

УДК 574.5 (26)

Главный редактор: Гаевская А. В., д.б.н., проф., гл.н.с. ИМБИ

Заместитель главного редактора: Шульман Г. Е., чл.-корр. НАН Украины, д.б.н., проф., гл.н.с. ИМБИ

Ответственный секретарь: Неврова Е. Л., д.б.н., в.н.с. ИМБИ

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Адрианов А. В., академик РАН, д.б.н., проф.,
директор ИБМ ДВО РАН

Азовский А. И., д.б.н., проф. МГУ

Генкал С. И., д.б.н., проф., гл.н.с. ИББВ РАН

Гулин С. Б., д.б.н., проф., вр.и.о. директора ИМБИ

Егоров В. Н., академик НАН Украины, д.б.н.,
проф., гл.н.с. ИМБИ

Зуев Г. В., д.б.н., проф., зав. отделом ИМБИ

Коновалов С. К., чл.-корр. НАН Украины,
д.г.н., вр.и.о. директора МГИ РАН

Милячакова Н. А., к.б.н., зам. директора
ИМБИ

Миронов О. Г., д.б.н., проф., гл.н.с. ИМБИ

Празукин А. В., д.б.н., в.н.с. ИМБИ

Руднева И. И., д.б.н., проф., в.н.с. ИМБИ

Рябушко В. И., д.б.н., зав. отделом ИМБИ

Самышев Э. З., д.б.н., проф., зав. отделом
ИМБИ

Совга Е. Е., д.г.н., проф., в.н.с. МГИ РАН

Солдатов А. А., д.б.н., проф., зав. отделом
ИМБИ

Токарев Ю. Н., д.б.н., проф., науч. рук. ИМБИ

Финенко З. З., д.б.н., проф., зав. отделом
ИМБИ

Arvanitidis Chr., PhD, Head of Biodiversity
Laboratory, HCMR, Greece

Bat L., PhD, Prof., Head of Hydrobiology, Fisheries
Faculty, Sinop University, Turkey

Ben Souissi J., PhD, Prof., Institut National
Agronomique de Tunisie, Directrice de Département
des Sciences Marines, Tunis

Kociolek John Patrick, PhD, Prof., University of
Colorado at Boulder, Director Boulder Museum of
Natural History and Department of Ecology and
Evolutionary Biology, USA

Magni Paolo, PhD, National Research Council /
Institute for Coastal Marine Environment (CNR-
IAMC), Italy

Moncheva Snejana, PhD, Prof., Deputy Director
of Institute of Oceanology BAS, Bulgaria

Zaharia Tania, PhD, Sci. Director, President of
Scientific Council National Institute for Marine
Research and Development "Grigore Antipa", Romania

“Морской биологический журнал”

планируется для реферирования Международной информационной системой по водным наукам и
рыболовству Aquatic Sciences and Fisheries Abstracts (ASFA), Всероссийским институтом научно-
технической информации (ВИНИТИ), а также Российским индексом научного цитирования
(РИНЦ) на базе Научной электронной библиотеки elibrary.ru (НЭБ)

Все материалы, подаваемые в “Морской биологический журнал”,
проходят независимое двойное рецензирование

Адреса редакции:

ФГБУН Зоологический институт РАН, 199034 Россия, Санкт-Петербург, Университетская наб., д.1;
Телефон (812) 328-00-11 ; E-mail: director@zin.ru

ФГБУН «Институт морских биологических исследований имени А. О. Ковалевского РАН»
299011 Россия, Севастополь, пр. Нахимова, 2, Телефон 7 (8692) 54-56-62
E-mail: mbj-imbr@mail.ru ; albina.gaevskaya@mail.ru

© ФГБУН Зоологический институт РАН, 2016

© ФГБУН «Институт морских биологических исследований имени А. О. Ковалевского РАН», 2016

ISSN 2499-9768 print / ISSN 2499-9779 online

Морской биологический журнал. 2016. Том I. № 1

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
ФГБУН ЗООЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ РАН
ФГБУН «ИНСТИТУТ МОРСКИХ БИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ
имени А. О. КОВАЛЕВСКОГО РАН»

МОРСКОЙ БИОЛОГИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ MARINE BIOLOGICAL JOURNAL

Основан в феврале 2016 г.

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

Выходит 4 раза в год
Севастополь

Том I
№ 1 * 2016

Содержание

Научные сообщения

- Бат Л., Устюн Ф., Озтекин Х. К.* Концентрация тяжёлых металлов в зоопланктоне у побережья Синопа, Чёрное море, Турция 5 – 13
- Головина И. В.* Особенности активности ферментов энергетического обмена в тканях черноморских моллюсков разной подвижности в норме и при патологии 14 – 23
- Зуев Г. В., Бондарев В. А., Самотой Ю. В.* Географическая изменчивость размерно-возрастной структуры черноморского шпрота *Sprattus sprattus phalericus* (Risso) (Pisces: Clupeidae) и его внутривидовая дифференциация 24 – 35
- Машукова О. В., Токарев Ю. Н.* Вариабельность биолюминесценции *Mnemiopsis leidyi* A. Agassiz (Ctenophora: Lobata) при регенерации 36 – 42
- Неврова Е. Л.* Структурные основы региональных отличий таксономического разнообразия донных диатомовых (Bacillariophyta) Чёрного моря 43 – 63
- Соловьёва О. В.* Мидиевое обрастание технической конструкции в условиях кутовой части Севастопольской бухты (Чёрное море) 64 – 69
- Тихонова Е. А.* Многолетняя динамика загрязнения органическими веществами донных осадков бухты Круглая (Севастополь, Чёрное море) 70 – 75

К 145-летию Севастопольской биологической станции

- Грезе Е. В.* К 100-летию со дня рождения В. Н. Грезе: страницы жизни 76 – 82
- Лысс В. Л.* Память о «Человеке с Луны» (Н. Н. Миклухо-Маклай, к 170-летию со дня рождения) 83 – 90
- Мильчакова Н. А.* Неизвестное об известном (к 145-летию СБС–ИНБИОМ–ИМБИ) 91 – 92

Исторические хроники

- Аносов С. Е., Игнатьев С. М.* История изучения фауны десятиногих раков (Decapoda) Понта в датах и цифрах 93 – 101

Хроника и информация

- Родина Е. А.* IX Всероссийская научно-практическая конференция молодых учёных «Понт Эвксинский-2015» по проблемам водных экосистем, приуроченная к 100-летию со дня рождения Владимира Николаевича Грезе (17–20 ноября 2015 г.) 102
- Шадрин Н. В., Ануфриева Е. В.* Научные чтения «Биоразнообразие и продуктивность водных экосистем», посвящённые 100-летию со дня рождения известного гидробиолога В. Н. Грезе 103 – 104

Севастополь – 2016

RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES
ZOOLOGICAL INSTITUTE
A. O. KOVALEVSKY INSTITUTE OF MARINE BIOLOGICAL RESEARCH

МОРСКОЙ БИОЛОГИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ MARINE BIOLOGICAL JOURNAL

Established in February 2016

SCIENTIFIC JOURNAL

4 issues per year
Sevastopol

Vol. I
No. 1 * 2016

Contents

Scientific communications

- Bat L., Üstün F., Öztekin H.* Heavy metal concentrations in zooplankton of Sinop coasts of the Black Sea, Turkey 5 – 13
- Golovina I. V.* Peculiarities of energy metabolism enzymes activity in tissues of Black Sea molluscs of different mobility in standart and at pathology 14 – 23
- Zuyev G. V., Bondarev V. A., Samotoy U. V.* Geographical variability of length-age structure of the Black Sea sprat *Sprattus sprattus phalericus* (Risso) (Pisces: Clupeidae) and intraspecific differentiation 24 – 35
- Mashukova O. V., Tokarev Yu. N.* Variability of *Mnemiopsis leidyi* A. Agassiz (Ctenophora: Lobata) bioluminescence in relation to regeneration 36 – 42
- Nevrova E. L.* The structural basis of regional differences in taxonomic diversity of benthic diatoms (Bacillariophyta) of the Black Sea 43 – 63
- Solovyeva O. V.* Mussel fouling on the technical structure in the inner part of the Sevastopol Bay (Black Sea) 64 – 69
- Tikhonova E. A.* The long-term dynamics of the sea bottom sediments pollution from the Kruglaya bay (Black Sea) 70 – 75

To the 145th anniversary of Sevastopol Biological Station

- Greze E. V.* To the 100th anniversary of V. N. Greze: life's pages 76 – 82
- Lyss V. L.* Remembering about “Man from the Moon” (N. N. Miklukho-Maklai, to the 170th anniversary) 83 – 90
- Milchakova N. A.* Unknown about well known (to the 145th anniversary of SBS–IBSS–IMBR) 91 – 92

Historical chronicles

- Anosov S. E., Ignatyev S. M.* History of the studying of Ponticus decapods (Decapoda) in dates and figures 93 – 101

Chronicle and information

- Rodina E. A.* IX All-Russian scientific-practical conference for young scientists “Ponticus Euxinus – 2015” on water ecosystems’ problems, dedicated to the 100th anniversary of Vladimir Nikolaevich Greze (17–20 November 2015) 102
- Shadrin N. V., Ануфреева E. B.* Scientific reports «Biodiversity and productivity of water ecosystems», dedicated to the 100th anniversary of well known hydrobiologist V. N. Greze 103 – 104

Sevastopol – 2016



«Морской биологический журнал», учредителем которого является ФГБУН «Институт морских биологических исследований имени А. О. Ковалевского РАН», по сути, имеет столь же давнюю историю, как и сам институт. Созданная почти 145 лет назад, в 1871 г., Севастопольская биологическая станция (СБС), первоначально в составе Императорской академии наук, затем Академии наук СССР, в 1963 году была реорганизована в Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского (ИнБЮМ) Академии наук УССР, впоследствии Национальной академии наук Украины, а в мае 2015 г., после памятного возвращения Крыма и Севастополя в состав РФ, в конечном итоге приобрела статус Федерального государственного бюджетного учреждения науки, именуемого Институтом морских биологических исследований им. А.О. Ковалевского Российской академии наук (ИМБИ). И если первые публикации, имевшие отношение к выполнявшимся на Станции исследованиям, выходили в свет в «Записках Императорской академии наук», то с 1929 г. и до момента реорганизации СБС её издательская деятельность знаменовалась регулярным выпуском «Трудов Севастопольской биологической станции» под эгидой Академии наук СССР. Эту эстафету принял Институт биологии южных морей, с 1965 по 1979 гг. выпускавший сборник научных трудов «Биология моря», с 1980 по 2010 гг. – Республиканский межведомственный сборник научных трудов «Экология моря», а с 2002 по 2014 гг. – «Морський екологічний журнал», статьи в котором публиковались на трёх языках – русском, украинском, английском. Как ИМБИ является естественным преемником научных знаний, опыта и традиций СБС – ИнБЮМ, так и «Морской биологический журнал» намерен продолжать традиции издательской деятельности, которые были присущи этим научным учреждениям.

На страницах журнала предполагается публиковать обзорные и оригинальные статьи, краткие сообщения и заметки, содержащие новые данные теоретических и экспериментальных исследований в области морской биологии, материалы по разнообразию морских организмов, их популяций и сообществ, закономерностям распределения животных и растительных организмов в Мировом океане, результаты комплексного изучения морских и океанических экосистем, антропогенного воздействия на морские организмы и экосистемы в целом.

Последовательно придерживаясь биогеоэкологической концепции, согласно которой анализ, диагноз и прогноз состояния и динамики сложных систем – биологических, экологических, социальных – должны базироваться на комплексном междисциплинарном исследовании и рассмотрении всех основных природных компонентов среды и антропогенных факторов в их взаимосвязи и взаимозависимости, редколлегия журнала намерена всячески способствовать формированию всеобщей научно-философской позиции «Человек – Биосфера».

Названия специальных рубрик, предполагаемых в журнале, – «Дискуссионный клуб», «Исторические хроники», «Рецензии», «Хроника и информация» – говорят сами за себя. Страницы журнала открыты для научных дискуссий по любым теоретическим и прикладным проблемам морской биологии; в нём предполагается публиковать материалы о значимых научных событиях в мире биологии, истории развития биологической науки, выдающихся учёных-биологах, рецензии на монографии, коллективные труды, статьи, информацию о конференциях, симпозиумах и т.п.

Редколлегия «Морского биологического журнала», создаваемого ФГБУН «Институт морских биологических исследований им. А. О. Ковалевского РАН», будет стремиться к реализации обозначенных выше приоритетов и рассчитывает на творческое сотрудничество с учёными и специалистами не только в области морских наук, но и с представителями смежных научных направлений, занимающимися проблемами устойчивого использования и воспроизводства морских ресурсов, вопросами интегрированного управления прибрежными зонами и морскими акваториями.

Журнал рассчитан на биологов, гидробиологов, экологов, радиобиологов, биофизиков, океанологов, географов, научных работников других смежных специальностей, аспирантов и студентов соответствующих научных и отраслевых профилей. Надеемся, что интерес к нему проявят и те читатели, кому небезразлично будущее Планеты Земля.

Редакционная коллегия



УДК 574.583:546(262.5)

L. Bat¹, PhD, Prof., **F. Üstün**¹, PhD, **H. C. Öztekin**¹, PhD¹Sinop University, Fisheries Faculty, Department of Hydrobiology, Sinop, Turkey**HEAVY METAL CONCENTRATIONS IN ZOOPLANKTON
OF SINOP COASTS OF THE BLACK SEA, TURKEY**

Estimation of level contamination of marine ecosystems with heavy metals is important task in the field of MSFD. Total zooplankton samples were collected using a standard zooplankton net (mesh size=112 μm , mouth diameter=50 cm) from Sinop coast of the Black Sea, Turkey in 2011 and 2012. Concentrations of Al, As, Cu, Zn, Hg, Fe, Cd and Pb were determined in the total zooplankton samples. The average concentration of heavy metals followed order: Fe > Al > Zn > Pb > Cu > As > Cd > Hg. Estimated Hg was below the detection limit among all heavy metals in all samples. Fe was the most common heavy metal in total zooplankton samples present in all, Al was the other heavy metal commonly present in the samples. Pb showed high value (210 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) in total zooplankton. Similar to Pb, a high average concentration of As (40 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) was observed in total zooplankton. Cd was 1.1 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$.

Key words: heavy metals, zooplankton, Copepod, Black Sea

Contamination of marine ecosystems with heavy metals continued attention in the field of Marine Environment Policy Marine Strategy Framework Directive (MSFD). The Black Sea is a unique marine environment, representing the largest land-locked anoxic basin in the world with a maximum depth of 2200 m, a surface area of $4.2 \cdot 10^5 \text{ km}^2$ and a volume of $5.3 \cdot 10^5 \text{ km}^3$. The basin is completely anoxic, containing an oxygenated upper layer (10–15 % of total sea volume) and anoxic deep water with hydrogen sulphide [6]. A permanent halocline separates the oxic and anoxic waters [30]. Its waters are almost completely isolated from the world ocean. There is a restricted exchange with the Mediterranean Sea through the Turkish Straits System: the Bosphorus, Dardanelles Straits and the Sea of Marmara. The temperature varies seasonally in the surface layer due to solar heating and decreases with depth to a minimum (50–100 m depth), which is identifiable by a cold intermediate layer. Below this layer, permanent halocline (50–200 m) separates the surface water from the deep water. The basin-wide distribution of oxygen-carrying cold intermediate layer

waters has important implications on the health and ecology of the Black Sea [29, 22]. The aerobiotic waters of the Black Sea are biologically productive because of high run-off from many rivers including the Danube, Dnepr, Dnestr, Kizilirmak, Yesilirmak around the basin. Black Sea is being threatened by the discharge of untreated sewage wastes and industrial effluents which affects the sustainability of living resources. The coastal systems of the Black Sea have been increasingly impacted by heavy metals released from these anthropogenic activities [1, 13]. Moreover, some heavy metals enters the atmosphere from thermal plant, from burning, incinerating trash, things like that [12, 36]. These wastes carry enormous level of toxicants especially the heavy metals have the tendency to accumulate into the basic food chains and move up through the higher trophic level and results in negative impact on the marine resources thus causing economic loss.

Pollutants especially heavy metals bind preferentially to suspended particulate material and bottom sediments of rivers, estuaries and coastal waters. As a result, many toxic and persistent metals

can be found at high concentrations in the sediment. This have caused to the Black Sea to deteriorate in terms of benthic and pelagic communities, fisheries, habitats, sediment and water quality etc. and potentially human health, through direct contact of organisms or re-suspension into the overlying water [13].

Zooplankton plays a pivotal role in shaping ecosystem structure because grazing by zooplankton is thought to influence or regulate primary production, and variations in zooplankton dynamics may affect biomass of many fish stocks. Zooplankton mainly Copepods are the most abundant forms in the Black Sea. They filter suspended matter and have important role in transferring the organic matter from primary producers to the higher trophic levels. It is also one of the most preferred foods for the fish [3, 14]. Zauke and Schmalenbach [40] pointed out that zooplankton play an important role in the biogeochemical cycling of metals in marine ecosystems.

So far very little work has been published on the heavy metal estimation in zooplankton from the Black Sea coast of Turkey. However, metal compounds have been extensively used and are widespread in the Black Sea. Therefore it is important to determine the heavy metal concentrations in zooplankton for a better understanding of metal pollution in the Black Sea. In this regard, the heavy metal concentrations have been measured in total zooplankton from Sinop coast of the Black Sea, Turkey in 2011 and 2012.

Materials and Methods. The sampling of the zooplankton was carried out between February – August 2011 (except April and June) and June – September 2012 (except July) near Sinop coasts of the

Black Sea (42° 00'21" N ; 35° 09'32" E) (Fig. 1). The zooplankton samples were collected during daytime with 5 replicate vertical hauls by using standard plankton net (mesh size =112 µm, mouth diameter =50 cm) from the bottom to the surface (50–0 m). Following the vertical tows, contents of the cod ends were filtered using a 2 mm sieve to retain and subsequently to quantify gelatinous organisms. The zooplankton samples were placed in a nylon sieve (20 µm mesh size) and thoroughly rinsed with distilled water to remove salts. Remaining water was removed from animals by placing the nylon sieve. Collected samples were divided into two parts. One was transferred to 4% formalin for quantitative and qualitative taxonomical analyses of zooplankton.

