти не знает работ советских ученых. В частности, ему осталась неизвестной монография К.С. Шифрина... Некоторые результаты, найденные впервые в упомянутой монографии, были впоследствии заново получены ван де Хюлстом» (Шифрин, сравнивая эти книги, насчитал свыше полусотни таких повторов).

Другой важный для того времени результат работы Шифрина по рассеянию света частицами – издание пятитомных «Таблиц по светорассеянию». Первые четыре тома были подготовлены совместно с И.Л. Зельмановичем в период работы в ГГО; 5-й том совместно с И.Н. Салганик уже в ИОАН (Шифрин, Салганик, 1975). Этот том содержит оптические характеристики моделей морской взвеси, рассчитанные по точным формулам: для монодисперсных моделей биологической взвеси (показатель преломления $m=1.02$) и терригенной ($m=1.15$) и для полидисперсных с распределениями типа Юнге и нормальными распределениями. Огромный труд, который в настоящее время, с появлением мощных ЭВМ, потерял свое практическое значение.

Разработка метода пассивной радиотеплолокации (РТЛ)

К.С. Шифрин по праву считается основоположником нового метода микроволновой радиометрии (радиотеплолокации). Однако в недавней публикации В.В. Мелентьева (2017) отмечается, что «приоритет теоретических разработок проф. Шифрина в области СВЧ микроволновой радиометрии (радиотеплолокации) практически забыт у нас в стране, но признается ведущими специалистами в области ДЗЗ на Западе». Сам Кузиэль Соломонович вспоминает, как на одном из спутниковых пленумов НАСА председательствующий проф. Вейман представил Шифрина: «Это профессор Шифрин из России, который первым провел работы по применению метода ТИМО (теплового излучения в микроволновой области) в интересах геофизики».

В спутниковых наблюдениях земной поверхности широко используется инфракрасное тепловое излучение; радиотепловое излучение не используется, в первую очередь, из-за малых величин радиосигнала. В то же время использование микроволновой области весьма привлекательно, т.к. радиотеплоизлучение, в отличие от инфракрасного, свободно проходит через облака. Шифрин сумел доказать, что низкий уровень пассивного радиосигнала можно компенсировать высокой чувствительностью приемников радиотеплового излучения с узкими полосами. В 1963 г. он подал в Главное управление гидрометеослужбы предложение об организации исследований по ТИМО, и в 1964 г. под его руководством была создана группа из

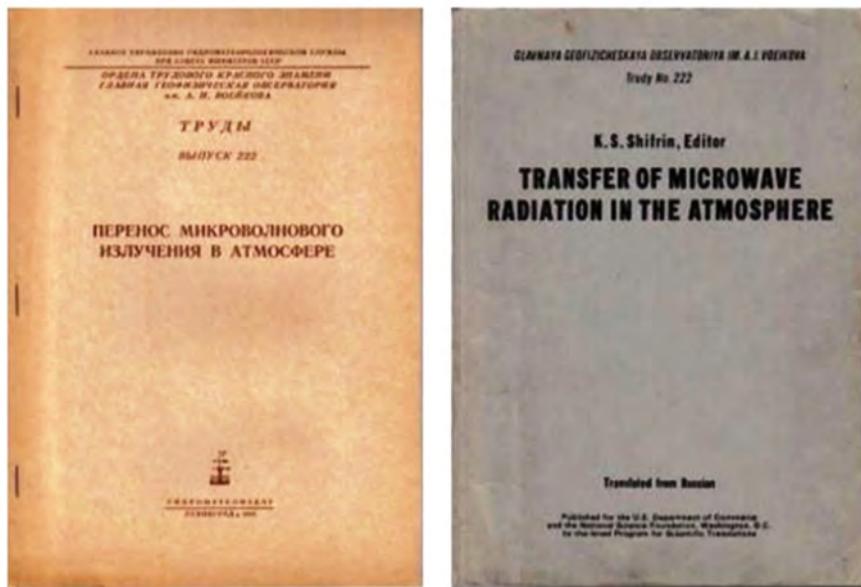


Рис. 2. Первый в мире тематический сборник, посвященный ТИМО, и его английский перевод (Мелентьев, 2017).

разных организаций для разработки теоретических и экспериментальных основ метода РТЛ. Работа была закончена примерно за полтора года, но тематический сборник по этой проблеме, кстати, первый в мире, вышел только в 1968 г. (Шифрин (ред.), 1968; Шифрин и др., 1968). По заказу американцев сборник был быстро переведен на английский в Израиле (рис.2).

Метод РТЛ был практически реализован в программах НАСА; в России создан сканер-поляриметр «Омега», который использовался для измерений температуры поверхности океан (ТПО). Аналогичным комплексом аппаратуры была оснащена космическая станция «Алмаз», с которой были проведены съемки ТПО в Индийском и Тихом океанах; эта аппаратура была также использована для картирования радиоконтрастов действующих и потухших вулканов на Камчатке и Курильских островах. Другие применения метода РТЛ описаны в статье Мелентьева (2017).

Обратные задачи теории рассеяния

Суть этих задач заключается в том, чтобы по характеристикам рассеянного излучения (спектральные или угловые зависимости) найти распределение частиц по размерам. Вообще говоря, эти задачи относятся к категории особых задач, у которых решение, даже если оно существует и единственно, оказывается чувствительным к ошибкам исходных данных и/или счета. Решение неустойчиво – даже малые ошибки, которые всегда существуют, когда мы имеем дело с экспериментальными данными, могут приводить к тому, что формально правильное решение оказывается далеким от физически правильного решения («раскачка» решения). Некорректные задачи часто встречаются во многих проблемах геофизики и других науках; разработкой методов их решения занимаются и математики, и физики. Общий подход заключается в «регуляризации» решения (т.е. отбрасыванию физически неправиль-

ных решений) путем привлечения дополнительной информации о решении. Сама регуляризация тоже непростая задача – она должна, не меняя физического содержания задачи, устранить ее вычислительную неустойчивость.

Шифрин начал заниматься обратными задачами, работая в ГГО, и продолжил эти исследования в Институте океанологии. В ГГО им совместно со своими учениками были разработаны три метода: 1) метод малых углов; 2) метод спектральной прозрачности; 3) метод полной индикатрисы. В ИОАН к ним добавился метод флуктуаций. Полное описание этих методов дано в книге «Введение в оптику океана» (Шифрин, 1983), обзоре Shifrin, Tonna (1993), в большой энциклопедической статье (Shifrin, 1998).

Первые три метода разработаны для случаев, когда угловые или спектральная зависимости коэффициента рассеяния частиц могут быть представлены простыми аналитическими формулами, и для обратной задачи удастся найти точные решения. Это случаи индикатрисы рассеяния под малыми углами для крупных частиц, спектральной зависимости коэффициента рассеяния и полной индикатрисы для «мягких» частиц. Они основаны на использовании аналитических формул для угловой или спектральной зависимости коэффициента рассеяния.

Наиболее широкое практическое применение нашел метод малых углов (Байвель, Лагунов, 1977), в том числе для оценки распределения по размерам частиц морской взвеси, когда Шифрин возглавил Оптический отдел в ИОАН. Аналитическую формулу для решения обратной задачи Шифрин вывел еще в 1956 г. На Западе использовалась его несколько иная модификация (Gumprecht, Sliepcevic, 1953). Известный американский физик М. Керкер в своей монографии (Kerker, 1969) пишет, что оба варианта эквивалентны и были развиты независимо.

Два других метода нашли применение для расчета распределения по размерам аэрозольных частиц (Shifrin, 1998).

Основные результаты работы К.С. Шифрина в Институте океанологии

Исследования по оптике океана в ИОАН до 1969 г.