The analyses of samples were carried out using sub-samples of 1 ml sampled with a Stempel pipette. Samples were counted in a Bogorov chamber and analyzed under a stereomicroscope. The results were then averaged and extrapolated to the whole sample. All samples of species, including rare groups like Chaetognatha, Decapod larvae, fish eggs and larvae were analyzed according to Harris et al. [21]).

All Cladocera, Copepoda, Appendicularia, Chaetognatha were identified to species. All other taxa were identified to phylum, class or order levels. The main references used for the identification of major zooplanktonic groups were Bradford-Grieve et al. [15] and Conway et al. [16]. Systematic classification and nomenclature of zooplankton species were made according to Appeltans et al. [2]. The abundance results were given in ind. · m⁻².

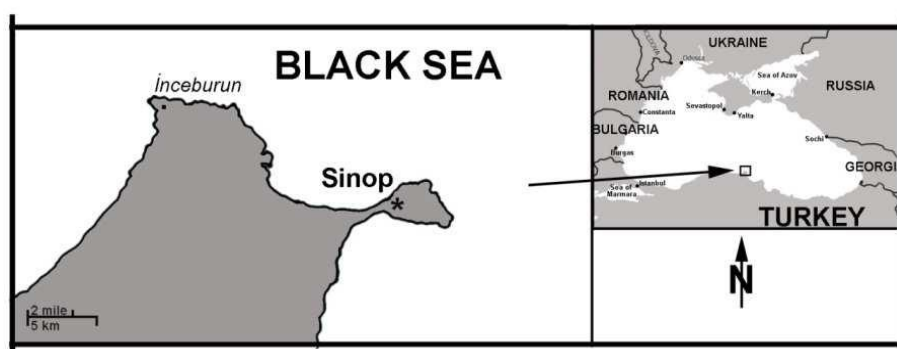


Fig. 1 Sampling region
Рис. 1 Район отбора проб

The other one was kept for heavy metals analyses in the laboratory. Subsequently, the samples were placed in petri dishes and wet weighed. The samples were dried in an oven at 100°C in 24 hours and weighted again then, dried sample were placed in Eppendorf tube. Sampling date, wet and dry weights and percentage of weight loss were shown in Table 1.

All samples were stored deep frozen at –21°C until their analysis. Metal analysis in total zooplankton were performed using m-AOAC 999.10–ICP/MS method by accredited ÇEVRE Industrial Analysis Laboratory Services Trade Company (TÜRKAK Test TS EN ISO IEC 17025 AB-0364-T). The method for determination of heavy metals, used acid, standard reference material,

Table 1 Sampling date, wet and dry weights (g) and percentage of weight loss (%)
Табл. 1 Дата отбора проб, сырой и сухой вес проб (г), доля потери веса (%)

Sampling date	Wet Weight (g)	Dry Weight (g)	Loss of Weight (%)
24 February 2011	0.5479	0.0214	96.1
29 March 2011	0.9355	0.0938	90.0
4 May 2011	0.6244	0.0921	85.2
27 May 2011	2.5456	0.1014	96.0
7 July 2011	4.1859	0.1347	96.8
4 August 2011	15.7217	0.5974	96.2
13 June 2012	3.8718	0.1925	95.0
1 August 2012	6.9543	0.4123	94.1
4 September 2012	6.1195	0.3356	94.5
27 September 2012	6.205	0.3849	93.8

wet digestion was used by European Standard method with number EN 15763. Analytical quality control sample was routinely run through during the period of metal analysis. Standard solutions were prepared from stock solutions (Merck, multi-element standard). Certified Reference Material No: 414 trace elements in plankton (powder) were used for calibration. The results showed good agreement between certified and analytical values (recovery rates 95 – 110 %). The limits of detection used for analysis of aluminium, arsenic, copper, zinc, mercury, iron, cadmium and lead were 0.5, 0.05, 0.5, 0.5, 0.05, 0.5, 0.02 and 0.05, respectively.

Results and Discussion. Proportion of zooplankton groups in collected samples is given in Fig. 2. Copepoda dominated among zooplankton groups. The abundance percentage of Copepoda was about 60.5% of the total. Dinophyceae (*Noctiluca scintillans*) was the second most abundant group (16.5%), followed by Cladocera (9.5%) and meroplankton (7.9%) (Fig. 2). This finding is in agreement with general understanding of zooplankton classes spatial and temporal distribution in the Black Sea [7, 10, 39]. The list and mean abundance (ind. $\cdot$ m⁻²) of zooplankton species are given in Table 2. Like the Black Sea, low salinity of the Baltic Sea water favours the development of Copepoda, which frequently dominate coastal waters and Copepoda proved to be enriched with heavy metals in comparison with Cladocera [32]. Martin [25] showed that many heavy metals had become adsorbed to copepod exoskeletons at greater

depths because food-dependent moulting rates were lower; thus more time was available for elemental adsorption to take place.

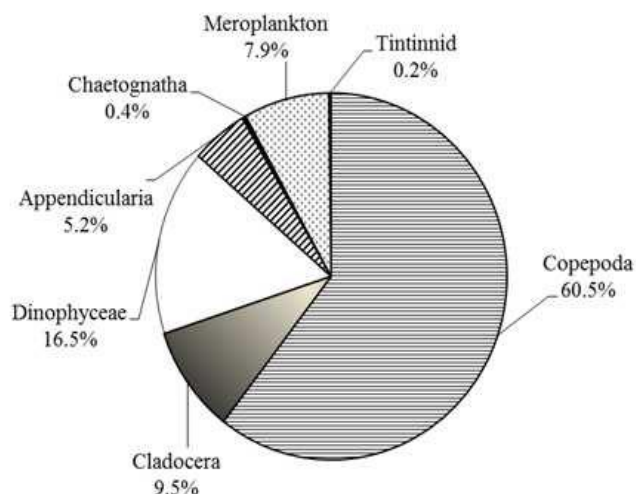


Fig. 2 Composition of zooplankton in coastal water near Sinop (in percents)

Рис. 2 Состав зоопланктона по группам у побережья Синопа (в процентах от общей численности)

The mean heavy metal concentrations in total zooplankton of the present study are given in Fig. 3. The extent of different heavy metals in zooplankton followed hierarchy, Fe > Al > Zn > Pb > Cu > As > Cd > Hg. All metals except Hg measured in the present study in detectable levels, indicating some degree of heavy metal pollution in this region. Fe was the most common heavy metal

in total zooplankton samples present in all, Al was the other heavy metal commonly present in the samples. Al concentrations in the zooplankton samples of the southern Baltic Sea varied in the range from 20 to 1615 g · g⁻¹ dry wt. [32].

Table 2 The list and mean abundance (ind · m⁻²) of zooplankton groups during this study

Табл. 2 Список видов и средняя численность (экз. · м⁻²) групп зоопланктона в районе исследований

SPECIES	Abundance (ind · m ⁻²)
APPENDICULARIA	
<i>Oikopleura (Vexillaria) dioica</i> Fol, 1872	5603
CLADOCERA	
<i>Penilia avirostris</i> Dana, 1849	9089
<i>Pleopis polyphaemoides</i> (Leuckart, 1859)	463
<i>Pseudevadne tergestina</i> (Claus, 1877)	303
<i>Eavdne spinifera</i> P. E. Müller, 1867	401
CHAETOGNATHA	
<i>Parasagitta setosa</i> (Müller, 1847)	401
COPEPODA	
<i>Acartia (Acartiura) clausi</i> Giesbrecht, 1889	13888
<i>Calanus euxinus</i> Hulsemann, 1991	271
<i>Centropages ponticus</i> Karavaev, 1895	465
<i>Oithona similis</i> Claus, 1866	4515
<i>Oithona davisae</i> Ferrari F. D. & Orsi, 1984	10118
<i>Paracalanus parvus</i> (Claus, 1863)	4840
<i>Pseudocalanus elongatus</i> (Boeck, 1865)	5705
Harpacticoida	38
Copepoda nauplii	24450
Copepoda eggs	1250
DINOFLAGELLATA	
<i>Noctiluca scintillans</i> (Macartney) Kofoid & Swezy, 1921	17838
TINTINNIA	213
MEROPLANKTON	
Bivalvia larvae	6263
Cirripedia larvae	229
Decapoda larvae	124
Gastropoda larvae	1463
Medusae planula	16
<i>Microniscus</i> sp.	3
Polychaeta larvae	401
Fish larvae	26
Fish eggs	3

Pempkowiak et al. [31, 32] suggested that this can be caused by varying composition of zooplankton species and/or contribution of mineral particles, since Al is a major component of particulate mineral matter [32].

Studies on metals in zooplankton have been conducted for decades, but there is little information on concentrations of heavy metals in zooplankton from the Black Sea are available [8, 37, 38] and these studies were carried out with certain metals. The levels of metals were compared to those found in the Black Sea and other areas for the mixed zooplankton (Table 3). Regarding Zn and Cu the reported patterns are in good agreement with the literature obtained in the present study. High accumulation of Zn in zooplankton may be due to coprecipitation of Zn with calcium carbonate [34].

Zooplankton samples from the Black Sea coast show Pb and As concentrations in detectable levels (210 and 40 mg · kg⁻¹ dry weight, respectively), suggesting that these metals might not serve as a regional background value. Martin [25] indicated that three main factors govern adsorption rates of the metals. They are concentration of the available metal for uptake, physical factors and the amount taken up will also depend on duration. It is known that salinity played a major role in the depletion of the dissolved Pb in the coastal water. If salinity decreased, the concentrations of dissolved Pb increased [35]. Pb is known to form colloids in seawater, and such colloids would have adsorbed onto planktonic debris, which consequently might have resulted in higher concentration of the metals in zooplankton from the coastal waters [34]. Marine organisms accumulate As by uptake from the surrounding water and foods and retain assimilated As mainly in the exoskeleton and muscle tissues, but its compounds are efficiently and rapidly excreted reducing the possibility of accumulation and trophic transfer in food chains [28]. However, in view of the large surface-to-volume ratio of the zooplankton, it is assumed that differences in the amounts taken up by adsorption-exchange may be largely responsible for the

observed variations of the metals [25]. This phenomenon may be true for the Black Sea.

The high values of these heavy metals in zooplankton from the Black Sea may be due to industrial and domestic effluents into the harbor and its passage to the coastal areas, together with land based sources from rivers [1, 9]. Possible explanations for this may be due to larger availability of these heavy metals in the Black Sea. Many Cu ores are processed at the Black Sea coast of Turkey. The Zarbana River bed close to Etibank Küre mine and Zarbana river mouth located at central part of Northern Anatolia are highly contaminated with respect to metals including Cu, Zn, As, Fe, and Pb [17].

Mean Cd level is $1.1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ dry weight in this study and lower than those in many studies presented in Table 3. Pempkowiak et al. [31] indicated that low Cd concentrations, both dissolved and in particulate matter rich with

organic carbon. It is predicated to absorption of dissolved Cd by algae and dilution of particulate Cd by high loads of organic matter originating in the process of primary production and resulted in Cd depletion in zooplankton [32]. These results may be explained by any, or a combination of the different factors [32]. High amount of organic matter [4, 5] and primary production loads [1, 23, 26] in the Black Sea decrease bioavailability of dissolved metals and decreased concentrations of metals in particulate organic matter [31]. However, high Cd concentrations in Copepods were found in Barrent Sea [40]. These differences were explained that these may be related to changing accumulation strategies of the copepods or to seasonally changing Cd absorption in copepods from food or to local upwelling [40]. A study by Gama-Flores et al. [19] demonstrated that even at low concentrations of Cd with longer exposure periods was detrimental to zooplankton.

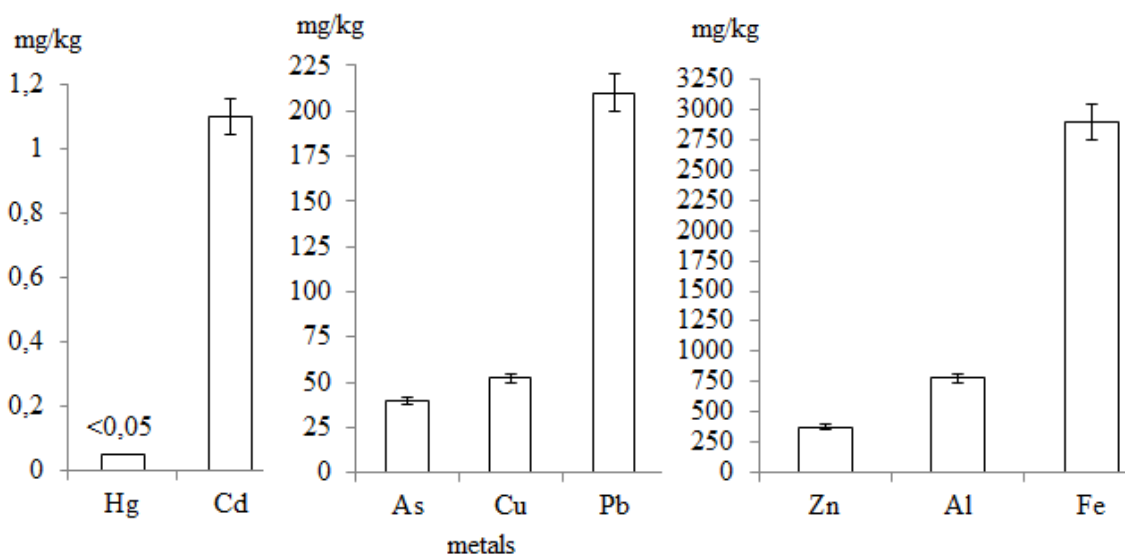


Fig. 3 Heavy metal concentrations (mean±SE) in total zooplankton collected from Sinop coasts of the Black Sea during 2011–2012

Рис. 3 Концентрация тяжёлых металлов (mean±SE) в тотальных сборах зоопланктона у побережья Синопа (Чёрное море) в 2011–2012

Zooplankton groups mostly feed on phytoplankton and may contribute to the transfer of heavy metals to higher trophic levels. They have been chosen as one of the recommended groups for the base line studies of metals in marine

ecosystems [33]. Moreover, Ferdous and Mukhtadir [18] reviewed many studies and recommended that potentiality of zooplankton as bioindicator is very high. However these results of the present study could be considered as basic elementary

information for future investigations. It is important note that, there is an urgent need for a better understanding of background information

on heavy metal concentrations with respect to space and time in the Black Sea.

Table 3 Comparison of heavy metals in mixed zooplankton in this study with previous studies (expressed in $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ dry wt., *= $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ wet wt.) (LOD= Limit of Detection)

Табл. 3 Сравнение концентрации тяжелых металлов в зоопланктоне с данными предыдущих исследований (выражено в $\text{мг} \cdot \text{кг}^{-1}$ сухого веса, *= $\text{мг} \cdot \text{кг}^{-1}$ сырого веса) (LOD=предел определения)

Region	Fe	Zn	Al	Cu	As	Pb	Cd	Hg	References
Sinop	2902	375	778	52	40	210	1.1	<0.05	Present study
Puerto Rico	3600	1285		123		148	16		[25]
North Pacific		61–160					1.66–14.55		[20]
Pacific Ocean						0.15–7.4			[27]
Black Sea*				0.24–17		0.08–21.6			[37]
Black Sea*				2.8–200		3.8–100			[38]
Southern Baltic	160	163		3.5		0.7	1.9		[32]
Gdansk Bay	2263	806		20.5		12.9	1.3		[32]
Barents Sea		108–509		4–9		LOD	0.8–6.3		[40]
Black Sea	17.21–28.2	28–34		9.58–13.54		LOD	0.177–0.55		[8]
Bay of Bengal	1350–50999	175–8162		19.2–89.5		1.4–21.1	8.2–49.4		[33]
Arabian Sea	833–14583	81–1891		3.4–65.5		0.2–23.3	4.4–29.7		[34]
Aegean (Izmir)	682–62593	81.4–2534		26.9–293					[24]
Baltic Sea	12.6–28.7	7.15–65.3	1.73–13.40	0.71–1.2	0.20–0.95	0.01–0.49	0.21–0.6	0.003–0.017	[28]

Conclusion. The current lack of comparable data will make it impossible to measure future trends in contamination heavy metals in zooplankton at the Black Sea coast. However anthropogenic activities and their type of waste in Sinop coast of the Black Sea region were food manufacturing such slaughtering, dairy products, canning of fruits/vegetables/fish, grain mill and bakery products, sugar factories, etc. [4]. However, Bat and Gökkurt Baki [11] showed that the research area of Sinop coasts, affected with intensive land-based pollution and organic matter originating from domestic discharge. Although

some metal levels were found high in zooplankton of the Black Sea coast, Turkey, the level of most often of the heavy metal levels were not extremely enriched in Sinop coast and did not present a serious problem. It is recommended that further investigations would be useful to assess long term effects of anthropogenic inputs on the Black Sea.

Acknowledgments. This work was supported by the Sinop University under Scientific Research Project, grant № SÜF-1901-12-02.

Conflict of interest. The authors declare that they have no conflict of interest.