Начало исследований по оптике моря в Институте океанологии связано с именем Михаила Владимировича Козлянинова, который еще в 1948–1951 гг., работая в Главной Морской Обсерватории, провел первые оптические исследования в морях СССР. В 1955 г. после защиты кандидатской диссертации перешел на работу в Институт океанологии, где в 1959 г. возглавил созданный им Кабинет гидрооптических характеристик, а в 1964 г. Лабораторию гидрооптики. За короткий срок, в первую очередь, благодаря усилиям М.В. Козлянинова, удалось получить важные научные и научно-технические результаты:

– создан первый в мире комплекс гидрооптической аппаратуры для работы в морских экспедициях, который включал погружаемые фотоэлектрический прозрачномер и измеритель подводной освещенности, лабораторный спектрогидронефе-

лометр-прозрачномер и гидрофотометр для измерения спектральных коэффициентов яркости моря, укрепляемый на борту судна;

– разработаны методики гидрооптических измерений и подготовлено руководство по их проведению в море (Козлянинов, 1961), которые обеспечили сопоставимость результатов измерений, выполненных в разных экспедициях;

– проведены комплексные измерения оптических характеристик морской воды и исследования подводного светового поля в Черноморских гидрооптических экспедициях, а затем и в других морях и океанах, в результате которых получены новые важные данные о световом режиме в водной толще, связи между распределениями оптических характеристик и океанологическими факторами;

– выполнены несколько прикладных научно-исследовательских работ в интересах ВМФ.

Эти результаты, безусловно, следует признать успешными, но наступал период, когда в океанологии начал происходить переход от накопления данных об океане к их осмыслению, анализу с целью понимания происходящих процессов, их физических механизмов, построению моделей, объясняющих эти процессы. В 1965 г. Институт возглавил известный физик, будущий академик А.С. Монин, который хотел, чтобы лаборатории Института возглавляли крупные ученые. Эти реформы коснулись и Лаборатории гидрооптики, тем более что к тому времени у М.В. Козлянинова возникли проблемы со здоровьем.

На должность руководителя оптических исследований в ИОАН А.С. Монин рассматривал две кандидатуры: заведующего Отделом атмосферной оптики Института физики атмосферы (ИФА) АН СССР, крупного ученого в области физической и атмосферной оптики, профессора Георгия Владимировича Розенберга и профессора К.С. Шифрина, который в то время работал в ГГО. Георгий Владимирович не очень хотел уходить из ИФА; а главная проблема с Шифриным заключалась в том, что он жил в Ленинграде. В конечном итоге, приказом Монина от 09.07.1969 К.С. Шифрин был зачислен в ИОАН на должность заведующего специально созданным Оптическим отделом, который включал московскую лабораторию и новую оптическую лабораторию в Ленинграде. Согласно договоренности, Шифрин должен был каждый месяц на неделю приезжать в Москву, остальное время работать в Ленинграде.

Как пишет в своих воспоминаниях сам Шифрин, тогдашний начальник Гидрометслужбы СССР, к которой относилась ГГО, академик Е.К. Федоров не хотел отпускать Шифрина. Решить проблему удалось благодаря поддержке академика Б.П. Константинова, тогда первого вице-президента АН СССР, который задал Федорову «риторический» вопрос: «Если Вы так цените Шифрина, то почему столько лет держите его «в черном теле»? Не пускаете его на международные конференции даже тогда, когда приглашение исходит от самого Дебая! А ведь это честь для вашей организации» (Шифрин, 2008). Надо напомнить, что К.С. Шифрин к тому времени уже был известным ученым в области рассеяния электромагнитных волн и физики атмосферы, не только в СССР, но и за рубежом.

Автор этой статьи познакомился с Кусиэлем Соломоновичем осенью 1968 г., когда он, во время своего приезда в Москву, посетил нашу Лабораторию. Для меня это знакомство представляло особую ценность, поскольку я, тогда еще не остепененный младший научный сотрудник, изучал теорию рассеяния света морской водой и знал многие работы Кусиэля Соломоновича и его учеников. Его книга «Рассеяние света в мутной среде» мне очень нравилась строгостью изложения и четкостью выводов. Тема моей работы была интересна Кусиэлю Соломоновичу, поскольку он продолжал заниматься прямыми и обратными задачами теории рассеяния, и он помог мне не только обсуждением проблемы и чрезвычайно полезными советами, но и практически, а именно передал из ГГО, где он тогда еще работал, в Институт океанологии макет прибора для измерения рассеяния в области малых углов. Этот макет был создан под руководством Кусиэля Соломоновича сотрудником ГГО В.И. Голиковым для определения спектра размеров капель туманов методом малых углов (Шифрин, Голиков, 1961). В ИО АН переданный макет был модифицирован применительно к измерениям с морской водой. Первые измерения модифицированным прибором, носившие в большей своей части методический характер, были проведены зимой 1968–1969 гг. в западной части Тихого океана в 44-м рейсе НИС «Витязь» и продолжены летом 1969 г. на Черном море около Карадага. С этими данными впервые в мире были выполнены обращения индикатрис рассеяния морской воды для расчета распределений по размерам частиц морской взвеси (Шифрин и др., 1972).

Первый специализированный оптический рейс на большом НИС

К.С. Шифрин возглавил Лабораторию оптики в тот момент, когда шла подготовка к первому специализированному оптическому рейсу на большом научно-исследовательском судне, и активно включился в подготовку этого рейса. Сам рейс начался лишь в январе 1971 г., экспедицию возглавил А.С. Монин, научным руководителем программы гидрофизических исследований был академик А.Н. Колмогоров, оптических – К.С. Шифрин (Кузнецов, Алейник, 2002). Помимо сотрудников Института океанологии в экспедиции участвовали специалисты по оптике из других организаций: Института физики атмосферы АН СССР (ИФА), Научно-исследовательского радиофизического института Горьковского государственного университета (в настоящее время Институт прикладной физики РАН), Всесоюзного электротехнического института им. В.И. Ленина (ВЭИ) и др. Программа измерений была составлена таким образом, чтобы обеспечить полный комплекс данных по двум основным направлениям гидрооптических исследований: 1) изучение оптической структуры вод океана и ее связи с гидрофизическими, биологическими и биогеохимическими характеристиками; 2) исследование закономерностей распространения в океане светового излучения от естественных и искусственных источников в зависимости от оптических характеристик воды и условий освещения.

К рейсу была подготовлена новая аппаратура, которая позволила провести измерения, ранее отсутствовавшие в практике экспедиционных гидрооптических исследований. Это, во-первых, лабораторные измерители спектрального поглощения света морской водой, фотоэлектрический нефелометр, прибор для измерения рассеяния в области малых углов, уже упоминавшийся выше, а также новый погружаемый измеритель рассеяния в области малых углов. Большой комплекс аппаратуры был подготовлен для исследования световых полей в океане, включавший, в частности, подводную фотометрическую скамью длиной до 300 м с поворотными каретками на концах, на которые устанавливались источник и приемник излучения.

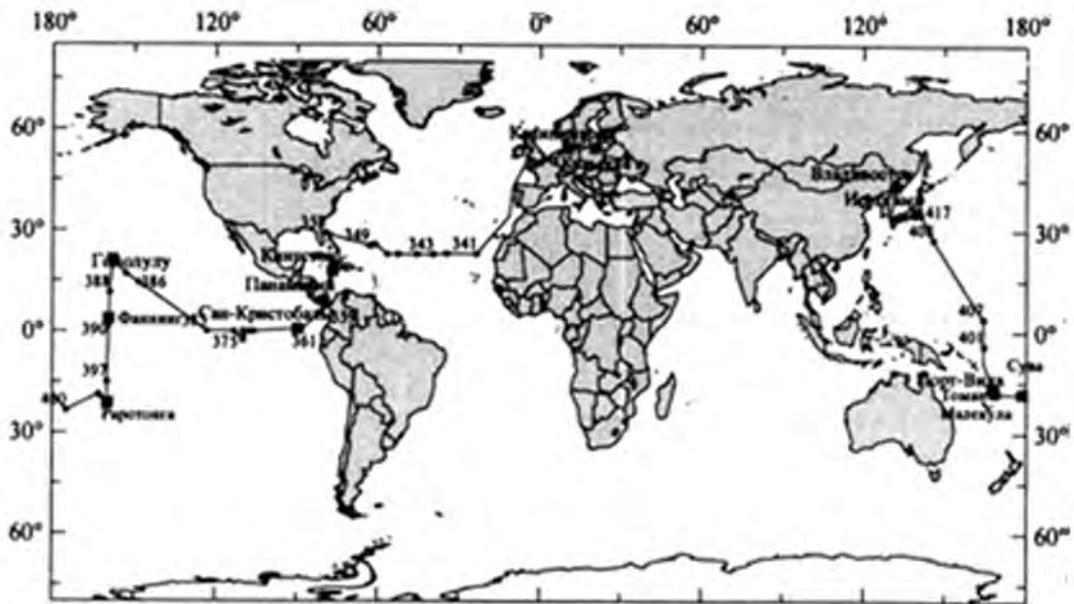


Рис. 3. Маршрут экспедиции 5-го рейса НИС «Дмитрий Менделеев».

По первому из вышеуказанных направлений был выполнен широкий комплекс исследований, который включал измерения практически всех характеристик оптических свойств морской воды, включая поляризацию (измерения выполнялись группой сотрудников ИФА). Определялся количественный и качественный состав морской взвеси, растворенного органического вещества, первичной продукции и пигментов фитопланктона, измерялись гидрологические параметры и скорость течений, характеристики атмосферного аэрозоля в приводном слое и аэрозольная оптическая толщина атмосферы.

Маршрут экспедиции, охватывающий Атлантический и Тихий океаны (рис. 3), позволил получить данные для различных по своим свойствам природных объектов: Северного пассатного течения, Саргассова моря и Гольфстрима в Атлантическом океане; восточной части экваториальной системы течений, на меридиональном разрезе примерно по 160°з.д. от Гавайских островов до о. Раротонга, зоны южной субтропической конвергенции и течения Куроиси в Тихом океане.

В зоне южной субтропической конвергенции был исследован район экстремально прозрачных вод к северо-западу от о. Раротонга и зарегистрировано рекордное значение глубины видимости белого диска 67 м (ст. 398 с координатами 19°04'ю.ш., 162°36'з.д.). Во впадине Витязя желоба Тонга впервые была измерена матрица рассеяния света для воды с глубины 10 км.

Исследования по второму направлению включали измерения характеристик световых полей как от естественных источников, так и от искусственных – стационарных с различной диаграммой направленности (изотропных, косинусных и др.) и импульсных.

Полученные в рейсе результаты представлены в монографии «Гидрофизические и гидрооптические исследования в Атлантическом и Тихом океанах» (1974), ответственными редакторами которой были А.С. Монин и К.С. Шифрин. Далее мы будем ссылаться на параграфы и главы этой книги.

И первое и второе направления входили в сферу научных интересов Кузиэля Соломоновича. Прежде всего, нужно отметить разработку методов «обращения» оптической информации для оценки количества и распределения по размерам взвешенных в морской воде частиц, о чем уже говорилось выше. Используя результаты измерений показателей рассеяния морской воды в данном направлении, выполненных в рейсе, удалось разработать новую методику оценки спектра размеров частиц морской взвеси, основанную на сочетании метода подбора и метода малых углов, предложенного ранее.

Другая интересная работа К.С. Шифрина связана с «мировым рекордом» глубины видимости белого диска – 67 м. Шифрин показал, что при такой большой глубине надо делать поправку на изменение порога контрастной чувствительности глаза при уменьшении угловых размеров объекта (§ 6 главы 8).



Рис. 4. Кузиэль Соломонович (слева) помогает в проведении зондирования погружаемым измерителем рассеяния в области малых углов.



Рис. 5. Остров Молекула, Новые Гебриды. К.С. Шифрин с туземцем из племени *small namba*.

Интересные результаты в рейсе были получены по характеристикам распространения естественного излучения в океане, в частности, по флуктуациям подводной облученности, связанными с поверхностным волнением, и по закономерностям формирования нестационарных световых полей в водной толще (главы 11, 17). Создание в 60-х годах импульсных лазеров, излучающих короткие мощные световые импульсы, привело к возникновению в гидрооптике новой области исследований – изучения закономерностей формирования нестационарного светового поля под водой и возможностей использования лазерных импульсов для зондирования водной среды. Такие исследования, начатые в 5-м рейсе НИС «Дмитрий Менделеев», были продолжены в 10-м и последующих оптических рейсах.

По-человечески Кусиэль Соломонович был совершенно счастлив – еще бы, после работы в ГГО, где его не пускали ни на какие конференции, увидеть другие страны, океан, тропические острова (рис. 4, 5).

10-й рейс проводился в Индийском океане летом 1973 г., его программа базировалась на тех же принципах, что и 5-го рейса. Главное внимание было уделено детальному изучению спектральных и поляризационных характеристик естественного светового поля в океане и пространственно-временной структуры нестационарного светового поля, а также исследованию влияния «источников» взвеси и растворенного вещества на пространственное распределение оптических свойств. Были получены данные для различных природных объектов в Индийском океане: зоны Пассатного течения и южной субтропической конвергенции, Южно-Индоокеанского и Западно-Австралийского течений, вод субэкваториальной дивергенции и экваториальных, Бенгальского залива и Андаманского моря.

Кусиэль Соломонович, по независящим от него причинам, не смог принять участие в этом рейсе, но активно участвовал в анализе полученных результатов и вместе с акад. Л.М. Бреховских был ответственным редактором сборника по результатам проведенных исследований (Гидрофизические и оптические исследования в Индийском океане, 1975).

Среди них, прежде всего, следует отметить пионерские на то время исследования по разработке метода дистанционного определения хлорофилла, которые явились продолжением начатых ранее исследований в Атлантическом океане в 13-м рейсе НИС «Академик Курчатов» (Шифрин и др., 1974). В настоящее время

этот метод получил широкое развитие и реализуется из космоса с использованием специально разработанных спутниковых сканеров цвета. Но тогда основы метода лишь разрабатывались, а первый спутниковый сканер цвета CZCS (Coastal Zone Color Scanner) был запущен только в 1978 г.

В 10-м рейсе НИС «Дмитрий Менделеев» впервые в практике оптических исследований в Мировом океане была применена методика лазерного зондирования водной толщи на ходу судна, которая позволила получить представление о мелко-масштабной изменчивости оптических свойств.

Были продолжены работы по созданию методов «обращения» оптической информации для оценки количества и распределения по размерам взвешенных в морской воде частиц. По инициативе Кузиэля Соломоновича, по данным, полученным в 10-м рейсе, было проведено сопоставление результатов определения состава морской взвеси разными методами: по усовершенствованной методике, разработанной в Институте океанологии, методом статистической регуляризации, путем микроскопического подсчета частиц на фильтре и в «живой» капле (Буренков и др., 1974). В методике Института океанологии использовалась новая формула для индикатрисы рассеяния света в области малых углов, которая позволяла получить надежные значения рассеяния для частиц практически любых размеров, если их относительный показатель преломления близок к единице (Буренков и др., 1975). Проведенное сопоставление показало разумное качественное согласие полученных результатов, за исключением данных подсчета частиц на фильтре под микроскопом, которые явно занижены. Предложено объяснение этим результатам.