1. Altaş L., Büyükgüngör H. Heavy metal pollution in the Black Sea shore and offshore of Turkey. *Environmental Geology*, 2007, vol. 52, iss. 3, pp. 469-476.
2. Appeltans W., Bouchet P., Boxshall G.A., Fauchald K., Gordon D., Hoeksema B.W., Poore G.C.B., Van Soest R.W.M., Stöhr S., Walter T.C., Costello M.J. *World Register of Marine Species (WoRMS)*. Available at <http://www.marinespecies.org>. [accessed 2014-06-24].
3. Avsar D. *The biology and population dynamical parameters of the sprat (Sprattus sprattus phalericus Risso) on the southern coast of the Black Sea*. Ph.D. Thesis. Ankara, Turkey: IMS-Middle East Technical University, 1993, 240 p.
4. Bakan G., Büyükgüngör H. The Black Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 2000, vol. 41, iss. 1-6, pp. 24-43.
5. Bakan G., Özkoç H.B., Büyükgüngör H., Ergun O.N., Onar N. Evaluation of the Black Sea and-based sources inventory results of the coastal region of Turkey. In: *Proceedings of the International Workshop on MED & Black Sea ICZM* (1996, Nov. 2-5). Sarigerme, Turkey, 1996, pp. 39-52.
6. Baştürk Ö., Yakushev E., Tuğrul S., Salihoğlu I. Characteristic chemical features and biogeochemical cycles in the Black Sea. In: *Environmental Degradation of the Black Sea. Challenges and Remedies*. Besiktepe S.T., Unluata U., Bologna A.S. (Eds). Springer, Netherlands, 1999, pp. 43-59. (NATO Series Security. Series 2. Environment Security; vol. 56).
7. Bat L., Kideys A., Oguz T., Besiktepe S., Yardim Ö., Gündoğdu A., Üstün F., Satılmış H.H., Sahin F., Birinci-Özdemir Z., Zoral T. Monitoring of basic pelagic ecosystem parameters in the central Black Sea. 2005. Project number: DPT. 2002K120500 (TAP-S013) (in Turkish).
8. Bat L., Gündoğdu A., Yardim Ö., Zoral T., Culha S. Heavy metal amounts in zooplankton and some commercial teleost fish from inner harbour of Sinop, Black Sea. *Su Ürünleri Mühendisleri Derneği Dergisi*, 2006, iss. 25, pp. 22-27. (in Turkish).
9. Bat L., Gökkurt O., Sezgin M., Üstün F., Sahin F. Evaluation of the Black Sea land based sources of pollution the coastal region of Turkey. *The Open Marine Biology Journal*, 2009, vol. 3, pp. 112-124.
10. Bat L., Sezgin M., Satılmış H.H., Sahin F., Üstün F., Birinci-Özdemir Z., Gökkurt-Baki O. Biological diversity of the Turkish Black Sea coast. *Turkish Journal of Fisheries & Aquatic Sciences*, 2011, vol. 11, no. 4, pp. 683-692. doi:10.4194/1303-2712-v11_4_04.
11. Bat L., Gökkurt Baki O. Seasonal variations of sediment and water quality correlated to land-based pollution sources in the middle of the Black Sea coast, Turkey. *International Journal of Marine Science*, 2014, vol. 4, pp. 108-118.
12. Bat L., Özkan E.Y., Öztekin H.C. The contamination status of trace metals in Sinop coast of the Black Sea, Turkey. *Caspian Journal of Environmental Sciences*, 2015, vol. 13, iss. 1, pp. 1-10.
13. Bat L., Özkan E.Y. Heavy metal levels in sediment of the Turkish Black Sea coast. In: Bikarska I., Raykov V., Nikolov N. (Eds) *Progressive Engineering Practices in Marine Resource Management*. Hershey PA: Engineering Science Reference, [2015], chapter 13, pp. 399-419.
14. Beşiktepe S. *Studies on some ecological aspects of copepods and chaetognaths in the southern Black Sea, with particular reference to Calanus euxinus*. Ph.D. Thesis. Ankara, Turkey: IMS-Middle East Technical University, 1998, 204 p.
15. Bradford-Grieve J.M., Markhaseva E.L., Rocha C.E.F., Abiahy B. *Copepoda*. In: D. Boltovskoy (Ed.) *South Atlantic zooplankton*. Leiden: Backhuys Publishers, 1999, pp. 869-1098.
16. Conway D.V.P., White R.G., Hugues-Dit-Ciles J., Gallienne C.P., Robins D.B. Guide to the coastal and surface zooplankton of the south-western Indian Ocean. *Marine Biological Association of the United Kingdom. Occasional Publications*, 2003, no. 15, 354 p.
17. Duman M., Duman S., Lyons T.W., Avcı M., Izdar E., Demirkurt E. Geochemistry and sedimentology of shelf and upper slope sediments of the south-central Black Sea. *Marine Geology*, 2006, vol. 227, iss. 1-2, pp. 51-65.
18. Ferdous Z., Mukhtadir A.K.M. A Review: potentiality of zooplankton as bioindicator. *American Journal of Applied Sciences*, 2009, vol. 6, iss. 10, pp. 1815-1819. doi:10.3844/ajassp.2009.18.15.1819.
19. Gama-Flores J.L., Sarma S.S.S., Nandini S. Effect of cadmium level and exposure time on the competition between zooplankton species *Moina macrocopa* (Cladocera) and *Brachionus calyciflorus* (Rotifera). *Journal of Environmental Science and Health, Part A: Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering*, 2006, vol. 41, iss. 6, pp. 1057-1070. doi: 10.1080/10934520600620287.
20. Hamanaka T., Tsujita T. Cadmium and zinc concentrations in zooplankton in the subarctic region of the North Pacific. *Journal of the Oceanographical Society of Japan*, 1981, vol. 37, iss. 4, pp. 160-172.

21. Harris R.P., Wiebe P.H., Lenz J., Skjoldal H.R., Huntley M. (Eds.). *ICES Zooplankton methodology manual*. Bodmin; Cornwall: Academic Press, 2000, 684 p.
22. Ivanov L., Besiktepe S., Ozsoy E. The Black Sea cold intermediate layer. In: E. Ozsoy, A. Mikaelyan (Eds.). *Sensitivity to change: Black Sea, Baltic Sea and North Sea*. Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1997, pp. 253-264. (NATO Asi Series 2, vol. 27).
23. Ivanov L., Beverton R.J.H. The fisheries resources of the Mediterranean. Part Two: Black Sea. *Etud. Rev. CGPM / Stud. Rev. GFCM*, 1985.
24. Kontas A. Trace metals (Cu, Mn, Ni, Zn, Fe) contamination in marine sediment and zooplankton samples from Izmir Bay (Aegean Sea, Turkey). *Water, Air, & Soil Pollution*, 2008, vol. 188, iss. 1, pp. 323-333. doi:10.1007/s11270-007-9547-1.
25. Martin J.H. The possible transport of trace metals via moulted Copepod exoskeletons. *Limnology & Oceanography*, 1970, vol. 15, iss. 5, pp. 756-761. doi: 10.4319/lo.1970.15.5.0756
26. Mee L.D. The Black Sea in Crisis: A Need for Concerted International Action. *Ambio*, 1992, vol. 21, iss. 4, pp. 278-286.
27. Michaels A.F., Flegal A.R. Lead in marine planktonic organisms and pelagic food webs. *Limnology & Oceanography*, 1990, vol. 35, iss. 2, pp. 287-295.
28. Nfon E., Cousins I.T., Järvinen O., Mukherjee A.B., Verta M., Broman D. Trophodynamics of mercury and other trace elements in a pelagic food chain from the Baltic Sea. *Science of the Total Environment*, 2009, vol. 407, iss. 24, pp. 6267-6274. doi:10.1016/j.scitotenv.2009.08.032.
29. Oğuz T., Aubrey D.G., Latun V.S., Demirov E., Koveshnikov L., Sur H.I., Diaconu V., Beşiktepe S., Duman M., Limeburner R., Eremeev V. Mesoscale circulation and thermohaline structure of the Black Sea observed during HydroBlack'91. *Deep Sea Research Part 1: Oceanographic Research Papers*, 1994, vol. 41, iss. 4, pp. 603-628.
30. Özsoy E., Ünlüata Ü. Oceanography of the Black Sea: A review of some recent results. *Earth-Science Reviews*, 1990, vol. 42, iss. 4, pp. 231-272.
31. Pempkowiak J., Chiffolleau J.-F., Staniszeński A. The vertical and horizontal distribution of selected trace metals in the Baltic Sea of Poland. *Estuarine, Coastal & Shelf Science*, 2000, vol. 51, iss. 1, pp. 115-125.
32. Pempkowiak J., Walkusz-Miotk J., Beldowski J., Walkusz W. Heavy metals in zooplankton from the Southern Baltic. *Chemosphere*, 2006, vol. 62, iss. 10, pp. 1697-1708. doi:10.1016/j.chemosphere.2005.06.056.
33. Rejomon G., Balachandran K.K., Nair M., Joseph T. Trace metal concentrations in marine zooplankton from the western Bay of Bengal. *Applied Ecology & Environmental Research*, 2008a, vol. 6, no. 1, pp. 107-116.
34. Rejomon G., Balachandran K.K., Nair M., Joseph T., Dinesh Kumar P.K., Achuthankutty C.T., Nair K.K.C., Pillai N.G.K. Trace metal Concentrations in zooplankton from the eastern Arabian Sea and western Bay of Bengal. *Environmental Forensics*, 2008b, vol. 9, iss. 1, pp. 22-32. doi:10.1080/15275920701506193.
35. Robin R.S., Muduli P.R., Vardhan K.V., Ganguly D., Abhilash K.R., Balasubramanian T. Heavy metal contamination and risk assessment in the marine environment of Arabian Sea, along the southwest coast of India. *American Journal of Chemistry*, 2012, vol. 2, no. 4, pp. 191-208. doi:10.5923/j.chemistry.20120204.03.
36. Theodosi C., Stavrakakis S., Koulaki F., Stavrakaki I., Moncheva S., Papathanasiou E., Sanchez-Vidal A., Koçak M., Mihalopoulos N. The significance of atmospheric inputs of major and trace metals to the Black Sea. *Journal of Marine Systems*, 2013, vol. 109-110, pp. 78-93.
37. Ünsal M., Bekiroğlu Y., Akdoğan S., Ataç Ü., Kayıkçı Y., Alemdag N., Aktas M., Yıldırım C. Determination of heavy metals in some economically important marine organisms in southwestern Black Sea. 1993. TUBITAK Project No: DEBAG-80/G. (in Turkish).
38. Ünsal M., Doğan M., Ataç Ü., Yemencioglu S., Akdoğan S., Kayıkçı Y., Aktas M. Determination of heavy metals in the marine organisms of economical importance in the central and eastern Black Sea. Report on 1991, Tarım ve Köyisleri Bakanlığı Trabzon Su Ürünleri Arastırma Enstitüsü, 1992. Project No: DEBAG-18/G. (in Turkish).
39. Üstün F. Zooplankton composition and seasonal distribution of Sinop cape in the Black Sea, MSc. of University of Ondokuzmayıs, Inst. Sci. Tech. Samsun., 2005.
40. Zauke G.P., Schmalenbach I. Heavy metals in zooplankton and decapod crustaceans from the Barents Sea. *Science of the Total Environment*, 2006, vol. 359, iss. 1-3, pp. 283-294. doi:10.1016/j.scitotenv.2005.09.002

Поступила 5 октября 2015 г.

Концентрация тяжелых металлов в зоопланктоне у побережья Синопа, Чёрное море, Турция. Л. Бат, Ф. Устюн, Х. К. Оздекин. Оценка уровня загрязнения тяжёлыми металлами морских экосистем является важной задачей деятельности Морской охраны окружающей среды в области Морской стратегии рамочной директивы (MSFD). Работа основана на тотальных сборах зоопланктона, собранных стандартной зоопланктонной сетью (размер ячеи=112 μm , диаметр устья=50 см) в 2011 и 2013 гг. у побережья Синопа, Турция. В пробах определена концентрация Al, As, Cu, Zn, Hg, Fe, Cd и Pb. Средний уровень концентрации тяжелых металлов ранжирован в порядке: $\text{Fe} > \text{Al} > \text{Zn} > \text{Pb} > \text{Cu} > \text{As} > \text{Cd} > \text{Hg}$. Из всех тяжелых металлов концентрация Hg находилась ниже допустимого уровня определения в пробах. Наибольшая концентрация была присуща соединению Fe, присутствие которого отмечено во всех пробах. Следующим по уровню концентрации отмечен Al, так же присутствующий во всех пробах. Высоких значений в тотальных пробах зоопланктона достигала концентрация Pb ($210 \text{ мг} \cdot \text{кг}^{-1}$) и As ($40 \text{ мг} \cdot \text{кг}^{-1}$). Содержание Cd в пробах достигало $1.1 \text{ мг} \cdot \text{кг}^{-1}$.

Ключевые слова: тяжёлые металлы, зоопланктон, копеподы, Чёрное море



УДК 577.121:574.2:594(262.5)

И. В. Головина, канд. биол. наук., ст. н. с.

ФГБУН «Институт морских биологических исследований имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, РФ

ОСОБЕННОСТИ АКТИВНОСТИ ФЕРМЕНТОВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБМЕНА В ТКАНЯХ ЧЕРНОМОРСКИХ МОЛЛЮСКОВ РАЗНОЙ ПОДВИЖНОСТИ В НОРМЕ И ПРИ ПАТОЛОГИИ

Одним из важнейших показателей метаболизма у моллюсков является активность ферментов энергетического обмена – лактатдегидрогеназы (ЛДГ, 1.1.1.27) и малатдегидрогеназы (МДГ, 1.1.1.37), неизменно участвующих в адаптационных перестройках. Целью работы было сравнение активности ферментов энергетического обмена в тканях черноморских моллюсков с различными эколого-физиологическими особенностями. Объектами исследования служили половозрелые особи *Mytilus galloprovincialis*, *Flexopecten glaber ponticus*, *Anadara kagoshimensis* и *Rapana venosa* в нерестовый период. Длина раковины мидии составляла 50–55, анадары – 25–33, рапаны – 50–80, флексопектена – 35–54 мм. Активность ферментов измеряли спектрофотометрически (при 340 нм и 25 °С) по скорости окисления НАД-Н в цитоплазме тканей. Максимальная активность ЛДГ и МДГ у мидии, анадары и рапаны установлена в мышечной ткани, минимальная – в гепатопанкреасе. Уровень активности МДГ в ноге, аддукторе, жабрах и гепатопанкреасе моллюсков-фильтраторов мидии и анадары достоверно выше, чем ЛДГ. Наибольшей активностью МДГ характеризовались ткани устойчивой к гипоксии анадары. Активность ЛДГ и МДГ в однотипных тканях хищного моллюска рапаны существенно не различалась. Показано, что активность ЛДГ в гепатопанкреасе, жабрах и мышечной ткани пропорциональна подвижности вида и увеличивается в ряду мидия–анадара–рапана. У *F. glaber ponticus*, собранного в зоне сброса воды с рисовых чеков и пораженного перфораторами, тканевая специфика активности ЛДГ и МДГ была нарушена, уровень активности ферментов понижен и не соответствовал естественной подвижности вида. Обсуждено состояние здоровья черноморского гребешка, находящегося под угрозой исчезновения в дикой природе.

Ключевые слова: лактатдегидрогеназа, малатдегидрогеназа, *Mytilus galloprovincialis*, *Anadara kagoshimensis*, *Flexopecten glaber ponticus*, *Rapana venosa*, биомаркеры, патология моллюсков, Чёрное море

Моллюски играют важную роль в черноморской экосистеме как составляющие трофических цепей, естественные очистители воды; их раковинный материал служит основой баланса наносов береговой зоны. В целом они отражают состояние «здоровья» водоёма, компоненты которого взаимосвязаны [20, 21, 29]. Флуктуация климатических и антропогенных факторов влияет на численность и биомассу моллюсков, разнообразие нативных и случайно занесённых экзотических видов [7, 8, 25, 27]. При этом следует подчеркнуть, что гораздо чаще привлекают внимание исследователей мидия *Mytilus galloprovincialis*, вселенцы анадара *Anadara kagoshimensis* (ранее *A. cornea/inaequivalvis*) и рапана

Rapana venosa, чем черноморский гребешок *Flexopecten glaber ponticus* [6, 13, 19].

Диагностика состояния гидробионтов в норме и после воздействия негативных факторов успешно осуществляется с помощью биохимических биомаркёров [10, 12, 14]. Определение активности ферментов основных путей окисления углеводов в тканях черноморских рыб разной подвижности дало возможность проследить некоторые механизмы их адаптации к меняющимся условиям среды в различные периоды годового цикла [26].

Одним из важнейших показателей обмена веществ у моллюсков является уровень активности

ферментов энергетического обмена лактат- и малатдегидрогеназы, неизменно участвующих в адаптационных перестройках [6, 24].

Целью настоящей работы было установить особенности активности ферментов энергетического обмена в тканях черноморских моллюсков разной подвижности в нерестовый период.

Материал и методы. Изучали половозрелых особей мидии *Mytilus galloprovincialis* Lamarck, 1819 (Bivalvia: Mytilidae), гребешка *Flexopecten glaber ponticus* (Bucquoy, Dautzenberg & Dollfus, 1889) (Bivalvia: Pectinidae), анадары *Anadara kagoshimensis* (Tokunaga, 1906) (Bivalvia: Arcidae) и рапаны *Rapana venosa* (Valenciennes, 1846) (Gastropoda: Muricidae) в нерестовый период.

Мидия и анадара сняты с мидийных коллекторов на глубине 3 м в бухте Стрелецкая (Севастополь), рапана – с грунта Карантинной бухты на глубине 3 – 4 м (Севастополь), черноморский гребешок собран в акватории заповедно-охотничьего хозяйства Лебяжьей о-ва на глубине 5 м (северный Крым, Каркинитский залив) в 2009 г. Мидия собрана в мае во время весеннего пика размножения. Нерест анадары, рапаны и гребешка приурочен к более высоким летним температурам, эти виды собраны в июле – августе. Состояние гонад моллюсков соответствовало 4 – 5 стадии зрелости. Длина раковины мидии 50–55, анадары – 25 – 33, рапаны – 50 – 80, флексопектена – 35 – 54 мм.

Препарирование тканей, гомогенизацию и центрифугирование проводили при температуре $0 \pm 4^\circ\text{C}$. Активность ферментов определяли в цитоплазме ткани ноги, мускула-замыкателя (аддуктора), жабр и гепатопанкреаса, используя в качестве среды выделения 0.2 М Трис-HCl буфер, pH 7.5 [15]. Активность малатдегидрогеназы (МДГ, 1.1.1.37) и лактатдегидрогеназы (ЛДГ, 1.1.1.27) измеряли спектрофотометрически при длине волны 340 нм по скорости окисления НАД-Н в кварцевой кювете объемом 3 мл при стандартной температуре инкубации 25°C . Содержание белка определяли методом Лоури. Результаты выражены в мкмольх НАД-Н за 1 мин на 1 мг белка супернатанта.

Достоверность различий оценивали с помощью t-критерия Стьюдента, отличия считали статистически значимыми при $p \leq 0.05$, результаты представлены как $\bar{x} \pm Sx$, объем выборочных совокупностей составлял 10–13 особей для каждого вида моллюсков.