Обобщение полученных результатов

Результаты исследований оптических свойств морской воды и светового поля от импульсного источника были обобщены в монографических статьях (Гольдин и др., 1981; Копелевич, Шифрин, 1981). В первой из них рассмотрены вопросы методики проведения экспериментальных исследований нестационарных световых полей (НСП) в море, дано описание разработанного аппаратного комплекса, приведены экспериментальные данные о структуре НСП, полученные в чистых океанских водах при облучении коротким узконаправленным лазерным импульсом, дан качественный анализ полученных результатов. Во второй изложены обобщенные представления об оптических свойствах морской воды и их зависимости от обуславливающих факторов, таких как желтое вещество, фитопланктон, взвешенные частицы. Впервые даны статистические оценки изменчивости спектральных показателей поглощения света и показателей рассеяния в данном направлении морской воды. Предложены малопараметрические модели оптических свойств океанской воды, выделяющие основные факторы, обуславливающие эти свойства, и позволяющие рассчитывать их полную совокупность по данным ограниченного числа измерений.

Более полное обобщение накопленных к концу 70-х годов знаний по различным направлениям оптики моря выполнено в двухтомной монографии «Оптика океана»,

вышедшей в 1983 г. под редакцией А.С. Монины. Эта монография – первое полное систематизированное изложение современной оптики океана и до сих пор не имеет аналогов за рубежом. Кусиэль Соломонович написал в монографии две главы (гл. 2 «Теория поглощения и рассеяния света в морской воде» и гл. 17 «Оптические методы в космической океанологии»), а также § 16.1 «Определение количественного и качественного состава океанской взвеси по особенностям светорассеяния». Наибольший интерес, на мой взгляд, представляла гл. 17, в которой дан краткий физический анализ проблем спутниковой океанологии, которые в те годы еще только формулировались. В частности, рассматривалась проблема дистанционного обнаружения нефтяных пленок на морской поверхности, которой Кусиэль Соломонович уделял много внимания, понимая ее актуальность (Оптика океана и атмосферы, 1983; Оптические методы изучения океанов и внутренних водоемов, 1979).

Также в 1983 г. вышла книга К.С. Шифрина «Введение в оптику океана» (Шифрин, 1983), которая позже была переведена на английский. В этой книге детально рассматриваются разделы, посвященные молекулярной оптике океанской воды и обратным задачам рассеяния. Среди интересных оригинальных результатов по оптике океанской воды надо отметить результаты расчетов показателя молекулярного рассеяния света морской водой для всего диапазона условий, в которых морская вода находится в океане, в частности на больших глубинах; исследование связи спектра взвеси со спектром вещества частиц.

Большой интерес представляет раздел, посвященный возможным подходам к расчетам рассеяния света реальными частицами морской взвеси, несферическими и неоднородными. Оригинальный метод расчета рассеяния света ансамблем произвольных частиц в приближении Релея-Ганса был предложен К.С. Шифриным в его работе с И.А. Микулинским, который под руководством Шифрина позже защитил кандидатскую диссертацию по этой теме. Идея метода заключается в сведении рассеяния системой сложных частиц, расположенных случайным образом, к рассеянию одной «случайной» частицей, статистические характеристики размеров и формы которой задаются корреляционными функциями ее поперечных сечений, определяемых усреднением по частицам исследуемого объема. Позже в работах К.С. Шифрина, А.Я. Перельмана и А.М. Кокорина для расчета рассеяния света мелкодисперсной составляющей океанской взвеси в качестве «средней» частицы была рассмотрена модель просветленной сферы, представляющей собой двухслойную частицу с однородным ядром и просветляющим слоем.

В главе, посвященной обратным задачам, рассматриваются общие проблемы их решения (некорректность, регуляризация, обусловленность) и конкретные методы их решения. Для метода статистической регуляризации исследовалось влияние ошибки значения показателя преломления частиц на точность восстановления, а также возможность решения «двухкомпонентной» задачи, когда имеется смесь частиц двух сортов (с показателями преломления 1.02 и 1.15), а для обращения используется полная индикатриса рассеяния. Также исследовалась возможность улучшения точности восстановления при использовании индикатрис рассеяния,

измеренных при двух разных длинах волн. Отметим также метод флуктуаций, в котором для определения среднего размера частиц и их концентрации используются данные одновременного измерения прозрачности системы частиц и ее дисперсии (Сахаров, Шифрин, 1975).

Пленумы Рабочей группы по оптике океана

В 1973 г. К.С. Шифрин создал и возглавил Рабочую группу по оптике океана Комиссии по проблемам Мирового океана. Группа проводила регулярные пленумы, которые стали всесоюзным семинаром оптиков океана и атмосферы над океаном. Таких пленумов было проведено 11. Тематика пленумов традиционно включала пять направлений: 1) Дистанционные методы изучения океанов и внутренних водоемов; 2) Оптические свойства вод; 3) Световые поля; 4) Оптика атмосферы над океаном; 5) Оптика водной поверхности. Пленумы проводились в разных городах и пользовались большой популярностью. В работе III пленума на базе Лимнологического института на Байкале в 1976 г. принимали участие академики В.А. Амбарцумян, А.В. Гапонов-Грехов, В.В. Соболев. Материалы этого, а также VI пленумов опубликованы (Оптические методы изучения океанов и внутренних водоемов, 1979; Оптика океана и атмосферы, 1983). На X пленуме в Ростове-на-Дону (1988 г.) были представлены 263 доклада от 37 организаций из 20 городов, на XI в Красноярске (1990 г.), который, к сожалению, оказался последним, 184 доклада от 42 организаций также из 20 городов. Как правило, к началу пленумов печатались сборники расширенных тезисов докладов.

С начала 90-х годов, в связи с сокращением финансирования науки, гидрооптические исследования в нашей стране резко сократились, хотя за рубежом они, наоборот, с конца 80-х годов заметно возросли. Экспедиционные исследования в океане стали крайне редкими. Положительным моментом в этой ситуации стала



Рис. 6. Участники первой международной конференции «Современные проблемы оптики естественных вод» ONW'2001. К.С. Шифрин в первом ряду в центре.

возможность расширения международного сотрудничества. В 2001 г. удалось возобновить на международном уровне проведение в России конференций по оптике океана. К настоящему времени проведены уже 9 таких конференций – восемь из них в Санкт-Петербурге, одна в Нижнем Новгороде. Кусиэль Соломонович приезжал на первую из них и был почетным председателем первых трех конференций (рис.6).

Труды последних двух конференций доступны в электронном варианте. Желающие получить эти материалы могут обратиться к автору этой статьи (oleg@ocean.ru), если их не будет на сайтах конференций.

Научное наследие К.С. Шифрина и каким мы будем его помнить

Период, когда К.С. Шифрин руководил исследованиями по оптике океана в Институте океанологии был чрезвычайно плодотворным для развития этой науки, и руководимый им Отдел оптики океана и атмосферы над океаном занимал ведущие позиции в мире. Думаю, это можно отнести к советской оптике океана того периода в целом.

К.С. Шифрин оставил нам огромное научное наследие, и, наверно, нет необходимости повторять то, что уже было написано выше. Даже в США, в возрасте 80 лет, занимаясь дифракцией коротких и сверхкоротких импульсов, Кусиэль Соломонович сумел внести значимый вклад в этой новой для него области. Известный американский ученый проф. Каттавар написал, что эти работы «открывают новую и увлекательную область получения различных характеристик частиц с помощью фемтосекундных лазерных импульсов». Несмотря на то, что годы брали свое (рис. 7, 8), Шифрин и далеко за 80 сохранял великолепную научную память и ясность ума – он детально отвечал на многие научные вопросы, которые я ему задавал.



Рис. 7. На конференции в Монтерее, США. Слева О. Копелевич, справа – американский ученый Марк Дауэл).



Рис. 8. Корваллис, Орегон, США, 2004 г.

Можно сказать, что Кусиэлю Соломоновичу не повезло в жизни: война помешала, не сомневаюсь, его блестящей научной карьере, его не избрали даже в член-корреспонденты АН, хотя по своему уровню он, несомненно, был достоин и более высокого звания, у него нет ни одной научной награды. Но я уверен, что он не очень огорчился по этому поводу: у него была наука, которой он занимался с огромным удовольствием, активно и неутомимо. Несмотря на его высокий научный ранг, у Кусиэля Соломоновича совершенно отсутствовала какая-либо чванливость; общаться с ним было легко, просто и всегда интересно. Обладая замечательной памятью, Кусиэль Соломонович помнил до мелочей различные события своей жизни, огромное количество анекдотов, стихов, которые с удовольствием декламировал.