Результаты и обсуждение. Активность ЛДГ и МДГ в тканях мидии, анадары и рапаны. Межтканевое распределение активности исследованных ферментов у мидии, анадары и рапаны было одинаковым: максимальная активность ЛДГ и МДГ наблюдалась в ноге, минимальная – в гепатопанкреасе ($p < 0.05$ – 0.001) (рис. 1 – 3). В тканях мидии и анадары активность МДГ (0.1950–0.0180 мкмоль/мин мг) была значительно выше, чем ЛДГ (0.0368–0.0028 мкмоль/мин мг), $p < 0.05$ – 0.001 . Такое соотношение активности ферментов, конкурирующих за цитоплазматический НАДН, позволяет факультативным анаэробам сохранять равновесие внутриклеточного окислительно-восстановительного потенциала во время гипоксии [6, 24].

Величина активности ЛДГ в тканях мидии, анадары и рапаны в период нереста соответствовала подвижности вида (рис. 4).

Минимальная активность ЛДГ установлена в тканях мидии, ведущей, как правило, прикреплённый образ жизни. Активность заключительного фермента гликолиза в ноге, мышце-аддукторе, жабрах и гепатопанкреасе анадары, по сравнению с малоподвижной мидией, в 2–4 раза выше ($p < 0.05$). Анадара по типу питания – фильтратор-сестонофаг, но в отличие от мидии имеет массивную ногу и при необходимости быстро передвигается. У рапаны активность ЛДГ в ноге и гепатопанкреасе в три раза, а в жабрах – в 9 раз выше, чем у мидии ($p \leq 0.05$ – 0.001). Хищная рапана совершает пищевые, нерестовые и сезонные миграции. Питаясь двустворчатыми моллюсками, она наползает на них, мышечным усилием удерживает и раскрывает створки их раковин.

Величина активности ЛДГ в ноге, отражающая потенциальную скорость передвижения моллюсков, у анадары и рапаны одинакова, но по активности фермента в гепатопанкреасе и жабрах рапана превосходит анадару ($p < 0.05$).

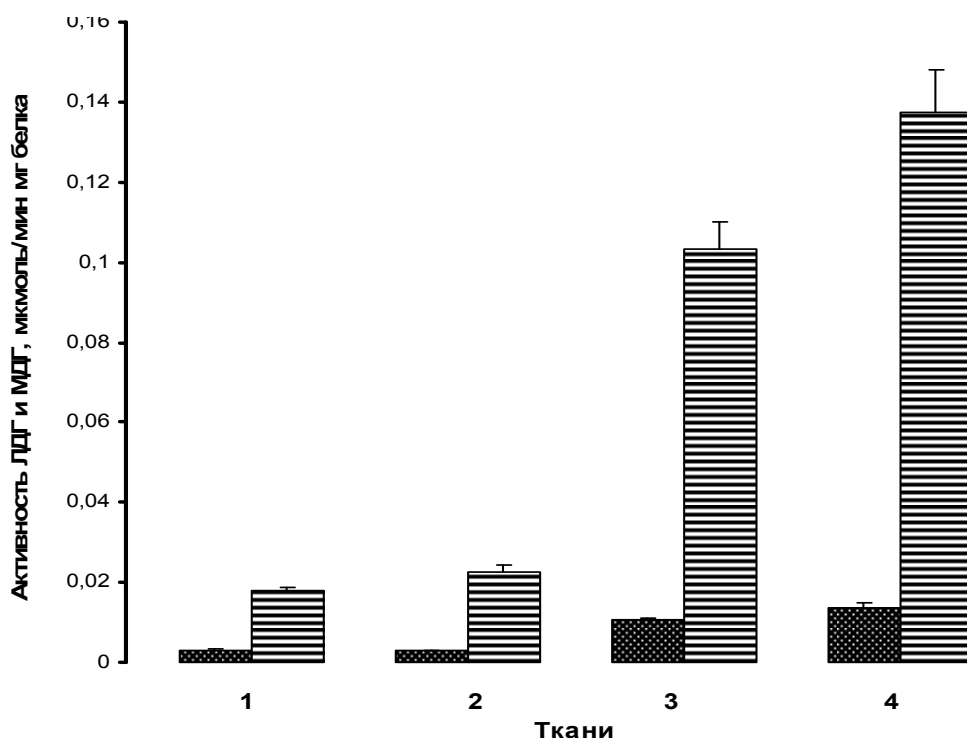


Рис. 1 Активность ЛДГ и МДГ в тканях *Mytilus galloprovincialis*: 1 – гепатопанкреас; 2 – жабры; 3 – аддуктор; 4 – нога

Fig. 1 The activity of LDH and MDH in the tissues of *Mytilus galloprovincialis*: 1 – hepatopancreas; 2 – gills; 3 – adductor; 4 – foot

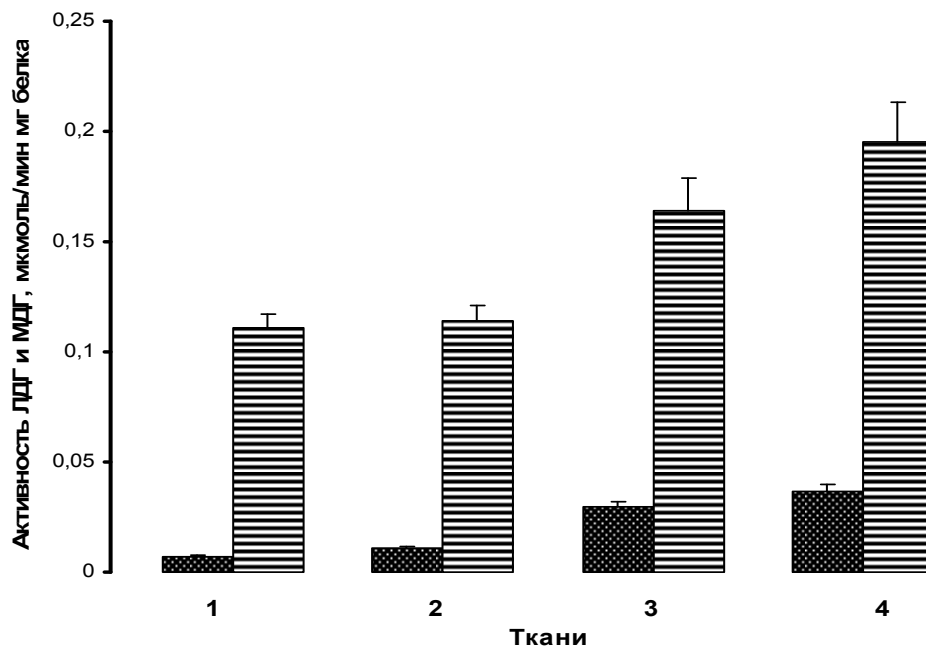


Рис. 2 Активность ЛДГ и МДГ в тканях *Anadara kagoshimensis*: 1 – гепатопанкреас; 2 – жабры; 3 – аддуктор; 4 – нога

Fig. 2 The activity of LDH and MDH in the tissues of *Anadara kagoshimensis*: 1 – hepatopancreas; 2 – gills; 3 – adductor; 4 – foot

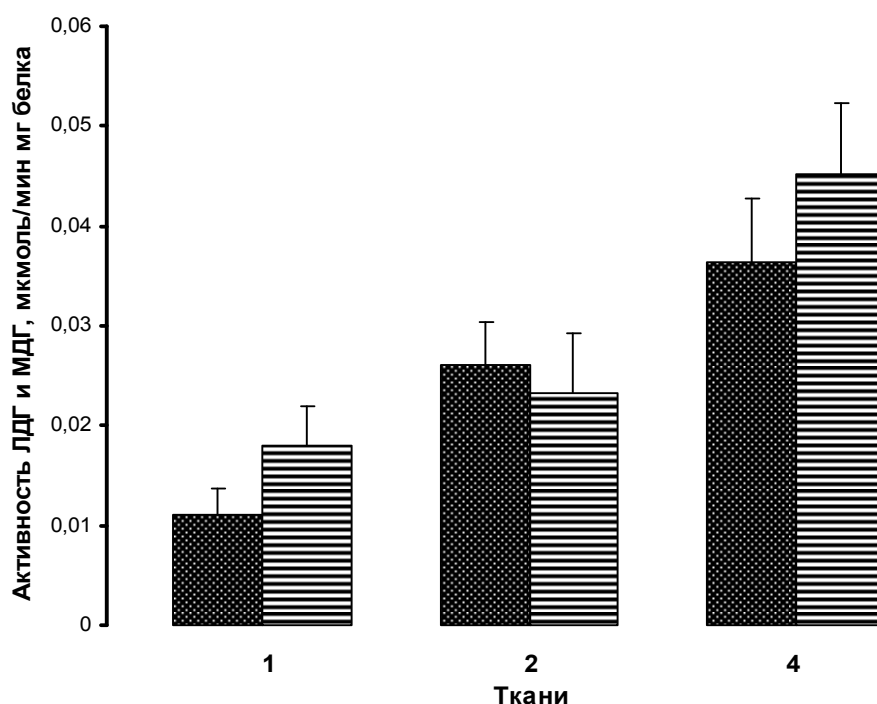


Рис. 3 Активность ЛДГ и МДГ в тканях *Rapana venosa*: 1 – гепатопанкреас; 2 – жабры; 4 – нога
 Fig. 3 The activity of LDH and MDH in the tissues of *Rapana venosa*: 1 – hepatopancreas; 2 – gills; 4 – foot

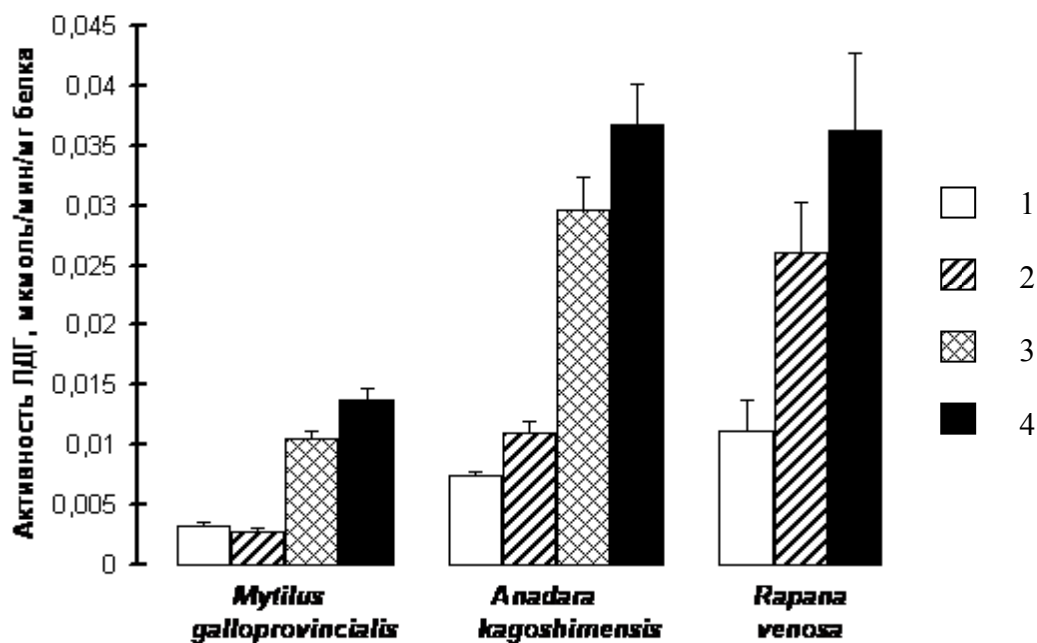


Рис. 4 Активность ЛДГ в тканях моллюсков разной подвижности: 1 – гепатопанкреас; 2 – жабры; 3 – аддуктор; 4 – нога
 Fig. 4 LDH activity in the tissues of molluscs species with different mobility: 1 – hepatopancreas; 2 – gills; 3 – adductor; 4 – foot

Мигрирующему хищнику рапане приходится поддерживать высокий уровень обмена, чтобы обеспечить необходимый уровень двигательной активности как условие выживания. Морские брюхоногие моллюски способны на значительно бóльшую эффективность извлечения кислорода из воды, чем двустворчатые [18]. Вероятно, этим объясняется и сбалансированная активность МДГ и ЛДГ в однотипных тканях рапаны (рис. 3).

У подвижных моллюсков по сравнению с ведущими прикрепленный образ жизни в мышечной ткани наблюдается более высокая активность ЛДГ, амилазы, фосфофорилазы [6]. В частности, у рапаны процесс расщепления мышечного гликогена происходит в 2–3 раза быстрее, чем у мидии. Сопоставление активности ЛДГ брюхоногих моллюсков из озера Байкал показывает, что активность фермента у *Lymnaea stagnalis*, живущей на растениях у поверхности воды, значительно ниже, чем у все-

ядного активного собирателя пищи *Benedictia limnaeoides* [4].

Активность ЛДГ и МДГ в тканях черноморского гребешка. До сих пор в работе мы использовали ткани здоровых и активных особей. К сожалению, после вскрытия раковин черноморского гребешка *Flexopecten glaber ponticus* у всех 44 экз., собранных в районе сброса вод с рисовых чеков в августе 2009 г., были обнаружены патологические изменения внутренних органов: отёк и одинаковый серо-коричневый цвет гепатопанкреаса, жабр, мантии и мышц аддуктора. Кроме того, раковины флексопектенов были перфорированы, что удалось установить только после осмотра просушенных створок напротив источника света.

Биохимический анализ показал, что тканевая специфика активности ферментов гликолиза, характерная для здоровых моллюсков (см. рис. 1 – 3), у флексопектена нарушена (рис. 5).

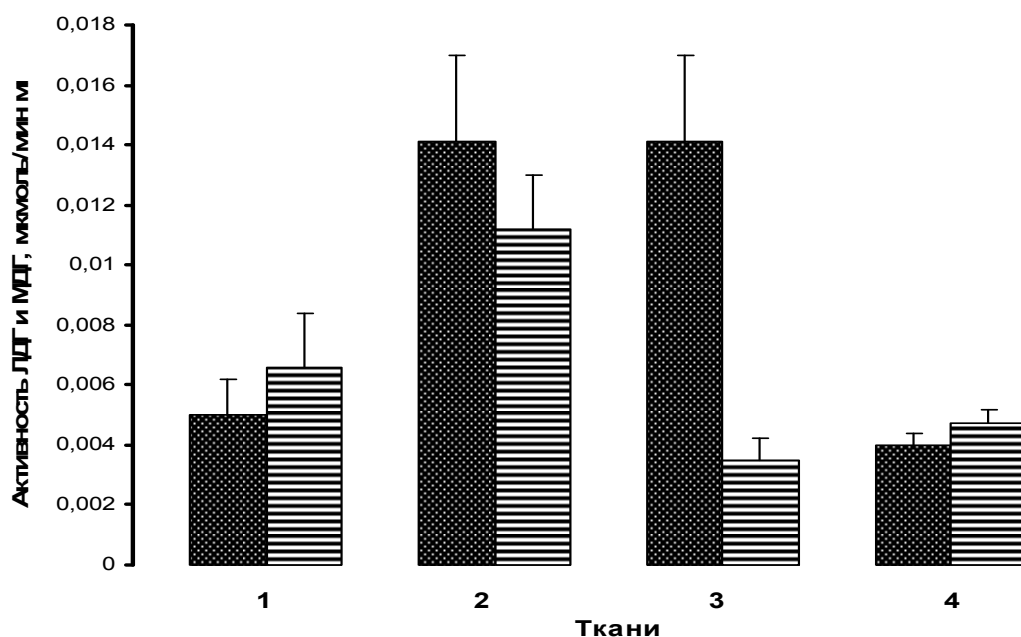


Рис. 5 Активность ЛДГ (■) и МДГ (▨) в тканях *Flexopecten glaber ponticus*: 1 – гепатопанкреас; 2 – жабры; 3 – аддуктор; 4 – нога.

Fig. 5 The activity of LDH and MDH in the tissues of *Flexopecten glaber ponticus*: 1 – hepatopancreas; 2 – gills; 3 – adductor; 4 – foot

Величина активности ЛДГ в ноге не отличалась от таковой в гепатопанкреасе, а в аддукторе была такая же, как в жабрах. Активность МДГ в мышечных тканях была в 2–3 раза ниже, чем в жабрах ($p < 0.001$), и, помимо этого, в аддукторе флексопектена она значительно уступала ЛДГ ($p < 0.001$), что свидетельствовало об истощении адаптационных возможностей. В нормальных условиях свойственная двустворчатым моллюскам низкая активность ЛДГ, заключительного фермента гликолиза, возмещается гораздо более высокой активностью МДГ [6, 24].

В клинической практике активность ЛДГ и МДГ измеряют для сравнения метаболических профилей опухолевой и здоровой клетки. Наиболее часто используется в прогностических целях ЛДГ – важный маркер тканевой деструкции [28]. Определение активности ферментов у гидробионтов также позволяет получить информацию о физиологической норме и дать заключение о состоянии здоровья до появления признаков заболевания и гибели организмов [6, 11, 14, 17].

Flexopecten glaber ponticus – единственный представитель сем. Pectinidae в Чёрном море и самый подвижный среди моллюсков. Он может мигрировать при изменении гидролого-гидрохимических параметров среды и нашествии хищников, совершать «прыжки» высотой 10–15 см, плавать и выполнять характерное движение поворота быстрыми взмахами створок раковины [13]. Двигательная активность гребешка обеспечивается, в основном, крупным мускулом-замыкателем, передний отдел которого состоит из поперечнополосатых мышц, способных к энергичным сокращениям. Нога у взрослых гребешков рудиментарна и не служит для передвижения. Биссусное прикрепление свойственно только молодым, взрослые особи теряют эту способность.

По данным [6], у здорового черноморского гребешка в мышце-аддукторе активность ЛДГ в 4 раза, а в гепатопанкреасе – вдвое выше, чем у мидии. Это единственная работа, содержащая сведения о биохимии черноморского

гребешка. Наши определения показали, что активность ЛДГ в тканях гребешка понижена до уровня активности фермента у малоподвижной мидии, одновременно активность МДГ была в 10 – 40 раз меньше, чем у исследованных мидии, анадары и рапаны.

Угнетение активности ЛДГ и МДГ в тканях *F. glaber ponticus* является, по-видимому, результатом хронической интоксикации обычными для сточных вод рисовых чеков поллютантами (пестицидами, удобрениями), а также паразитарной инвазии. Отёк тела служит наглядным признаком интоксикации моллюсков [3]. Загрязнение естественных водоёмов и болезни изменяют морфофизиологические и биохимические параметры тканей моллюсков. У ослабленных инфекциями, паразитами и другими причинами особей компенсаторный механизм переключения аэробного расщепления гликогена на анаэробный путь выходит из строя быстрее, наступает фаза депрессии, которую сменяет сублетальная [21]. Очевидно, что флексопектен находился на последних стадиях патологического процесса.

При «умеренном» загрязнении среды обитания модификация ферментативной активности у гидробионтов имеет адаптивное значение, в зонах с высокой антропогенной нагрузкой происходит срыв регуляторных систем и необратимые изменения в тканях [14, 23]. Интоксикация металлами влияет на скорость реакций основных путей метаболизма, приводя тем самым к гипоксии и снижению мышечного тонуса у моллюсков, что показано на основании определения активности МДГ, глюкозы-6-фосфатдегидрогеназы, пероксидазы, ЛДГ, эстеразы; при длительном воздействии происходит некроз тканей [11]. Высокая обсеменённость тканей бактериальной и грибной флорой также приводит к дистрофическим и некротическим изменениям в тканях и функциональной недостаточности жизненно важных органов, что установлено для исландского гребешка *Chlamys islandica* [9].

Содержание микотоксинов во внутренних органах дальневосточных гребешков, собранных в загрязнённых биотопах, выше, чем у моллюсков из открытых вод [2].

Помимо прямого отрицательного воздействия загрязняющие вещества и болезни сужают пределы толерантности организмов к естественным факторам среды. Среди исследованных черноморских моллюсков *F. glaber ponticus* наиболее уязвим, поскольку является стенооксифильным и стеногалинным видом. Черноморский гребешок живёт при солёности 16–18 ‰ и не проникает в Азовское море, низкая солёность которого является пороговой для него. В Каркинитском заливе солёность воды в разные сезоны может колебаться от 9 до 16 ‰, к тому же в местах выпуска вод с рисовых чеков на крымском берегу происходило локальное опреснение и заиливание акватории [8, 20].

Устойчивость моллюсков к опреснению и гипоксии во многом зависит от эффективности герметизации мантийной полости, у гребешков она невысока из-за неплотного смыкания створок в области ушек [22]. На примере дальневосточных моллюсков показано, что время выживания мидии и скафарки в пресной воде исчисляется сутками, гребешки погибают в течение нескольких часов [1]. Для гребешка *Mizuhopecten yessoensis* (= *Patinopecten yessoensis*) установлено, что его антиоксидантные ферменты в стрессовых условиях гипоксии/аноксии не способны к усилению или поддержанию активности на необходимом уровне [10]. На поверхности раковины и во внутренних органах приморского гребешка *M. yessoensis* обнаружены 72 вида мицелиальных грибов (многие из которых вызывают микозы и микотоксикозы гидробионтов), у мидии *Mytilus trossulus* – 20 видов, у анадары *Anadara broughtoni* – только 5 [2]. Концентрация гемоглобина, которым принадлежит ведущая роль в защите от инфекционных заболеваний и заражения паразитами, в гемолимфе вселенца *Anadara kagoshimensis* (= *Anadara inaequivalvis*) на порядок выше, чем у черноморских

Chamelea gallina и *Mytilus galloprovincialis* [12]. Анадара и рапана адаптированы к изменению солёности, температуры и содержанию кислорода в широком диапазоне, а также более устойчивы к паразитарной инвазии по сравнению с гребешком, мидией и устрицей [2, 5, 16, 25].

Предполагается, что уменьшение численности гребешка в Чёрном море, равно как мидии и устрицы, произошло не только в результате хищничества рапаны: жертвы уже были ослаблены загрязнением среды обитания, болезнями, снижением иммунитета в результате нахождения вне зоны своего экологического оптимума [16, 19]. Нерациональное природопользование, инфекции моллюсков, накопление в тканях тяжёлых металлов сократили природные популяции гребешка и в Эгейском море [27]. В 2015 г. гребешок *Flexopecten glaber ponticus* внесён в Красную книгу Крыма.

Выводы. 1. Градация тканей по активности ферментов энергетического обмена у моллюсков разного систематического положения и естественной подвижности была одинакова: у мидии *Mytilus galloprovincialis*, анадары *Anadara kagoshimensis* и рапаны *Rapana venosa* максимальная активность ЛДГ и МДГ наблюдалась в мышечной ткани, минимальная – в гепатопанкреасе. Уровень активности МДГ в ноге, аддукторе, жабрах и гепатопанкреасе у двустворчатых моллюсков-фильтраторов мидии и анадары достоверно выше, чем ЛДГ. Активность исследованных ферментов в однотипных тканях хищного брюхоногого моллюска рапаны существенно не различалась. **2.** Установлено, что активность заключительного фермента гликолиза ЛДГ в тканях анадары и рапаны, способных к значительным мышечным нагрузкам, в 2–9 раз выше, чем у малоподвижной мидии. **3.** У черноморского гребешка *Flexopecten glaber ponticus*, обитавшего в зоне сброса воды с рисовых чеков и поражённого перфораторами, тканевая специфика активности ЛДГ и МДГ была нарушена, активность ферментов понижена и не соот-

ветствовала скоростным характеристикам вида. Угнетение активности ферментов энергетического обмена в период нереста у гребешка свидетельствовало о том, что произошли глубокие обменные и функциональные нарушения и адаптационные возможности моллюсков исчерпаны. 4. Активность ферментов энергетического обмена как неспецифический биомаркер дает интегральную картину в усло-

виях нормы и при нарушении метаболизма моллюсков, сравнительный анализ исследованных параметров может быть использован в мониторинговых программах.

Благодарности. Автор искренне благодарит к.б.н., в.н.с. отдела бентоса экологии ИМБИ им. А.О. Ковалевского Н. К. Ревкова за помощь и поддержку в организации и сборе материала по черноморскому гребешку в Каркинитском заливе.

1. Бергер В.Я., Ярославцева Л.М., Ярославцев П.В. Устойчивость к опреснению и эффективность изолирующей реакции некоторых моллюсков Японского моря // *Биология моря*. 1982. № 2. С. 24–28. [Berger V.Ya., Yaroslavtseva L.M., Yaroslavtsev P.V. Resistance to freshening and effectiveness of isolating reaction of of some molluscs from Sea of Japan. *Russian Journal of Marine Biology*, 1982, no. 2, pp. 24–28. (in Russ.)]
2. Борзых О.Г., Зверева Л.В. Микобиота двустворчатого моллюска *Anadara broughtoni* (Schrenck, 1867) (Bivalvia: Arcidae) из залива Петра Великого Японского моря // *Биология моря*. 2015. Т. 41, № 4. С. 290–291. [Borzykh O.G., Zvereva L.V. Mycobiota of the bivalve mollusk *Anadara broughtoni* (Schrenck, 1867) from various parts of Peter the Great Bay, Sea of Japan. *Russian Journal of Marine Biology*, 2015, vol. 41, iss. 4, pp. 321–323.]
3. Бурковский А.Л. Исследование нарушений морфологических и функциональных показателей у гидробионтов как основа биологического контроля сточных вод : автореф. дис. ... канд. биол. наук. Москва, 1984. 23 с. [Burkovskii A.L. *Issledovanie narushenii morfologicheskikh i funktsional'nykh pokazatelei u gidrobiontov kak osnova biologicheskogo kontrolya stochnykh vod*: avtoref. diss. kand. biol. nauk. Moscow, 1984, 24 p. (in Russ.)]
4. Верещагина К.П., Лубяга Ю.А., Гурков А.Н., Шапова Е.П., Мадьярова Е.В., Кондратьева Е.М., Голубев А.П., Тимофеев М.А., Аксенов-Грибанов Д.В. Активность ферментов антиоксидантной защиты и анаэробного гликолиза в условиях температурного градиента у палеарктического *Lymnaea stagnalis* // *Журнал стресс-физиологии и биохимии*. 2013. Т. 9, № 4. С. 339–344. [Vereshchagina K.P., Lubyaga Yu.A., Gurkov A.N., Shchapova E.P., Madyarova E.V., Kondrat'eva E.M., Golubev A.P., Timofeyev M.A., Aksenov-Gribanov D.V. The activity of antioxidant and anaerobic glycolysis enzymes under thermal gradient exposure in palearctic species *Lymnaea stagnalis*. *Journal of Stress Physiology & Biochemistry*, 2013, vol. 9, no. 4, pp. 339–344. (in Russ.)]
5. Гаевская А. В. *Паразиты, болезни и вредители мидий (Mytilus, Mytilidae). II. Моллюски (Mollusca)*. Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2006. 100 с. [Gaevskaya A.V. *Parazity, bolezni i vrediteli midii (Mytilus, Mytilidae). II. Mollyuski (Mollusca)*. Sevastopol: EKOSI-Gidrofizika, 2006, 100 p. (in Russ.)]
6. Горомосова С.А., Шапиро А.З. *Основные черты биохимии энергетического обмена у мидий*. Москва : Легкая и пищевая промышленность, 1984. 120 с. [Goromosova S.A., Shapiro A.Z. *Osnovnye cherty biokhimii energeticheskogo obmena u midii*. Moscow: Legkaya i pishchevaya promyshlennost, 1984, 120 p. (in Russ.)]
7. Заика В.Е., Сергеева Н.Г., Колесникова Е.А. Вселенцы в донной макрофауне Чёрного моря: распространение и влияние на сообщества бентали // *Морской экологический журнал*. 2010. Т. 9, № 1. С. 5–22. [Zaika V.E., Sergeeva N.G., Kolesnikova E.A. Alien species in bottom macrofauna of the Black Sea: their distribution and influence on benthic communities. *Morskoi Ecologicheskii Zhurnal*, 2010, vol. 9, no. 1, pp. 5–22. (in Russ.)]
8. Зайцев Ю.П. *Введение в экологию Чёрного моря*. Одесса : «Эвен», 2006. 224 с. [Zaitsev Yu.P. *Introduction in the Ecology of the Black Sea*. Odessa: «Even», 2006, 224 p.]
9. Золотарев П.Н., Карасева Т.А. Патологии у исландского гребешка (*Chlamys islandica*) Баренцева моря: основные характеристики и распространение // *VII Всерос. конф. по промысловым беспозвоночным* : тез. докл. Москва, 2006. С. 235–237. [Zolotarev P.N., Karaseva T.A. Patologii u islandskogo grebeshka (*Chlamys islandica*) Barentseva morya: osnovnye kharakteristiki i rasprostranenie // *VII Vseros. conf.*

- po promyslovym bespozvonochnym : tez. dokl. Moscow: VNIRO, 2006, pp. 235–237.]
10. Истомина А.А., Довженко Н.В., Бельчева Н.Н., Челомин В.П. Активность антиоксидантных ферментов у разных видов моллюсков в условии гипоксии/аноксии // *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2011. Т. 13, № 1 (5). С. 1106–1108. [Istomina A.A., Dovzhenko N.V., Belcheva N.N., Chelomin V.P. Activity of antioxidant enzymes at different kinds of molluscs in the hypoxia/anoxia condition. *Proceedings of the Samara scientific center of the Russian academy of sciences*, 2011, vol 13, no. 1 (5), pp. 1106–1108. (in Russ.)]
 11. Канатьева Н.С. Влияние интоксикации кадмием на состояние органов и тканей пресноводных моллюсков (на примере *Anodonta piscinalis*): автореф. дис. ... канд. биол. наук. Москва, 2001. 23 с. [Kanat'eva N.S. Vliyanie intoksikatsii kadmiem na sostoyanie organov i tkanei presnovodnykh mollyuskov (na primere *Anodonta piscinalis*): avtoref. diss. ... kand. biol. nauk. Moscow, 2001, 23 p.]
 12. Колыучкина Г.А. Биомаркеры воздействия загрязнений на двустворчатых моллюсков Северо-Кавказского побережья Чёрного моря: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Москва, 2009. 27 с. [Kolyuchkina G.A. Biomarkery vozdeistviya zagryaznenii na dvustvorchatykh mollyuskov Severo-Kavkazskogo poberezh'ya Chernogo morya: avtoref. diss. ...kand. biol. nauk. Moscow, 2009, 27 p.]
 13. Кракатица Т.Ф. Распределение и запасы гребешка *Pecten ponticus* B.D. et D. (Mollusca, Bivalvia) в Чёрном море // *Зоологический журнал*. 1972. Т. 51, вып. 1. С. 136–138. [Kratitsa T.F. Distribution and resources of scallop *Pecten ponticus* B.D. et D. (Mollusca, Bivalvia) in the Black Sea. *Zoologicheskyy zhurnal*, 1972, vol. 51, iss. 1, pp. 136–138. (in Russ.)]
 14. Маляревская А.Я. Биохимические механизмы адаптации гидробионтов к токсическим веществам // *Гидробиологический журнал*. 1985. Т. 21, № 3. С. 70–82. [Malyarevskaya A.Yu. Biochemical mechanisms of hydrobiont adaptation to toxic substances: review. *Hydrobiological journal*, 1983, vol. 21, no. 3, pp. 70–82. (in Russ.)]
 15. Мильман Л.С., Юровецкий Ю.Г., Ермолаева Л.П. Определение активности важнейших ферментов углеводного обмена // *Методы биологии развития*. Москва, 1974. С. 346–364. [Mil'man L.S., Yurovetskii Yu.G., Ermolaeva L.P. Opredelenie aktivnosti vazhneishikh fermentov uglevodnogo obmena. In: *Metody biologii razvitiya*. Moscow: Nauka, 1974, pp. 346–364. (in Russ.)]
 16. Переладов М.В. Современное состояние популяции и особенности биологии рапаны (*Rapana venosa*) в северо-восточной части Чёрного моря // *Труды ВНИРО*. 2013. Т. 150. С. 8–20. [Pereladov M.V. Modern status and biological aspects of Veined Rapa Whelk (*Rapana venosa*) in the North-East Black Sea. *Trudy VNIRO*, 2013, vol. 150, pp. 8–20. (in Russ.)]
 17. Пронина Г.И., Корягина Н.Ю. Некоторые видовые особенности физиологической и иммунной системы речных раков // *Физиология адаптации : материалы I Всерос. науч. конф.* (Волгоград, 7–10 октября 2008 г.). Волгоград, 2008. С. 99–104. [Pronina G.I., Koryagina N.Yu. Nekotorye vidovye osobennosti fiziologicheskoi i immunnoi sistemy rechnykh rakov. In: *Fiziologiya adaptatsii: materialy I Vseros. nauch. conf.* (Volgograd, 7–10 Oct. 2008). Volgograd, 2008, pp. 99–104.]
 18. Проссер Л. Сравнительная физиология животных. Т. 1. Москва : Мир, 1977. 609 с. [Prosser L. *Comparative Animal Physiology*. Vol. 1. Moscow: Mir, 1977, 609 p. (in Russ.)]
 19. Ревков Н.К. Макрозообентос украинского шельфа Чёрного моря // *Промысловые биоресурсы Чёрного и Азовского морей* / ред. В.Н. Еремеев, А.В. Гаевская, Г.Е. Шульман, Ю.А. Загородняя. Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2011. С. 140–162. [Revkov N.K. Makrozoobentos ukrainskogo shel'fa Chernogo morya. In: *Biological resources of the Black Sea and Sea of Azov*. Eremeev V.N., Gaevskaya A.V., Shulman G.E., Zagorodnyaya Yu.A. (Eds.). Sevastopol: EKOSI-Gidrofizika, 2011, pp. 140–162. (in Russ.)]
 20. Романенко В.Д. Основы гидроэкологии. Киев : Генеза, 2004. 664 с. [Romanenko V.D. *Osnovy gidroekologii*. Kiev: Geneza, 2004, 664 p. (in Russ.)]
 21. Стадниченко А.П. Малакотоксикологія, її завдання та основні проблеми // *Вісник Житомирського державного університету ім. І. Франка*. 1998. № 1. С. 97–100. [Stadnichenko A.P. Malakotoksykologija, ii' zavdannja ta osnovni problemy. *Zhytomyr Ivan Franko State University Journal*, 1998, no. 1, pp. 97–100.]
 22. Супрунович А.В., Макаров Ю.Н. Культивируемые беспозвоночные. Пищевые беспозвоночные: мидии, устрицы, гребешки, раки, креветки. Киев : Наукова думка, 1990. 264 с. [Suprunovich A.V., Makarov Yu.N. Kul'tiviruemye bespozvonochnye. Pishchevye bespozvonochnye: midii, ustritsy, grebeshki, raki, krevetki. Kiev: Naukova dumka, 1990, 264 p. (in Russ.)]
 23. Ушева Л.Н., Ващенко М.А., Дуркина В.Б. Гистопатология пищеварительной железы двустворчатого моллюска *Crenomytilus grayanus*

- (Dunker, 1853) из юго-западной части залива Петра Великого Японского моря // *Биология моря*. 2006. Т. 32, № 3. С. 197–203. [Usheva L.N., Vaschenko M.A., Durkina V.B. Histopathology of the digestive diverticula of the bivalve *Crenomytilus grayanus* (Dunker, 1853) from southwestern Peter the Gray Bay (Sea of Japan). *Biologiya morya*, 2006, vol. 32, no. 3, pp. 197–203. (in Russ.)]
24. Хочачка П., Сомеро Дж. *Биохимическая адаптация*. Москва : Мир, 1988. 568 с. [Hochachka P.W., Somero G.N. *Biochemical Adaptation*. Moscow: Mir, 1988, 568 p. (in Russ.)]
 25. Чикина М.В. Макрозообентос рыхлых грунтов Северо-Кавказского побережья Чёрного моря: пространственная структура и многолетняя динамика: автореф. дис. ...канд. биол. наук. Москва, 2009. 25 с. [Chikina M.V. Makrozoobentos rykhlykh gruntov Severo-Kavkazskogo poberezh'ya Chernogo morya: prostranstvennaya struktura i mnogoletnyaya dinamika: avtoref. diss. ...kand. biol. nauk. Moscow, 2009, 25 p.]
 26. Эмеретли И.В., Русинова О.С. Активность ферментов основных путей окисления углеводов в тканях рыб // *Гидробиологический журнал*. 2001. Т. 37, №1. С. 79–87. [Emeretli I.V., Rusinova O.S. Activity of enzymes of the main pathways in fish tissues. *Hydrobiological journal*, 2001, vol. 37, no. 1, pp. 79–87. (in Russ.)]
 27. Koutsoubas D., Galinou-Mitsoudi S., Katsanevakis S., Leontarakis P., Metaxatos A., Zenotes A. Bivalve and Gastropod Molluscs of Commercial Interest for Human Consumption in the Hellenic Seas. In: *State of Hellenic Fisheries*. Athens: HCMR Publ., 2007, chapter II.5, pp. 70–84.
 28. Rovcanin B.R., Kekic D.Lj., Radenkovic S., Gopcevic K. Use of enzymatic parameters in diagnosing ductal and lobular breast carcinoma. *Journal of Biomedical & Clinical Research*, 2011, vol. 4, no. 1, pp. 30–36.
 29. Shadrin N.V. Coupling of Shoreline Erosion and Biodiversity Loss: Examples from the Black Sea. *International Journal of Marine Science*, 2013, vol. 3, no.43, pp. 352–360.