Очень хорошо, что в книге, изданной к 90-летию К.С. Шифрина (Шифрин, 2008), представлены не только его научные заслуги, но и воспоминания о нем советских и иностранных ученых. А этой статьей, посвященной его 100-летию, мне хотелось еще раз отдать дань памяти этому замечательному ученому и Человеку.

Избранная библиография К.С. Шифрина

- Байвель Л.П., Лагунов А.С.* Измерение и контроль дисперсности частиц методом светорассеяния под малыми углами. М.: Энергия, 1977. 87 с.
- Буренков В.И., Гашко В.А., Копелевич О.В., Шифрин К.С.* Сопоставление различных методов определения состава морской взвеси // Гидрофизические и оптические исследования в Индийском океане. 1974. С. 74–82.
- Буренков В.И., Копелевич О.В., Шифрин К.С.* Рассеяние света крупными частицами с показателями преломления, близкими к единице // Известия АН СССР. 1975. – Т. 11. № 8. С. 828–835. (Физика атмосферы и океана).
- Гидрофизические и гидрооптические исследования в Атлантическом и Тихом океанах. / Ред. А.С. Монин, К.С. Шифрин. М.: Наука, 1974. 328 с.
- Гидрофизические и оптические исследования в Индийском океане / Ред. Л.М. Бреховских, К.С. Шифрин. М.: Наука, 1975. 256 с.

- Гольдин Ю.А., Пелевин В.Н., Шифрин К.С. Световое поле от импульсного источника в морской воде // Оптика океана и атмосферы. М.: Наука, 1981. С. 56–95.
- Гольдин Ю.А., Козлянинов М.В. Руководство по гидрооптическим измерениям в море // Тр. ИО АН СССР. 1961. Т. 47.
- Копелевич О.В., Шифрин К.С. Современные представления об оптических свойствах морской воды // Оптика океана и атмосферы. М.: Наука, 1981. С. 4–55.
- Кузнецов О.А., Алейник Д.Л. Научно-исследовательское судно «Дмитрий Менделеев» и его экспедиции 1969–1993. М.: ГЕОС, 2002. 372 с.
- Мелентьев В.В. Профессор К.С. Шифрин основоположник пассивной СВЧ-микроволновой радиометрии (радиотеплолокации) // Тр. Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова. 2017. № 587. С. 204–227.
- Оптика океана: В 2-х томах / Отв. ред. А.С. Монин. М.: Наука, 1983. Т.1.: Физическая оптика океана. 372 с.; Т.2. Прикладная оптика океана. 236 с.
- Оптика океана и атмосферы / Материалы VI Пленума РГ по оптике океана Комиссии по проблемам Мирового океана АН СССР. Баку: Элм, 1983. 400 с.
- Оптические методы изучения океанов и внутренних водоемов / Отв. ред. Г.И. Галазий, К.С. Шифрин. Новосибирск: Наука, 1979. 373 с.
- Определение среднего размера и концентрации взвешенных частиц по флуктуациям интенсивности прошедшего света // Оптика и спектроскопия. 1975. Т. 39. № 2. С. 367–372.
- Перенос микроволнового излучения в атмосфере / Под ред. К.С. Шифрина // Труды Главной Геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова. 1968. Вып. 222. 168 с.
- Шифрин К.С. Условия, при которых наступает заметное вырождение электронного газа в полупроводниках // ЖТФ. 1944а. Т. XIV. № 1–2. С. 40–42.
- Шифрин К.С. Влияние возбужденных состояний атомов примеси на электрические свойства полупроводников // ЖТФ. 1944б. Т. XIV. № 1–2. С. 43–48.
- Шифрин К.С. К теории электрических свойств полуметаллов // ЖТФ. 1944в. Т. XIV. № 1–2. С. 49–69.
- Шифрин К.С. Рассеяние света в мутной среде. М.-Л.: Гостехтеориздат, 1951. 264 с.
- Шифрин К.С. Вычисление некоторого класса определенных интегралов, содержащих квадрат бесселевой функции первого порядка // Тр. Всесоюзного заочного лесотехнического института. 1956. Вып. 2. С. 153–162.
- Шифрин К.С. Введение в оптику океана. Л.: Гидрометеиздат, 1983. 278 с. [англ. перевод *Shifrin K.S. Physical Optics of Ocean Water. New York, 1983. (AIP Translation Series). 285 p.*]
- Шифрин К.С. Штрихи моей жизни // Кузисель Соломонович Шифрин. Ученый, Учитель и Человек. Харьков: ИПП «Контраст», 2008. С. 171–217.
- Шифрин К.С., Голиков В.И. Определение спектра капель методом малых углов // Исследования облаков, осадков и грозового электричества. Л.: Изд. АН СССР, 1961. С. 266–277.
- Шифрин К.С., Копелевич О.В., Буренков В.И., Маштаков Ю.Л. Использование индикатрис рассеяния света для исследования морской взвеси // Оптика океана и атмосферы. Л.: Наука, 1972. С. 25–44.
- Шифрин К. С., Рабинович Ю. И., Щукин Г. Г. Применение пассивной радиометрии в метеорологии // Труды ГГО. 1968. Вып. 222. С. 22–48.
- Шифрин К.С., Салганик И.Н. Таблицы по светорассеянию. Т.V: Рассеяние света моделями морской воды. Л.: Гидрометеиздат, 1973. 219 с.
- Шифрин К.С., Судьбин А.И., Бекасова О.Д. и др. Исследование связи между содержанием

- хлорофилла и яркостью света, выходящего из моря // Сб. «ТРОПЭКС-72». Л.: Гидрометеиздат, 1974.
- Gumprecht R.O., Slipevich C.M.* Scattering of light by large spherical particles // *J. Phys. Chem.* 1953. V. 57. No. 1. P. 90–95.
- Kerker M.* The scattering of light and other electromagnetic radiation. New York: Academic Press, 1969. 666 p.
- Shifrin K.S.* Atmospheric aerosol, methods of analysis // *Encyclopedia of Environmental Analysis and Remediation* / Ed. Robert A. Meyers. John Wiley&Sons, Inc. N.Y., 1998. Vol. 1. P. 446–505.
- Shifrin, K.S. and Tonna G.* Inverse problems related to light scattering in the atmosphere and ocean // *Advances in Geophysics*. New York: Academic Press, 1993. Vol. 34. P. 175–252.

TO THE 100TH ANNIVERSARY OF THE OUTSTANDING SOVIET SCIENTIST PROFESSOR K.S. SHIFRIN

O.V. Kopelevich

*Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences,
36 Nahimovskiy prospekt, Moscow, 117997, Russia, e-mail: oleg@ocean.ru
Submitted 20.04.2018, accepted 26.04.2018*

The article is dedicated to the 100th anniversary of the outstanding scientist professor K.S. Shifrin, who led optical research at the Shirshov Institute of Oceanology from 1969 to 1992. He performed scientific works of world level in various fields of physics, including the electrical properties of semiconductors, the scattering of electromagnetic waves by particles, the inverse scattering problem, the transfer of radiation in the atmosphere, the kinetics of cloud formation and precipitation, the passive thermal radiolocation, ocean and atmospheric optics. His first world-famous work related to development of the theory of electrical properties of well-conducting semiconductors, was published in the *Journal of Technical Physics* in 1944. During the widespread development of semiconductor technology after the Second World War, it was found that the Shifrin's theory gave a correct explanation for many practically important effects.

A significant part of Shifrin's scientific activity was connected with theoretical studies of the scattering of electromagnetic radiation by particles. His book «Scattering of light in a turbid environment» published in 1951, was the first in the world monograph on the theory of single scattering of light by particles.