Поступила 10 октября 2015 г.

Peculiarities of energy metabolism enzymes activity in tissues of Black Sea molluscs of different mobility in norm and at pathology. I. V. Golovina. One of the most important indicators of metabolism in molluscs is the activity of energy metabolism enzymes – lactate dehydrogenase (LDH, 1.1.1.27) and malate dehydrogenase (MDH, 1.1.1.37), consistently participating in adaptive reorganizations. The aim of this study was to compare the activity of energy metabolism enzymes in the tissues of Black Sea molluscs with different ecological and physiological characteristics. The objects of research were adult molluscs *Mytilus galloprovincialis*, *Flexopecten glaber ponticus*, *Anadara kagoshimensis* and *Rapana venosa* in the spawning period. Mussel shell length was 50 - 55 mm, anadara – 25 - 33 mm, rapa whelk – 50 - 80 mm, scallop – 35 - 54 mm. The enzyme activity was measured spectrophotometrically (at 340 nm and 25 °C) by the rate of NADH oxidation in the cytoplasm of tissues. The maximum activity of LDH and MDH from mussel, anadara and rapa whelk was found in muscle tissue, the minimum – in hepatopancreas. The level of MDH activity in the foot, adductor, gills and hepatopancreas of mussel and anadara, which are filter-feeders, significantly higher than LDH. The highest MDH activity was found in tissues of hypoxia-resistant clam anadara. The LDH and MDH activity in similar tissues of predatory rapa whelk was not substantially different. It was shown that LDH activity in hepatopancrease, gills and muscle tissue is proportional to the mobility of species and increases in the number of mussel–anadara–rapana. In the tissues of *Flexopecten glaber ponticus*, collected in the zone of water with the rice fields and affected perforators, tissue specificity of LDH and MDH activity was broken, the enzyme activity level lowered and did not match the natural mobility of the species. The health status of the Black Sea scallop, standing before the risk of extinction in the wild, has been discussed.

Key words: lactate dehydrogenase, malate dehydrogenase, *Mytilus galloprovincialis*, *Anadara kagoshimensis*, *Rapana venosa*, *Flexopecten glaber ponticus*, biomarkers, pathology of molluscs, Black Sea



Г. В. Зуев, докт. биол. наук, зав. отд., В. А. Бондарев, вед. инж., Ю. В. Самотой, вед. инж.

ФГБУН «Институт морских биологических исследований имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, РФ

ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ
РАЗМЕРНО-ВОЗРАСТНОЙ СТРУКТУРЫ ЧЕРНОМОРСКОГО ШПРОТА
SPRATTUS SPRATTUS PHALERICUS (RISSE) (PISCES, CLUPEIDAE)
И ЕГО ВНУТРИВИДОВАЯ ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ

Исследования внутривидовой дифференциации черноморского шпрота *Sprattus sprattus phalericus* являются основой для научного обоснования рационального использования его ресурсного потенциала. Данная работа посвящена изучению пространственной изменчивости размерно-возрастной структуры шпрота как популяционно-специфического показателя, отражающего его внутривидовую биологическую структурированность. В работе использованы наряду с собственными данными материалы Научно-Технического и Экономического Комитета по Рыболовству (STECF) Европейской Комиссии. Впервые установлены различия многолетней (2007 – 2012) динамики и межгодовой изменчивости размерно-возрастной структуры шпрота в разных географических регионах Чёрного моря (прибрежные воды Крыма, Болгарии и Румынии, Турции). Показано, что основным фактором, определяющим межрегиональную биологическую разнокачественность шпрота, являются разные условия его эксплуатации, что ставит под сомнение концепцию единого промыслового запаса.

Ключевые слова: шпрот, размерно-возрастная структура, численность, изменчивость, неоднородность, промысел, Чёрное море

Черноморский шпрот *Sprattus sprattus phalericus* (Risso) – один из наиболее массовых видов рыб в Азово-Черноморском бассейне. Благодаря своей многочисленности, играет исключительно важную роль в экосистеме моря, являясь промежуточным звеном между зоопланктоном и представителями высшего трофического уровня – крупными хищными рыбами, дельфинами и птицами. В то же время шпрот относится к числу важных промысловых объектов всех причерноморских стран, устойчиво занимая в последние десятилетия второе место по объёму вылова после хамсы. Основные добывающие страны – Турция и Украина. В 2011 г. общий вылов черноморского шпрота превысил 120 тыс. т, из которых более 72 % пришлось на долю Турции [13].

В настоящее время промысловый запас черноморского шпрота принято считать единым, что фактически исключает принципиальную возможность его перелома. Вместе с тем, серьезных

аргументов в пользу данной концепции в научной литературе не существует, что не случайно, поскольку данным вопросом никто специально не занимался. В то же время можно отметить, что авторы, придерживающиеся данной концепции, одновременно с этим приводят факты, ей противоречащие. В частности, из доклада «Комиссии по защите Чёрного моря от загрязнения» следует, что снижение среднего вылова на единицу промыслового усилия и абсолютной величины вылова шпрота в водах Болгарии и Румынии в 2006 - 2007 гг. было связано со слишком высоким уровнем промыслового пресса на популяцию [18]. Тем самым допускается возможность локального перелома. Кстати, о существовании связи между интенсивностью эксплуатации черноморского шпрота и колебаниями его запаса (биомассы), означающей возможность непосредственного воздействия промысла на состояние популяции, было известно и раньше: «since 1988, the sharp decline of sprat biomass was

accompanied by fishing mortality increase in 1989 owing to the high fishing effort and catch in the sprat fishery of the former USSR» [14]. В свою очередь, вопрос о локальном перелове неразрывно связан с вопросом структурированности промыслового запаса, а соответственно, и внутривидовой неоднородности, то есть возможности существования пространственно обособленных биологически разнородных самовоспроизводящихся образований (популяций) шпрота.

Цель настоящего исследования: с позиции биологической (популяционной) концепции вида изучить пространственную изменчивость размерно-возрастной структуры черноморского шпрота как важного интегрального популяционно-специфического показателя, отражающего его внутривидовую неоднородность.

Материал и методы. Материалом для работы послужили результаты собственных исследований, литературные сведения и официальные материалы ежегодных отчётов Научно-Технического и Экономического Комитета по Рыболовству (STECF) Европейской Комиссии за 2008 – 2013 гг. [8, 9, 13, 15, 16, 17].

Районы исследований включали прибрежные воды Болгарии и Румынии (западный регион), шельф Крыма от м. Тарханкут до м. Меганом (крымский регион) и прибрежные воды Турции в районе Синоп - Самсун (южный регион) (рис. 1). Период исследований 2007 – 2012 гг. Сбор проб производился на промысловых судах с помощью разноглубинных тралов. Во всех расчётах принята общая (абсолютная) длина (TL), выраженная в см. Точность измерения 0.1 см. Результаты измерений группировали по размерным

классам с интервалами длины 0.5 см. Возраст рыб определяли по отолитам.

Для сравнительной оценки степени региональных различий размерной структуры использован экспресс-метод ФЛАМЕНКО [4], в котором в качестве меры различия используется число DK, рассчитываемое по формуле:

$$DK_{ab} = \sum_{i=1}^n |x_i(a) - x_i(b)| \cdot 100\%$$

где: n – количество сравниваемых параметров (размерных классов); x_i – значение относительной численности разных размерных классов; a и b – сравниваемые регионы.

В случае $DK > 60\%$, различия между сравниваемыми совокупностями признаются значительными; при $40\% < DK < 60\%$ различия слабые, и при $DK < 40\%$ различия отсутствуют.

Средний возраст шпрота из разных районов определяли как среднее взвешенное значение возрастных групп в соответствии с выражением:

$$\bar{A} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i \cdot A_i}{100}$$

где: $\bar{A}$ – средний возраст, годы; x_i – относительная (в процентах) численность i -го поколения; A_i – возраст (в годах) i -го поколения; n – общее количество поколений.

Рис. 1 Карта-схема районов исследования шпрота: 1 – крымский регион, 2 – западный регион, 3 – южный регион

Fig. 1 Scheme of researched areas of sprat: 1 – Crimean region, 2 – western region, 3 – southern region



Результаты и обсуждение. Пространственная изменчивость размерной структуры.

Для изучения размерной структуры использованы следующие показатели:

- распределение численности особей разных размерных классов;
- крайние размеры (абсолютная длина) особей;
- средняя длина особей;
- модальные размеры, количество и относительная численность модальных размерных классов;

На рис. 2 представлены усреднённые за соответствующие периоды исследований в каждом регионе вариационные кривые распределения шпрота по длине.

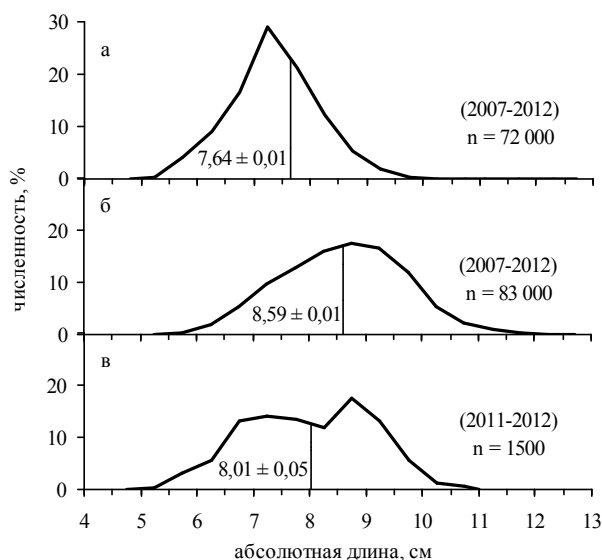


Рис. 2 Размерная структура черноморского шпрота: а – крымский регион; б – западный регион; в – южный регион. Выделены модальные размерные классы.

Fig. 2 The size structure of the Black Sea sprat: а – Crimean region ; б – Western region ; в – Southern region

Кривая распределения шпрота в крымском регионе в 2007-2012 гг. унимодальная, с острой вершиной, резко асимметричная. Мода смещена в левую половину размерного ряда,

крайние пределы которого составляют 4.8 и 12.3 см (рис. 2 а). Модальный размерный класс включает особей длиной 7.0 - 7.4 см, его относительная численность 29.2 %. Средняя длина шпрота 7.64 ± 0.1 см.

Кривая распределения шпрота в западном регионе в 2007 – 2012 гг. также унимодальная, но в отличие от таковой в крымском регионе имеет куполообразную форму (рис. 2 б). Мода находится почти в середине размерного ряда, предельные размеры которого варьируют от 5.0 до 12.6 см. Модальный размерный класс представлен особями длиной 8.5 – 8.9 см и составляет 17.4 %. Средняя длина шпрота 8.59 ± 0.01 см.

Кривая распределения шпрота в южном регионе в 2011 – 2012 гг. заметно отличается от двух предыдущих (рис. 2 в). Она имеет бимодальную форму, с двумя вершинами. Модальные размерные классы 7.0 – 7.4 см и 8.5 – 8.9 см. Их численность 14.1 и 17.6 %, соответственно. Крайние размеры шпрота 4.5 и 11.0 см, средняя длина 8.01 ± 0.05 см.

Для сравнительной оценки степени региональных различий размерной структуры шпрота в соответствии с экспресс-методом ФЛАМЕНКО (см. Материалы и методы) в пределах размерного ряда были выделены 4 размерные группы особей: шпрот мелкий (TL < 6.5 см), средний (TL = 6.5 – 8.4 см), крупный (TL = 8.5 – 10.4 см) и очень крупный (TL > 10.4 см) (табл. 1). По результатам попарного сравнения разных регионов было установлено, что по данному показателю крымский шпрот значительно отличается как от западного (DK=93.8 %), так и южного (DK= 61.0) шпрота, тогда как различия между шпротом из западного и южного регионов фактически отсутствуют (DK = 32.4 %).

Нами изучены также межгодовые изменения размерной структуры шпрота в каждом регионе (рис. 3, 4, 5).

В крымском регионе (рис. 3) кривые распределения во все годы (2007 – 2012) оставались однотипными – унимодальными, сохра-

Абсолютная длина, см	Относительная численность, %		
	крымский (2007 – 2012)	западный (2007 – 2012)	южный (2011 – 2012)
< 6.5 (мелкий)	13.2	2.2	9.1
6.5-8.4 (средний)	79.3	43.4	52.7
8.5-10.4 (крупный)	7.4	51.1	37.7
> 10.4 (очень крупный)	0.1	3.3	0.5

Табл. 1 Относительная численность представителей разных размерных классов шпрота в разных регионах Чёрного моря
Table 1 Relative number of different size class representatives of sprat in different regions of the Black Sea

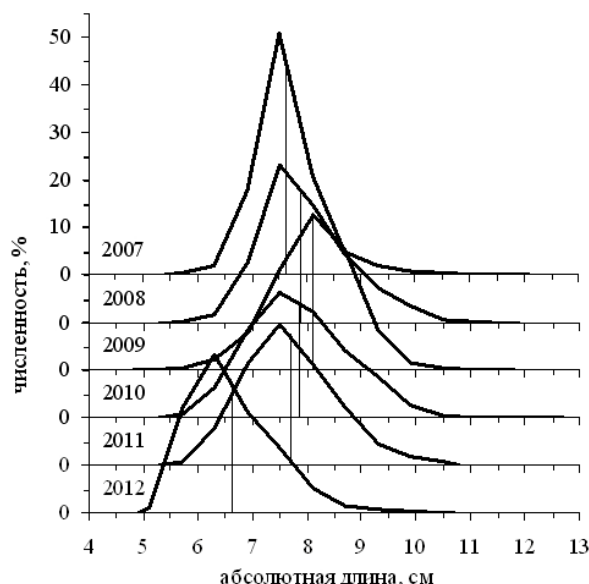


Рис. 3 Межгодовая изменчивость размерной структуры шпрота в крымском регионе
Fig. 3 Interannual variability of size structure of sprat in the Crimean region

няющими островершинность (25 – 50 % численности), свидетельствуя тем самым о явном и постоянном доминировании в регионе представителей одной группы близких по размерам особей. Однако, если в 2007 – 2011 гг. средние размеры сохранялись относительно постоянными (в пределах 7.62 – 8.11 см), не испытывая сколько-нибудь заметных межгодовых флуктуаций, то в 2012 г. произошло их заметное уменьшение до 6.62 см.

Совершенно иной характер межгодовой изменчивости размерной структуры шпрота в 2007 – 2012 гг. имел место в западном регионе (рис. 4). Как видно, форма кривых распределения в разные годы изменялась от уни- до бимодальных, свидетельствующих о межгодовых изменениях числа модальных размерных клас-

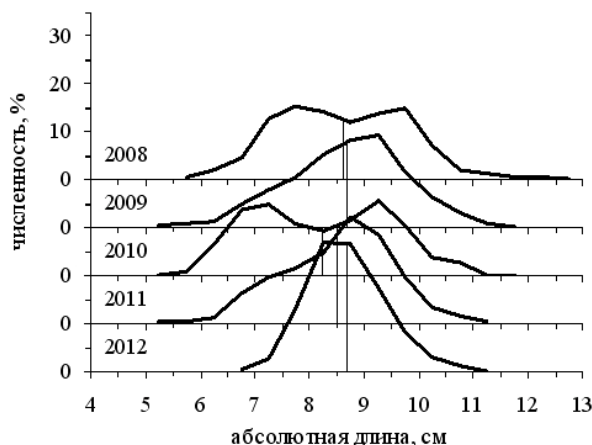


Рис. 4 Межгодовая изменчивость размерной структуры шпрота в западном регионе
Fig. 4 Interannual variability of size structure of sprat in the Western region

сов. Вместе с тем, в многолетнем плане на фоне межгодовых изменений числа модальных размеров и их соотношения средняя длина шпрота сохранялась практически постоянной (8.52 – 8.84 см).

В южном регионе, к сожалению, данные о межгодовых изменениях размерной структуры шпрота ограничены лишь 2011 и 2012 гг. (рис. 5).

Тем не менее, их значение нельзя недооценивать, поскольку сведения о состоянии популяции шпрота в турецких водах остаются исключительно скудными. Судя по общей форме кривых распределения, размерная структура в целом за два года претерпела вполне определённые изменения. На фоне сохранения бимодальности уменьшились размеры представителей первой (младшей) модальной группы особей (с 7.0 – 7.4 до 6.4 – 6.9 см),

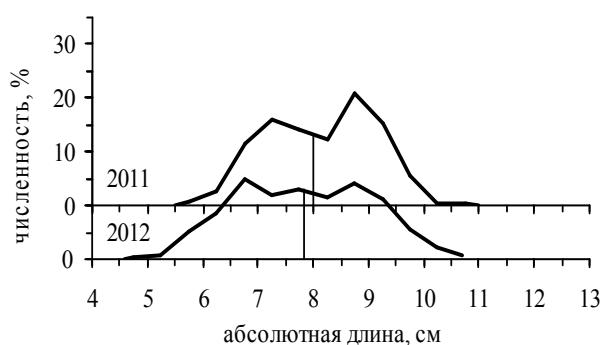


Рис. 5 Межгодовая изменчивость размерной структуры шпрота в южном регионе

Fig. 5 Interannual variability of size structure of sprat in the Southern region

а также произошло перераспределение численности модальных групп в сторону довольно заметного (с 21.0 до 14.3 %) снижения доли представителей второй (старшей) модальной размерной группы. В результате средняя длина шпрота уменьшилась с 8.0 до 7.84 см. Предположительно, эти изменения могли быть связаны с исключительно высокими уловами шпрота Турцией в предыдущие три (2009, 2010 и 2011) года [9]. В пользу данной версии свидетельствует более чем 7-кратное сокращение турецкого вылова в 2012 г. – с 87141 до 12092 т, сопровождавшееся не менее резким (5.6 раза) снижением эффективности промысла (величиной вылова на час траления). Таким образом, согласно полученным результатам, характер межгодовых изменений размерной структуры шпрота во всех трёх регионах был различным по всем показателям.