Shifrin was a founder of the method of microwave radio thermal locating (RTL). The world's first collection of articles on this issue, edited by him, was published in 1968 and soon translated into English. At present the RTL all-weather method is widely used for satellite measurements of sea surface temperature, ice cover and other parameters.

Professor Shifrin made a great contribution to development of methods for solving the inverse problem of the light scattering theory, that is the retrieval of the particle size distribution from their light scattering characteristics.

Under the Shifrin's leadership, a wide range of problems in ocean optics was studied: the theory of light absorption and scattering by sea water, determination of the quantitative and qualitative composition of the marine suspended matter from the light scattering data, and the use of optical methods in satellite oceanology. In 1983 he published a monograph «Introduction to the Ocean Optics», translated into English as «Physical Optics of Ocean Water».

Professor K.S. Shifrin was a founder of the All-Union plenums on the ocean optics; under his guidance, 51 PhD theses were defended, he was a consultant of nine Dr. Sci. theses. From

1992 to 2003 he was a professor at the Oregon University, USA. Died in 2011; his ashes is buried in the Preobrazhenskom Cemetery in St. Petersburg.

Keywords: electrical properties of semiconductors, light scattering by particles, inverse problems of scattering theory, passive microwave radiometry, ocean and atmosphere optics

References

Selected bibliography

- Bajvel` L.P. and Lagunov A.S.* Izmerenie i kontrol` dispersnosti chasticz metodom svetorasseyaniya pod maly`mi uglami. Moskva: E`nergiya, 1977, 87 p.
- Burenkov V.I., Gashko V.A., Kopelevich O.V., and Shifrin K.S.* Sopostavlenie razlichny`x metodov opredeleniya sostava morskoy vzvesi. Gidrofizicheskie i opticheskie issledovaniya v Indijskom okeane, Moskva: Shirshov Institute of oceanology, 1974, pp. 74–82.
- Burenkov V.I., Kopelevich O.V., and Shifrin K.S.* Rasseyanie sveta krupny`mi chasticzami s pokazatelyami prelomleniya, blizkimi k edinice. *Izvestiya AN SSSR, Fizika atmosfery` i okeana*, 1975, Vol. 11, No. 8, p. 828–835.
- Gidrofizicheskie i gidroopticheskie issledovaniya v Atlanticheskom i Tikhom okeanax. Ed. by A.S. Monin, K.S. Shifrin, Moskva: Nauka, 1974, 328 p.
- Gidrofizicheskie i opticheskie issledovaniya v Indijskom okeane. Ed. by L.M. Brexovskix, K.S. Shifrin, Moskva: Nauka, 1975, 256 p.
- Gol`din Yu.A. and Kozlyaninov M.V.* Rukovodstvo po gidroopticheskim izmereniyam v more. *Trudy` IO AN SSSR*, 1961, Vol. 47.
- Gol`din Yu.A., Pelevin V.N., and Shifrin K.S.* Svetovoe pole ot impul`snogo istochnika v morskoy vode. Sb. «Optika okeana i atmosfery`». Moskva: Nauka, 1981, pp. 56–95.
- Kopelevich O.V. and Shifrin K.S.* Sovremenny`e predstavleniya ob opticheskix svoystvax morskoy vody`. Sb. «Optika okeana i atmosfery`». Moskva: Nauka, 1981, pp. 4–55.
- Kuznecov O.A. and Alejnik D.L.* Nauchno-issledovatel`skoe sudno «Dmitrij Mendeleev» i ego e`kspedicii 1969–1993. Moskva: GEOS, 2002, 372 p.
- Melent`ev V.V. Professor K.S. Shifrin* – osnovopolozhnik passivnoj SVCh-mikrovolnovoj radiometrii (radioteplolokacii). *Trudy` Glavnoj geofizicheskoy observatorii im. A.I. Voejkova*, 2017, No. 587, pp. 204–227.
- Opredelenie srednego razmera i koncentracii vzveshenny`x chasticz po fluktuaciyam intensivnosti proshedshego sveta. *Optika i spektroskopiya*, 1975, Vol. 39, No. 2, pp. 367–372.
- Optika okeana (Man. Ed. A.S. Monin). Moskva: Nauka, 1983, Vol. 1, Fizicheskaya optika okeana, 372 p., Vol. 2, Prikladnaya optika okeana, 236 p.
- Optika okeana i atmosfery`. Materialy` VI Plenuma RG po optike okeana Komissii po problemam Mirovogo okeana AN SSSR, Baku: Izd-vo «E`lm», 1983, 400 p.
- Opticheskie metody` izucheniya okeanov i vnutrennix vodoemov (Man. Ed. G.I. Galazij and K.S. Shifrin), Novosibirsk: «Nauka», 1979, 373 p.
- Shifrin K.S., Rabinovich Yu. I., and Shhukin G. G.* Primenenie passivnoj radiometrii v meteorologii. *Trudy` GGO*, 1968, No. 222, pp. 22–48.
- Shifrin K.S.* (Man. Ed.) Perenos mikrovolnovogo izlucheniya v atmosfere. *Trudy` Glavnoj Geofizicheskoy observatorii im. A.I. Voejkova*, 1968, No. 222, 168 p.
- Shifrin K.S.* Vvedenie v optiku okeana. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1983, 278 p. (Eng. Transl. Shifrin K.S. Physical Optics of Ocean Water. New York: AIP Translation Series, 1983, 285 p.

- Shifrin K.S.* Vliyaniye vzbuzhdenny'x sostoyanij atomov primesi na e'lektricheskie svojstva poluprovodnikov. *ZhTF*, 1944b, Vol. XIV, No. 1–2, pp. 43–48.
- Shifrin K.S.* Vy'chislenie nekotorogo klassa opredelenny'x integralov, sodержashhix kvadrat besselevoj funkcii pervogo poryadka. *Trudy` Vsesoyuznogo zaochnogo lesotexnicheskogo instituta*, 1956, No. 2, pp. 153–162.
- Shifrin K.S.* K teorii e'lektricheskix svojstv polumetallov. *ZhTF*, 1944v, Vol. XIV, No. 1–2, pp. 49–69.
- Shifrin K.S.* Rasseyaniye sveta v mutnoj srede. Moskva-Leningad: Gostexteorizdat, 1951, 264 p.
- Shifrin K.S.* Usloviya, pri kotory'x nastupaet zametnoe vy'rozhdeniye e'lektronnoy gaza v poluprovodnikax. *ZhTF*, 1944a, Vol. XIV, No. 1–2, pp. 40–42.
- Shifrin K.S.* Shtrixi moej zhizni. Kusie'l` Solomonovich Shifrin. Ucheny`j, Uchitel` i Chelovek, Xar`kov: IPP «Kontrast», 2008, pp. 171–217.
- Shifrin K.S. and Golikov V.I.* Opredeleniye spektra kapel` metodom малы'x uglov. Issledovaniya oblakov, osadkov i grozovogo e'lektrichestva, Leningrad: Izd. AN SSSR, 1961, pp. 266–277.
- Shifrin K.S., Kopelevich O.V., Burenkov V.I., and Mashtakov Yu.L.* Ispol'zovaniye indikatrix rasseyaniya sveta dlya issledovaniya morskoy vzvesi. V sb. «Optika okeana i atmosfery'», Leningrad: «Nauka», 1972, p. 25–44.
- Shifrin K.S. and Salganik I.N.* Tablicy po svetorasseyaniyu. Vol. V. Rasseyaniye sveta modelyami morskoy vody`. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1973, 219 p.
- Shifrin K.S., Sud`bin A.I., Bekasova O.D. et al.* Issledovaniye svyazi mezhdru sodержaniem xlorofilla i yarkost`yu sveta, vy`xodyashhego iz morya. Proc. «TROPE`KS-72», Leningrad: Gidrometeoizdat, 1974.