Пространственная изменчивость возрастной структуры шпрота. Наряду с размерной изучали возрастную структуру шпрота в разных регионах. Для этой цели использовали такие показатели, как число разных возрастных групп (поколений), соотношение численности разных поколений и средний возраст. Индивидуальный возраст определяли с помощью отолитов. Относительную численность представителей разных возрастных групп (годовых классов) рассчитывали с помощью размерно-

возрастного ключа (табл. 3), который был разработан на основе результатов собственных исследований и верифицирован с помощью заслуживающих доверия данных о росте шпрота в разных регионах Чёрного моря в разное время (табл. 4). Согласно данному размерно-возрастному ключу (табл. 4), средние и крайние значения абсолютной длины шпрота в возрасте 6, 12, 24, 36 и 48 мес. приняты равными 5.75 (4.0 – 7.5); 8.0 (6.5 – 9.5); 10.0 (8.5 – 11.5); 11.25 (10.0 – 13.0) и 12.0 (10.5 – 13.5) см, соответственно. Средний возраст шпрота определяли как средневзвешенное значение возрастных классов (поколений) (см. Материал и методы).

Результаты изучения возрастного состава и возрастной структуры шпрота в крымском, западном и южном регионах представлены в табл. 5. Как видно, в общей сложности у крымского побережья в 2007 – 2012 гг. шпрот был представлен четырьмя поколениями (годовыми классами): сеголетками, двух-, трёх- и четырёхлетками. Однако доля последних крайне незначительна (0.3 % общей численности), так что фактически речь идёт лишь о трёх поколениях. Доминирующее положение принадлежит двухлеткам – 65.4%. Значительную долю составляют также сеголетки – 24.5%. Доля трёхлеток не превышает 9.8%. Средний возраст шпрота 1.38 года.

У побережья Болгарии и Румынии возрастной состав шпрота в 2007 – 2012 гг. был представлен пятью годовыми классами – от сеголеток до пятилеток (см. табл. 5). Почти две трети (65.1%) общей численности, как и в крымском регионе, – годовики. Весьма многочисленны также трёхлетки – 25.1%. Доля трёх других возрастных классов не превышала 9.8 %. При этом доля сеголеток в этом регионе более чем в 4 раза меньше, а доля трёхлеток в 2.5 раза больше по сравнению с аналогичными возрастными группами из крымского региона. Средний возраст шпрота 1.79 года, то есть в 1.3 раза выше, чем в крымском регионе. Сведения о возрастном составе и структуре шпрота из турецких вод ограничиваются, как указано выше,

2011 и 2012 гг., тем не менее, мы посчитали правомочным провести сравнительный анализ возрастных характеристик турецкого шпрота с таковыми шпрота из крымского и западного регионов (табл. 4).

Возрастной состав шпрота в южном регионе включает представителей четырёх годовых классов – от сеголеток до четырёхлеток. Доминирующее положение, как и в двух других регионах, по-прежнему занимают двухлетки (57.7 %). Остальная часть, за исключением 0.5 %, поровну поделена между сеголетками и трёхлетками (20.5 и 21.3 %, соответственно). Средний возраст шпрота 1.52 года; это – больше, чем в крымских водах и меньше, чем в водах Болгарии и Румынии.

Табл. 3 Размерные и возрастные характеристики черноморского шпрота

Table 3 Length and age characteristics of the Black Sea sprat

Район	Возраст, годы							Автор
	0	1	2	3	4	5		
Болгария	-	8.2	9.4	10.3	11.1	-	Наблюдаемые	[19]
		8.21	9.38	10.33	11.1	-	Расчётные	
Болгария	-	8.3	10.2	11.3	12.0	12.6	Наблюдаемые	[12]
		8.27	10.13	11.32	12.08	12.5	Расчетные	
Румыния	-	7.55	9.19	10.7	11.56	-	Наблюдаемые	[11]
		7.57	9.29	10.59	11.57	-	Расчетные	
Турция	4.97* 5.03	8.02	10.02	11.15	11.79	12.79	Наблюдаемые	[10]
		8.02	9.98	11.28	12.13	12.68	Расчётные	
Украина	6.75	9.04	10.21	10.8	11.93	-	Наблюдаемые	[14]
Украина	6.1	9.3	10.3	11.2	-	-	Наблюдаемые	[6]
Крым	5.75	8.0	10.0	11.25	12.0	-	Наблюдаемые	Наши данные

*) абсолютная длина, см

Возраст, год	Регион		
	крымский (2007-2012)	западный (2007-2012)	южный (2011-2012)
0+	24.5	5.6	20.5
1+	65.4	65.1	57.7
2+	9.8	25.1	21.3
3+	0.3	3.5	0.5
4+	-	0.7	-
Средний	1.38	1.79	1.52

Табл. 2 Размерно-возрастной ключ черноморского шпрота (*) проценты)

Table 2 Length-age key of the Black Sea sprat

Абсолютная длина, см	В о з р а с т, г о д ы				
	0	1	2	3	4
5.5 – 5.9	100 ^{*)}				
6.0 – 6.4	100				
6.5 – 6.9	70	30			
7.0 – 7.4	15	85			
7.5 – 7.9	-	100			
8.0 – 8.4		100			
8.5 – 8.9		70	30		
9.0 – 9.4		30	70		
9.5 – 9.9		-	100		
10.0 – 10.4			75	25	
10.5 – 10.9			45	55	
11.0 – 11.4			15	65	20
11.5 – 11.9			-	40	60
12.0 – 12.4				20	80
12.5 – 12.9				-	100

Табл. 4 Возрастная структура шпрота (N, %) в разных регионах Чёрного моря
Table 4 Age structure of sprat (N,%) in different regions of the Black Sea

Табл. 5 Межгодовая изменчивость возрастной структуры шпрота (N, %) в разных регионах Чёрного моря
Table 5 Interannual variability of sprat age structure (N, %) in different regions of the Black Sea

Год	Возраст, годы					Средний возраст, год	Средняя абсолютная длина
	0+	1+	2+	3+	4+		
крымский регион							
2007	10.0 ^{*)}	79.7	9.9	0.4	-	1.51	7.62
2008	10.6	73.7	15.0	0.7	-	1.56	7.90
2009	7.3	77.0	15.4	0.3	-	1.59	8.11
2010	20.0	67.0	12.6	0.4	-	1.43	7.85
2011	23.6	67.8	8.3	0.3	-	1.35	7.68
2012	69.7	29.0	1.3	0.1	-	0.82	6.62
западный регион							
2007	2.0	60.5	30.9	4.8	1.8	1.94	8.84
2008	5.5	62.0	27.1	4.2	1.2	1.84	8.61
2009	5.2	62.8	27.2	4.2	0.6	1.82	8.68
2010	14.9	60.0	20.8	3.9	0.4	1.65	8.82
2011	5.6	68.9	23.0	2.2	0.3	1.73	8.52
2012	0.5	76.6	21.3	1.5	0.1	1.74	8.68
южный регион							
2011	14.0	62.9	22.8	0.3	-	1.59	8.00
2012	26.9	52.4	19.7	1.0	-	1.45	7.84

*) проценты

Таким образом, шпрот из разных регионов по своим возрастным (как и размерным) характеристикам является неоднородным. Наибольшие различия возрастной структуры, рассчитанные с помощью экспресс-метода ФЛАМЕНКО, имеют место между шпротом из крымского и западного регионов ($DK = 38.4\%$) и наименьшие – между шпротом из крымского и южного ($DK = 23.9\%$). Различия между шпротом из западного и южного регионов по данному показателю составляют 29.8% . Таким образом, в многолетнем плане по своей возрастной структуре, также как и по размерным характеристикам, крымский шпрот в заметно большей степени отличается от западного, чем от южного.

Нами изучена межгодовая изменчивость возрастной структуры шпрота из крымского и западного регионов в 2007 – 2012 гг. Для её оценки использована величина относительной численности двухлеток, как доминирующего по численности в составе промысловой части

популяции и полностью представленного в уловах поколения (см. табл. 5).

Как видно на рис. 6, в крымском регионе в этот период происходило последовательное сокращение относительной численности двухлеток, довольно плавное в течение 2007 – 2011 гг. (с 77.7 до 67.8%) и затем очень резкое (скачкообразное) в 2012 г. (с 67.8 до 29%). В общей сложности их относительная численность в период 2007 – 2012 гг. сократилась почти в 2.7 раза. Многолетний тренд имел отрицательную направленность.

В отличие от крымского, в западном регионе характер межгодовых изменений относительной численности двухлеток был противоположным. До 2010 г. доля годовиков оставалась практически постоянной (60.0 – 60.5%), и только в последующие два года произошло её увеличение до 76.6% . В общей сложности относительная численность двухлеток в водах Болгарии и Румынии в период 2007 – 2012 гг. увеличилась почти в 1.3 раза, т.е.

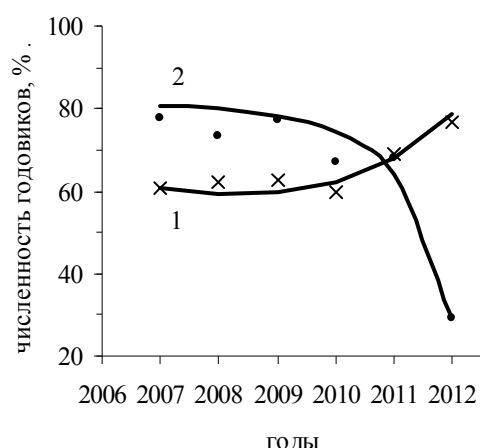


Рис. 6 Межгодовая динамика относительной численности двухлеток в крымском (1) и западном (2) регионах Чёрного моря

Fig. 6 Interannual dynamics of the relative abundance of yearlings in Crimean (1) and western (2) Black Sea regions

многолетний тренд был положительным. Выявленные различия среднемноголетних размерно-возрастных характеристик шпрота у западного побережья и на крымском шельфе свидетельствуют о разном состоянии его популяции в этих регионах. В лучшем состоянии находится шпрот из западного региона (средняя длина 8.59 см и средний возраст 1.38 года), в худшем – из крымского (средняя длина 7.64 см и средний возраст 1.79 года).

Как известно [7], возрастная (как и тесно связанная с ней размерная) структура зависит как от внутренних (генетических) особенностей видов (популяций), так и от в разной степени воздействия многочисленных внешних (естественных и антропогенных) факторов, определяющих конкретные условия их существования. В частности, к числу наиболее значимых по степени своего воздействия на шпрота среди многочисленных внешних факторов относятся климатические условия и рыболовство (промысловый режим).

Климатические условия в крымском и западном регионах близки между собой, поскольку находятся под воздействием общих климатообразующих факторов, основные из которых – циклы Северо-Атлантического и

Атлантического мультideкадных колебаний, определяющие долгопериодные изменения температуры воздуха и воды в северо-западной части Чёрного моря и прибрежных акваториях Крыма [5]. Конечно же, это не исключает локальных, как правило, кратковременных отклонений или погодных аномалий. Однако определяющее воздействие последних на формирование постоянных региональных различий возрастной структуры кажется весьма сомнительным, учитывая, что в 2008 – 2012 гг. климатические аномалии ни в одном из этих регионов не зарегистрированы.

Что касается режима рыболовства, то данный фактор вполне может заслуживать внимания в качестве одного из возможных, определяющих региональные различия размерно-возрастных характеристик шпрота в многолетнем плане. Согласно результатам сравнительного анализа связи условий промысла и размерно-возрастной структуры уловов шпрота у западного побережья Чёрного моря (в водах Болгарии и Румынии) и у побережья Крыма в 2000 – 2009 гг., нами показано, что разные режимы эксплуатации – строго регулируемый в западном регионе и стихийный в крымском, – являются одним из основных факторов, ответственных за различия размерно-возрастной структуры шпрота в этих регионах [2].

С учётом данного обстоятельства были выполнены промыслово-биологические исследования шпрота в крымском регионе, в период 2007 – 2014 гг. Согласно данным Восточно-Черноморского Госуправления Рыбоохраны Украины, на протяжении 2007 – 2011 гг. объём вылова шпрота последовательно возрастал и за 4 года увеличился более чем в 2 раза (с 11.4 до 24.4 тыс. т) (рис. 7). Более того, в 2011 г. был достигнут абсолютный рекорд вылова за последние десятилетия. Однако в 2012 г. при сохранении прежней интенсивности промысла произошло сокращение вылова до 15.7 тыс. т, которое продолжилось и в 2013 г.

Столь существенное количественное сокращение вылова сопровождалось не менее существенными изменениями его «качествен-

ного состава», в частности размерно-возрастной структуры шпрота. Произошло уменьшение средних размеров рыб и их среднего возраста. Так, средний возраст уменьшился более чем в 1.5 раза (с 1.35 до 0.82 года), а средняя длина – почти на 20 % (с 7.68 до 6.62 см) (см. табл. 5). Данные структурные изменения были связаны с более чем двухкратным сокращением в составе промысловой части популяции годовиков – с 67.8 до 29.0 %, которые в среднем составляют около 3/4 общей численности (и биомассы) уловов шпрота в крымском регионе. В 2012 г. доминирующее положение в уловах занимали сеголетки, их доля составила 69.7 %. Для оценки степени влияния рыболовства (режима промысла) на состояние популяции шпрота в крымском регионе был рассчитан коэффициент парной корреляции между величиной вылова в предыдущем году и средним возрастом шпрота в следующем, то есть со сдвигом на один год, в 2007 - 2012 гг. Его значение равно – 0.86 ($R^2 = 0.74$) (см. рис. 7).

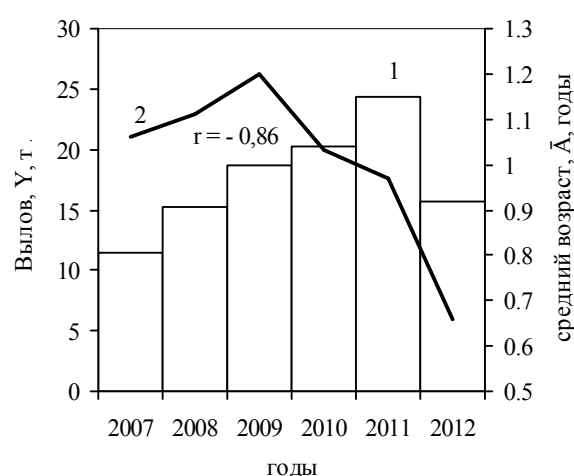


Рис. 7 Динамика вылова (1) и средний возраст шпрота (2) в крымском районе в 2007 – 2012 гг.
Fig. 7 Catch dynamics (1) and average age of sprat (2) from Crimean region in 2007 – 2012

Произошедшие изменения промыслово-биологических показателей шпрота находятся в полном соответствии с положением теории промышленного рыболовства, согласно которому уменьшение размеров (измельчение) эксплуатируемого стада рыб на фоне снижения

общего вылова при сохранении прежних условий эксплуатации представляет собой следствие перелова [1]. Все это даёт основание рассматривать данный фактор в качестве основного, определившего все выше описанные изменения качественного и количественного состава уловов.

Сокращение в 2012 г. абсолютной численности годовиков, составляющих основу репродуктивного потенциала популяции, привело соответственно к снижению абсолютной численности пополнения промыслового стада шпрота в следующем году, что не могло не отразиться негативно на величине вылова. В 2013 г. вылов шпрота в регионе был минимальным за последние 5 лет (менее 13 тыс. т). Дополнительным указанием на существование связи между условиями эксплуатации (режимом промысла) и размерно-возрастной структурой шпрота может также служить факт заметного увеличения (около 14 %) после многолетнего перерыва в составе промысловой части популяции в крымском регионе в 2015 г. доли трехлеток – представителей поколения 2013 г. рождения. Полагаем, что этому должны были способствовать, прежде всего, благополучные условия выживания молоди в результате снижения промыслового пресса на популяцию.

Следует напомнить, что подобная ситуация в крымском регионе имела место в начале 2000-х годов (рис. 8).

После рекордно высоких уловов шпрота в 2001 и 2002 гг. (19.5 и 21.4 тыс. т, соответственно), вдвое превышавших уловы нескольких предыдущих лет, в последующие два года – 2003 и 2004 гг. – объёмы вылова сократились более чем в 1.5 раза: до 13.4 тыс. т – в 2003-м и 12.5 тыс. т – в 2004 гг.