МЕЖДУНАРОДНЫЙ СИМПОЗИУМ МСП-2018, ПОСВЯЩЕННЫЙ 90-ЛЕТИЮ ЧЛЕН-КОРРЕСПОНДЕНТА АН СССР К.Н. ФЕДОРОВА

А.И. Гинзбург, А.Г. Зацепин

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, 117997, Москва,
Нахимовский проспект, д. 36, e-mail: ginzburg@ocean.ru, zatsepin@ocean.ru
Статья поступила в редакцию 16.04.2018, одобрена к печати 26.04.2018*

К.Н. Федоров – выдающийся советский физик-океанолог, внесший заметный вклад в отечественную и мировую науку об океане. Комплексные исследования на основе натуральных измерений, лабораторного моделирования и спутниковой информации, проведенные под его руководством в созданных им коллективах – Лаборатории экспериментальной физики океана (1974) и Отделе экспериментальной и космической океанологии (1979), существенно расширили представления о процессах перемешивания в океане на различных пространственно-временных масштабах, от дифференциально-диффузионной конвекции и тонкой термохалинной структуры океанских вод до мезомасштабных вихрей (вихревых диполей), струй и фронтов.

В память о К.Н. Федорове, по случаю его 90-летия, в Институте океанологии им. П.П. Ширшова РАН с 30 октября по 2 ноября 2018 г. будет проходить Международный симпозиум «Мезомасштабные и субмезомасштабные процессы в гидросфере и атмосфере» (МСП-2018). Симпозиум организуется Институтом океанологии им. П.П. Ширшова РАН и Московским университетом им. С.Ю. Витте при содействии Российского фонда фундаментальных исследований.

Планируются приглашенные, устные и стендовые доклады по следующим тематическим направлениям работы Симпозиума:

- физические и динамические мезомасштабные и субмезомасштабные процессы и явления в гидросфере и атмосфере;
- взаимодействие гидросферы и атмосферы: роль мезомасштабных процессов;
- исследование мезомасштабных и субмезомасштабных процессов в гидросфере и атмосфере методами дистанционного зондирования;
- численное и лабораторное моделирование мезомасштабных и субмезомасштабных процессов и явлений в гидросфере и атмосфере;
- оперативная океанология и информационные технологии;
- приборы и методы исследований гидросферы и атмосферы.

Научная программа симпозиума после ее формирования и необходимая оперативная информация будут размещены на сайте Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН.

Приглашаем всех желающих принять участие в Международном симпозиуме МПС-2018. Тезисы докладов будут опубликованы к началу Симпозиума в отдельном сборнике, проиндексированном в РИНЦ'е с присвоением doi каждому докладу.

Избранные статьи по материалам докладов будут опубликованы в специальном выпуске регулярного рецензируемого журнала «Океанологические исследования» ISSN 1564–2291 (индексируется в РИНЦ'е): <https://jor.ocean.ru>. Участники конференции, желающие опубликовать свои статьи по теме доклада в указанном спецвыпуске, должны уведомить Оргкомитет симпозиума о том, что ими будут подготовлены соответствующие рукописи статей. Уведомление нужно послать в Оргкомитет в ответ на получение сообщения о принятии доклада. Рукописи статей объемом до 10 страниц каждая (включая рисунки и таблицы), оформленные строго по правилам журнала «Океанологические исследования» (см. <http://www.jor.ocean.ru>), необходимо направить в адрес Оргкомитета симпозиума до 1 ноября 2018 г. Присланные рукописи статей будут направлены на рецензирование. Окончательные решения о публикации статей будут приниматься на заседании редколлегии журнала.

Более полную информацию о журнале смотрите на сайте: <http://www.jor.ocean.ru>

Почтовый адрес: Оргкомитет симпозиума МСП-2018 ИО РАН. 117997, Россия, г. Москва, Нахимовский проспект. 36.

Тел.: +7(499) 129-19-36, факс: +7(499) 124-59-83, e-mail: msp-2018@ocean.ru

**INTERNATIONAL SYMPOSIUM MSP-2018 DEDICATED TO THE 90TH
ANNIVERSARY OF CORRESPONDENT MEMBER
OF THE USSR ACADEMY OF SCIENCES K.N. FEDOROV**

A.I. Ginzburg, A.G. Zatsepin

*Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences,
36 Nahimovskiy prospekt, Moscow, 117997, Russia, e-mail: msp-2018@ocean.ru
Submitted 16.04.2018, accepted 26.04.2018*

K.N. Fedorov is an outstanding Soviet ocean physicist who made a significant contribution to the national and world science of the ocean. In memory of K.N. Fedorov, on the occasion of his 90th birthday, at the P.P. Shirshov Institute of Oceanology, RAS from October 30 to November 2, 2018 will be held the International Symposium “Mesoscale and sub-mesoscale processes in the hydrosphere and atmosphere” (MSP-2018). The basic scientific and technical directions of the symposium work are the following: physical and dynamic mesoscale and sub-mesoscale processes and phenomena in the hydrosphere and atmosphere; the role of mesoscale processes in hydrosphere and atmosphere interaction; investigation of mesoscale and sub-mesoscale processes in the hydrosphere and atmosphere by remote sensing methods as well as numerical and laboratory modeling of the processes; operational oceanography and information technologies; instruments and methods for studying the hydrosphere and atmosphere.

The scientific program of the symposium after its formation and the necessary operational information will be posted on the website of the P.P. Shirshov Institute of Oceanology, RAS: www.msp.ocean.ru.

ПЕРВАЯ НАУЧНАЯ ШКОЛА В РАМКАХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ «ПЛАВУЧИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИО РАН»

Н.Б. Степанова

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, 117997, Москва,
Нахимовский проспект, д. 36, e-mail: stepanova.nb@ocean.ru*

Статья поступила в редакцию 16.04.2018, одобрена к печати 26.04.2018

В 2018 году в Институте океанологии им. П.П. Ширшова РАН открылась новая образовательная программа «Плавающий университет ИО РАН». 16–18 апреля Совет молодых учёных в рамках программы провел первую научную школу. Целью школы стало повышение квалификации молодых сотрудников и студентов для осуществления научно-экспедиционной деятельности. За 3 рабочих дня школу посетили более 45 человек, из них сотрудники Института океанологии, геологического Геологического института РАН, студенты и аспиранты МГУ им. М.В. Ломоносова с географического, биологического и геологического факультетов, студенты кафедры термогидромеханики океана МФТИ и ВШЭ. Ведущие специалисты Института и молодые ученые прочли слушателям лекции и провели практикумы в области физики, химии и биологии океана, представили часть актуальной приборной базы ИО РАН, а так же методы сбора и визуализации натурных данных. В дополнение к основной программе были проведены общеобразовательные семинары по открытым базам данных и подготовке рисунков журнального типа, продемонстрированы тематические видеоматериалы из научных рейсов и проведена экскурсия в хранилище образцов донной фауны Института. В рамках дальнейшего развития программы заинтересованные студенты получают возможность принять участие в научных рейсах ИО РАН.

В 2018 году в Институте океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии наук (ИО РАН) открылась новая образовательная программа «Плавающий университет ИО РАН» (в соответствии со Стратегией развития Института). В рамках этой программы с 16 по 18 апреля Совет молодых ученых Института провёл первую научную школу под руководством организатора программы к.ф.-м.н. Н.Б. Степановой. Программа мероприятия была нацелена на повышение квалификации молодых сотрудников и студентов для осуществления научно-экспедиционной деятельности. Образовательная программа школы включала в себя 3 дня, посвящённых физике, биологии и химии океана. Ведущие специалисты института – д.ф.-м.н. Е.Г. Морозов, д.г.н. П.Н. Маккавеев, д.б.н. В.А. Спиридонов, прочли слушателям общеобразовательные лекции: «Гидрологические исследования в Арктике», «Гидрохимия. Вода», «Жизнь в морской среде». Молодые сотрудники Института океанологии к.г.н. А. Полухин, Г. Абызова, Д. Глуховец, К. Сильвестрова, Д. Фрей провели семинары, посвященные методам и средствам сбора океанологических данных, представили часть актуальной приборной базы ИО РАН и провели практикумы по визуализации

данных с помощью основных профессиональных пакетов программ Golden Software Grapher и Surfer, а также Ocean Data View (ODV). Старшие научные сотрудники к.ф.-м.н. И. Медведев и к.ф.-м.н. А. Осадчиев представили обзор открытых баз данных океанографических измерений и спутниковых снимков, а также продемонстрировали возможности программ-редакторов векторной графики Adobe Illustrator и CorelDRAW при подготовке иллюстраций в научные журналы и постеров для научных конференций. В перерывах между семинарами слушателям школы был представлен фильм «Просторы высоких широт» из 63-го рейса НИС «Академик Мстислав Келдыш» (режиссер и оператор Е. Богатов) и тематические видеоролики видеостудии ИО РАН. В последний день к.б.н. А. Веденин провел экскурсию по хранилищу Лаборатории донной фауны океана.

Всего в первой научной школе по программе «Плавучий университет ИО РАН» приняло участие более 45 человек, включая сотрудников Института океанологии и геологического Института РАН, студентов и аспирантов географического, биологического и геологического факультетов МГУ им. М.В. Ломоносова, студентов кафедры термодинамики океана МФТИ (ГУ) и НИУ ВШЭ.



Совет молодых ученых Института океанологии поздравляет участников школы, успешно справившихся с выполнением практических заданий:

- | | |
|----------------|---------------------------------------------------------|
| 1 место | И. Дейнего (аспирант ИО РАН)
А. Висич (студент МФТИ) |
| 2 место | Р. Мухаметьянов (студент МФТИ) |
| 3 место | А. Лукина (студент МФТИ)
С. Лысенко (студент МФТИ) |

В рамках дальнейшего развития программы заинтересованные студенты и аспиранты получают возможность принять участие в научных рейсах ИО РАН.

Отдельная благодарность выражается заместителю Директора ИО РАН, член-корреспонденту РАН, д.б.н. М.В. Флинту и к.г.н. С.В. Гладышеву за поддержку образовательной программы в институте и предоставление возможности морских практик, Ученому секретарю ИО РАН, к.г.н. А.С. Фалиной за помощь и поддерж-

ку со стороны администрации Института, к.г.-м.н. Д. Борисову за создание логотипа программы и визуальное оформление печатной продукции, А. Недоспасову, поспособствовавшему созданию программы школы и ЦПИ «Океанология» в лице Д. Мигали за предоставление приборной базы.

THE FIRST SCIENTIFIC SCHOOL WITHIN THE EDUCATIONAL PROGRAM «FLOATING UNIVERSITY OF IO RAS»

N.B. Stepanova

*Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences,
36 Nahimovskiy prospekt, Moscow, 117997, Russia,*

e-mail: stepanova.nb@ocean.ru

Submitted 16.04.2018, accepted 26.04.2018

A new educational program «Floating University of IO RAS» was opened at in the Institute of Oceanology. On April 16–18, the Council of young scientists held the first scientific Scientific school School within the program. The aim of the school School was to improve the skills of young employees and students to carry out scientific field-expedition activities. During 3 working days more than 45 people visited the scientific Scientific School, among them employees of the Shirshov Institute of Oceanology RAS, Geological Institute RAS, undergraduate students and postgraduates of MSU, MIPT, and HSE. Leading specialists of the Institute of Oceanology and young scientists gave lectures and conducted practical classesworkshops in the field of physical oceanography, marine chemistry and biologyphysics, chemistry, and biology of the ocean, presented a part of the actual IO RAS marine instruments base, as well as methods of field data collection and visualization collecting and visualizing field data. In addition to the main program, general the School held educational seminars on open oceanographic databases and preparation pictures for scientific journals were held. Participants of the School also watched videos, thematic video materials from various scientific expeditions were demonstrated, and the participants visited the repository of samples of bottom fauna of the Institute. As part of the further development of the Program, interested students will have the opportunity to participate in scientific expeditions of IO RAS.

JOURNAL OF OCEANOLOGICAL RESEARCH

2018 Vol. 46 No. 1

Founded in 1959. Issued 6 times a year

Editor-in-Chief: **A.G. Kostianoy**

Editorial board:

O.R. Anderson (USA), D.A. Astakhov, A.I. Azovskiy, S.I. Badulin, S. Blanc (Argentina), E. Campos (Brazil), A.V. Drits, A.V. Dubinin, M.V. Flint, A.V. Gebruk, S.K. Gulev, L.I. Lobkovskiy, A.G. Matul, E.G. Morozov, O.O. Möller Jr. (Brazil), S.L. Nikiforov, G.V. Novikov, A.G. Ostrovskii, N.A. Rimsky-Korsakov, B.Ya. Rozman, L. Shemer (Israel), V.P. Shevchenko, N.O. Sorokhtin, P.A. Stunzhas, R.Yu. Tarakanov, Jö. Thiede (Germany), A.S. Ulyantsev, V.V. Veltishchev, P.O. Zavialov, G. Zodiatis (Greece)

Managing Editor: **S.A. Sviridov**

Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences (IO RAS)
36 Nahimovskiy Prospekt, Moscow, 117997, Russia
Tel. +7 (495) 719-0035, ext. 03-03, e-mail: jorboard@ocean.ru

Редактор-корректор: **Ю.В. Воробьева** Editor-proofreader: **Yu.V. Vorobeva**
Дизайн обложки и оформление: **Е.В. Сердцева** Cover design: **E.V. Serdtseva**

Компьютерная подготовка оригинал-макета: **Н.А. Шишкина**
Computer preparation of the original layout: **N.A. Shishkina**

Регистрация РИНЦ, CrossRef: **И.А. Уманская, Ю.В. Новиков**
eLibrary and CrossRef registration: **I.A. Umanskaya, Yu.V. Novikov**

Техподдержка онлайн версии: **Е.А. Данилин, А.А. Метальников, А.В. Муратов**
Online support: **E.A. Danilin, A.A. Metalnikov, A.V. Muratov**
Online version: <https://www.jor.ocean.ru/index.php>

Сдано в набор **26.04.2018** г. Подписано к печати **25.05.2018** г. Формат бумаги 60×80 1/8
Офсетная печать Усл. печ. л. **22.3**. Уч. изд.л. 25.7.
Тираж 150 экз. Зак. № 131357 от 28.08.18

Свидетельство о регистрации СМИ ЭЛ № ФС77-70841 и ПИ № ФС77-70834 от 30 августа 2017 года
в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций
Учредитель: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт океанологии им. П.П. Ширшова
Российской академии наук

Отпечатано в типографии: ПАО «Т8 Издательские Технологии»
109316, Москва, Волгоградский пр-т, д. 42, корп. 5, офис 6

Уважаемые авторы,
организаторы конференций и симпозиумов!
Редакция журнала «Океанологические исследования»
оказывает информационно-технические
и издательские услуги:

- оперативную публикацию трудов конференций и симпозиумов;
- издание монографий и тематических сборников;
- верстку научных работ, корректуру и литературное редактирование;
- художественный дизайн и оформление обложки издания;
- регистрацию публикаций в БД CrossRef и индексирование в РИНЦ;
- создание тематического сайта конференции, тематического издания и размещение опубликованных работ в сети Интернет;
- создание хранилища DOI для Вашей монографии или сборника трудов;
- упрощенный и быстрый процесс издания;
- Вы остаетесь обладателем авторских прав на Вашу работу.

Адрес редакции:

117997, Москва, Нахимовский проспект, 36, офис 203
Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
Редакция журнала «Океанологические исследования»

E-mail: jorboard@ocean.ru
<http://www.jor.ocean.ru>
тел.: +7 (495) 719-00-35