Одновременно существенные изменения произошли в биологическом состоянии популяции, включая изменения её размерно-возрастной структуры. Последние характеризовались, в частности, уменьшением средних размеров особей (измельчением) и их среднего возраста (омоложением). Если средняя стандартная длина шпрота в 2001 – 2002 гг. состав-

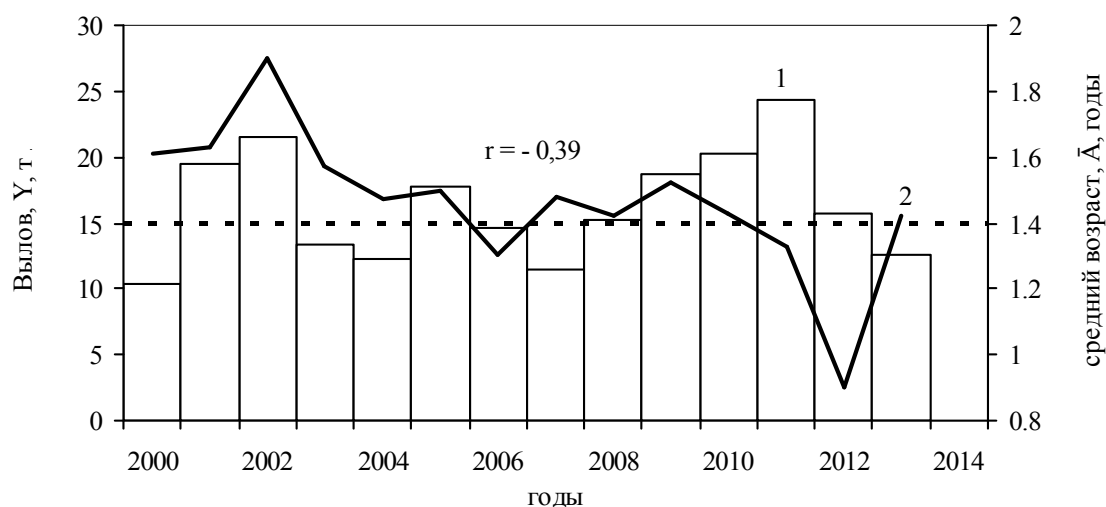


Рис.8 Динамика вылова (1) и средний возраст шпрота (2) в 2000 – 2014 гг.
Fig. 8 Catch dynamics (1) and average age of sprat (2) in 2000 – 2014

ляла 7.1 – 7.6 см, то в 2003 – 2004 гг. – 6.6 – 6.8 см, соответственно. Средний возраст сократился с 1.77 до 1.52 года [3]. И произошло это в результате более чем 3-кратного сокращения в составе промыслового стада доли двухгодовиков (с 27.8 до 8.6%). Таким образом, по нашему мнению, для сохранения устойчивого состояния крымской «популяции» шпрота годовой объём его вылова не должен превышать 15 тыс. т.

Заключение. Впервые изучена географическая изменчивость размерно-возрастной структуры черноморского шпрота *Sprattus sprattus phalericus*. Установлены региональные

различия показателей ее многолетней (2007 – 2012) динамики и межгодовой изменчивости у западного побережья Чёрного моря (шельф Болгарии и Румынии), на шельфе Крыма и у анатолийского побережья Турции, что свидетельствует о наличии внутривидовой неоднородности. Основным фактором, определяющим географическую изменчивость размерно-возрастной структуры шпрота, являются разные условия эксплуатации в регионах. Обсуждается уровень внутривидовых различий между региональными образованиями шпрота и структурированностью промыслового запаса.

1. Засосов А.В. *Теоретические основы рыболовства*. – Москва : Пищевая промышленность, 1970. 292 с. [Zasosov A.V. *Teoreticheskie osnovy rybolovstva*. Moscow: Pishchevaya promyshlennost', 1970. 292 p. (in Russ.).]
2. Зуев Г.В., Бондарев В.А. Размерно-возрастная структура популяции черноморского шпрота *Sprattus sprattus phalericus* (Risso) у побережья Крыма // Современные рыбохозяйственные и экологические проблемы Азово-Черноморского региона : материалы VIII Междунар. конф. (Керчь, 26–27 июня 2013 г.). Керчь, 2013. С. 67–75. [Zuev G.V., Bondarev V.A. Razmerno-vozrastnaya struktura populyatsii chernomorskogo shprota *Sprattus sprattus phalericus* (Risso) u poberezh'ya Kryma. In: Sovremennye rybokhozyaistvennye i ekologicheskie problemy Azovo-Chernomorskogo regiona: materialy VIII Mezhdunar. conf., Kerch, 26–27 July 2013. Kerch, 2013, pp. 67–75. (in Russ.).]
3. Зуев Г.В., Гуцал Д.К., Мельникова Е.Б., Бондарев В.А. Современные представления о структуре промыслового запаса черноморского шпрота, его состоянии и рациональном использовании в водах Украины // *Рыбное хозяйство Украины*. 2008. № 1. С. 8–12. [Zuev G.V., Gutsal D.K., Mel'nikova E.B., Bondarev V.A. Sovremennye predstavleniya o strukture promyslovogo zapasa chernomorskogo shprota, ego sostoyanii i ratsional'nom ispol'zovanii v vodakh Ukrainy. *Rybnoe khozyaistvo Ukrainy*, 2008, no. 1, pp. 8–12. (in Russ.).]

4. Котов В. Н., Терентьева Н. Г. *Классифицирование в биологии. Экспресс – метод ФЛАМЕНКО*. – Киев : Наукова думка, 1993. 68 с. [Kotov V. N., Terent'eva N. G. *Klassifitsirovanie v biologii. Ekspress – metod FLAMENKO*. Kiev: Naukova dumka, 1993, 68 p. (in Russ.).]
5. Репетин Л. Н. Пространственная и временная изменчивость температурного режима прибрежной зоны Чёрного моря // *Экологическая безопасность прибрежных и шельфовых зон и комплексное исследование ресурсов шельфа: сб. науч. тр.* Севастополь, 2012. Вып. 26, т. 1. С. 99–116. [Repetin L.N. Spatial and temporal variability of temperature regime in the Black Sea coastal zone. *Ecological safety of coastal and shelf zones and comprehensive use of shelf resources: collected scientific papers*, Sevastopol, 2012, iss. 26, vol. 1, pp. 99-116 (in Russ.).]
6. Юрьев Г. С. *Черноморский шпрот. Сырьевые ресурсы Чёрного моря*. Москва: Пищевая промышленность, 1979. С. 73–91. [Yur'ev G.S. *Chernomorskii shprot. Syr'evye resursy Chernogo morya*. Moscow: Pishchevaya promyshlennost', 1979, pp. 73-91. (in Russ.).]
7. Яблоков А. В. *Популяционная биология*. Москва: Высшая школа, 1987. 303 с. [Yablokov A.V. *Populyatsionnaya biologiya*. Moscow: Vysshaya shkola, 1987, 303 p. (in Russ.).]
8. *2013 Assessment of Black Sea Stocks (STECF 13-20) (October 2013)*. Sampson D., Charef A., Osio Ch. (Eds.). Luxembourg, 2013, 434 p. (Rep. of the Sci., Techn. and Econom. Comm. for Fish. STECF).
9. *Assessment of Black Sea Stocks (STECF 12-15)*. (5-9 Nov. 2012, Brussels, Belgium). Daskalov G., Osio Ch., Charef A. (Eds.). Luxembourg, 2012, 279 p. (Sci., Techn. and Econom. Comm. for Fish.).
10. Avsar D. Population parameters of sprat (*Sprattus sprattus phalericus* Risso) from the Turkish Black Sea coast. *Fisheries Research*, 1995, vol. 21, iss. 3-4, pp. 737–453.
11. Cautis I. Le sprat *Sprattus sprattus phalericus* L. du littoral roumain de la Mer Noire. *Cercetari Marine*, 1971, no. 2, pp. 51–73.
12. Ivanov L. Population parameters and limiting methods of sprat (*Sprattus sprattus* L.) catches in the western Black Sea. *Proceedings of the Institute of Fisheries, Varna*, 1983, vol. 20, pp. 7–46. (In Bulgarian).
13. *Opinion by written procedure: Assessment of Black Sea Stocks (STECF-OWP-11-06)*. (Nov. 2011) Dascalov G., Rätz H-J. (Eds.). Luxembourg, 2011, 216 p. (Sci., Techn. and Econom. Comm. for Fish. STECF).
14. Prodanov K., Mikhailov K., Daskalov G., Maxim C., Chashchin A., Arkhipov A., Shlyakhov V., Ozdamar E. *Environmental management of fish resources in the Black Sea and their rational exploitation*. Studies and Reviews: General Fisheries Council for the Mediterranean. Rome: FAO, 1997, no. 68, 178 p.
15. *Report of the SGMED-08-03: Working Group on the Mediterranean. Pt 3. Joint Black Sea Working Group*. (9-13 June 2008, Ispra, Italy). Pilling G., Cheilari A., Rätz H-J. (Eds.). Luxembourg, 2008, 522 p. (Sci., Techn. and Econom. Comm. for Fish. STECF).
16. *Report of the SGMED-09-01 Review of advise on Black Sea stocks for 2009*. (23-27 March 2009, Ranco, Italy) Dascalov G., Rätz H-J. (Eds.). Luxembourg, 2009, 158 p. (Sci., Techn. and Econom. Comm. for Fish. STECF).
17. *Review of Scientific Advice for 2011: Pt 3b. Advice on Stocks of Interest to the European Community in the Black Sea*. (11-15 Oct. 2010, Cádiz, Spain). Dascalov G., Rätz H-J. (Eds.). Luxembourg, 2010, 167 p. (Sci., Techn. and Econom. Comm. for Fish. STECF).
18. Shlyakhov V. A., Daskalov G. M. The state of marine living resources. State of the Environment of the Black Sea (2001–2006/7): Report. Commission on the protection of the Black Sea against pollution: Istanbul, Turkey, 2008, ch. 9, pp. 291–334.
19. Stoyanov S. A. Dynamics of the Black Sea sprat stock *Sprattus sprattus sulinus* (Antipa). *Proceedings of the Institute of Fisheries & Oceanography, Varna*, 1965, vol. 6, pp. 21–48.

Поступила 20 ноября 2015 г.

Geographical variability of length-age structure of the Black Sea sprat *Sprattus sprattus phalericus* (Risso) (Pisces: Clupeidae) and intraspecific differentiation. G. V. Zuyev, V. A. Bondarev, Yu. V. Samotai. Investigations of the Black Sea sprat intraspecific differentiation are the basis for the scientific substantiation of rational exploitation of its resource potential. This work is devoted to the study of spatial variability of length and age structure of sprat as specific population parameter reflecting its intraspecific differentiation. Our own data and materials of Scientific, Technical and Economic Committee for Fisheries (STECF) of the European Commission have been used. The first time long-term dynamics (2007-2012) and interannual variability of length and age

structure of sprat in different geographical regions of the Black Sea (coastal waters of Bulgaria-Romania, Turkey and the Crimea) have been investigated. Differences of the long-term dynamics and interannual variability of length and age structure in these regions have been found. Sprat population from Bulgaria-Romania region is in better conditions (mean length 8.59 ± 0.01 cm; mean age 1.79 year), sprat population from Crimea region is in worse conditions (mean length 7.64 ± 0.01 cm; mean age 1.38 year). It has been shown that the main factor determining the interregional biological heterogeneity of sprat is the different fishery regulations. This fact disagrees with concept of united commercial sprat stock in the Black Sea.

Key words: sprat, length and age structure, abundance, variability, fishery, Black Sea



О. В. Машукова, канд. биол. наук, с. н. с., Ю. Н. Токарев, докт. биол. наук, проф.

ФГБУН «Институт морских биологических исследований имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, РФ

ВАРИАБЕЛЬНОСТЬ БИОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ
MNEMIOPSIS LEIDYI A. AGASSIZ (CTENOPHORA: LOBATA)
ПРИ РЕГЕНЕРАЦИИ

Ранее нами показана видоспецифичность особенностей светоизлучения *Mnemiopsis leidyi* A. Agassiz, 1865 и *Beroe ovata* Mayer, 1912, изменение параметров их биолюминесценции (амплитуды, энергии, а также длительности светоизлучения) в зависимости от температурных, трофических и других условий. Целью настоящих исследований было выявление варибельности свечения черноморского гребневика *M. leidyi* в процессе его регенерации после воздействия хищника – *B. ovata*. Определение характеристик биолюминесценции гребневиков проводили при помощи лабораторного комплекса “Свет”. Биолюминесценцию ктенофор исследовали методом механической и химической стимуляции. Установлено, что после повреждений гребневика с сохранённым статистическим активным движением, при этом показатели их свечения минимальны: по амплитуде – $17.08 \cdot 10^8$ квант·с⁻¹·см⁻² и длительности 1.37 с при химической стимуляции и $14.85 \cdot 10^8$ квант·с⁻¹·см⁻² 1.25 с при механическом воздействии, соответственно. После полной регенерации происходит восстановление массы тела ктенофор до исходных значений и увеличение амплитуды их биолюминесценции до максимального уровня: $332.33 \pm 16.61 \cdot 10^8$ при химической и $219.45 \pm 10.97 \cdot 10^8$ квант·с⁻¹·см⁻² при механической стимуляции. Сделаны предположения о факторах, влияющих на интенсивность регенерации ктенофор *M. leidyi* и варибельность их свечения в продолжение этого процесса. Показана возможность использования биолюминесценции для уточнения экологических особенностей данного вида ктенофор.

Ключевые слова: гребневика, регенерация, характеристики светоизлучения, Чёрное море

Биолюминесценция – проявление жизнедеятельности организма в виде электромагнитного излучения в видимой области спектра – является важнейшим экологическим и оптическим фактором морской среды [5]. Одни из наиболее массовых планктонных биолюминесцентных Мирового океана – различные виды гребневиков [8, 18], параметры светоизлучения которых и причины их варибельности изучены недостаточно [7, 11]. Так, для гребневика *Mnemiopsis leidyi* A. Agassiz, 1865 (далее – мнемипсиса) важнейшим стрессовым фактором является поедание его гребневиком *Beroe ovata* Mayer, 1912 (далее – берое). Известно также, что многие кишечнотелые и ктенофоры способны к регенерации после механических повреждений [6, 9, 12, 14, 15, 16, 17], однако повреждения, возникающие при оттошении хищник-жертва, их влияние на функцио-

нальное состояние мнемипсиса и его способность к регенерации и высвечиванию в условиях, близких к *in situ*, до сих пор не изучены.

В связи с этим представляло интерес определить функциональное состояние жертвы после разрыва её хищником, а также оценить способности *M. leidyi* к регенерации и варибельность характеристик светоизлучения гребневика в этот период.

Материал и методы. Исследования проводили в отделе биофизической экологии ФГБУН «Институт морских биологических исследований имени А. О. Ковалевского РАН». Сбор черноморских гребневиков проводили в октябре – ноябре в прибрежной зоне Севастополя и в 2-мильной зоне от неё. Для опытов отбирали одноразмерную группу особей – 50 мм для *B. ovata* и 40 мм для *M. leidyi*.

Сырой вес ктенофор определяли путём вы-

тесненного объёма воды из сосуда и подсушиванием на фильтровальной бумаге с последующим взвешиванием на микроаналитических весах (серии AN 50) с точностью до 0.01 г.

Средний вес отобранных для экспериментов в каждой серии особей *M. leidyi* составлял 9.16 ± 0.45 , а *B. ovata* – 10.88 ± 0.54 г.

В лабораторных исследованиях были созданы условия для содержания ктенофор, близкие к таковым *in situ*. Свежевыловленных ктенофор в течение 2 ч адаптировали к условиям эксперимента в ёмкостях объёмом 5 л с профильтрованной (диаметр пор мембранных фильтров 35 мкм) морской водой при температуре $21 \pm 2^\circ\text{C}$. Выбор температуры обусловлен тем, что данные температурные условия считают оптимальными для содержания гребневиков [1, 13]. При подготовке к кормлению ктенофор *B. ovata* отсаживали индивидуально в ёмкости с профильтрованной морской водой, а их пищу (*M. leidyi*) после предварительного взвешивания вносили по 1 экз. в каждый сосуд. Пищу давали в избытке, ежедневно контролируя её потребление [4].

Наблюдения за пищевым поведением *B. ovata* проводили визуально и с регистрацией на кинокамеру. Захват пищи наблюдался в среднем через 2 ч после её внесения. Заглатывая жертву, берос приобретает шарообразную форму и время переваривания пищи в экспериментах длится в среднем 4 – 5 ч. При этом выяснилось, что 80 % особей *B. ovata* захватывали жертву целиком, а остальные питались, разрывая её на части.

Наши дальнейшие исследования касались исключительно процессов регенерации группы особей *M. leidyi* после разрыва их *B. ovata*.

Мнемипсиса разделяли на 3 группы. Первая, служившая контролем, состояла из неповреждённых свежевыловленных особей, вторая – из повреждённых особей длиной до 18 – 20 мм (с сохранённым аборальным органом и без него) после разрыва их хищником. Третью экспериментальную группу составляли гребневики после регенерации.

Степень повреждения мнемипсиса оценивали путем микроскопического анализа повреждённых животных.

Первая группа мнемипсиса высвечивалась после 2 ч адаптации в затемнённой лаборатории, вторая – непосредственно после повреждения организмов хищником. Третья группа находилась в отдельных ёмкостях с подкормкой. Кормовым объектом для *M. leidyi* была *Acartia tonsa* Dana

(Copepoda). Выбор объектов экспериментального кормления обусловлен тем, что во второй половине лета в Севастопольской бухте в составе мезозoopланктона в районе отлова гребневиков обычно преобладают каланоидные копеподы [3].

Об интенсивности выедания пищи гребневыми судили по опустошению их гастроваскулярной полости. Ежедневно проводили подсчёт рачков, при этом концентрацию кормовых организмов корректировали, поддерживая её на уровне не менее $0.35 \text{ мг} \cdot \text{сухой массы} \cdot \text{л}^{-1}$, для чего в экспериментальные сосуды вносили кормовые организмы в концентрации $70 \text{ экз} \cdot \text{л}^{-1}$ [3]. Подкормку проводили до достижения ктенофорами исходной массы (перед повреждением организмов гребневиком *B. ovata*).

Определение характеристик биолюминесценции гребневиков выполнено при помощи лабораторного комплекса “Свет” [5] при полной темноте в дневное время.

Биолюминесценцию ктенофор исследовали методом механической и химической стимуляции. Для получения адекватного природным стимулам раздражения использовали механическую стимуляцию, которая сводилась к созданию ускорения потока воды в сосуде с биолюминесцентом с помощью насосного электромеханического устройства. Для получения информации о максимальном биолюминесцентном потенциале гребневиков использовался метод химической стимуляции. При помощи шприца в кювету вводили 3 см^3 96% спирта, выбранного в качестве химического раздражителя [5].

Результаты. Изучение поведения гребневиков показало, что в первые часы экспозиции (после разрыва хищником) нарушается их двигательная активность, что выражалось в замедлении биения ресничек ктен. Разорванные «части» мнемипсиса размером до 18 – 20 мм без аборального органа оседают на дно аквариума и в течение суток погибают.

Напротив, гребневики с сохранённым статоцистом активно двигаются даже после столь катастрофических повреждений. Биолюминесцентные сигналы таких «частей» *M. leidyi* имеют очень низкие показатели амплитуды по сравнению с контролем: до $17.08 \cdot 10^8 \text{ квант} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{см}^{-2}$ при химическом способе раздражения и $14.85 \cdot 10^8 \text{ квант} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{см}^{-2}$ при механической стимуляции (рис. 1).

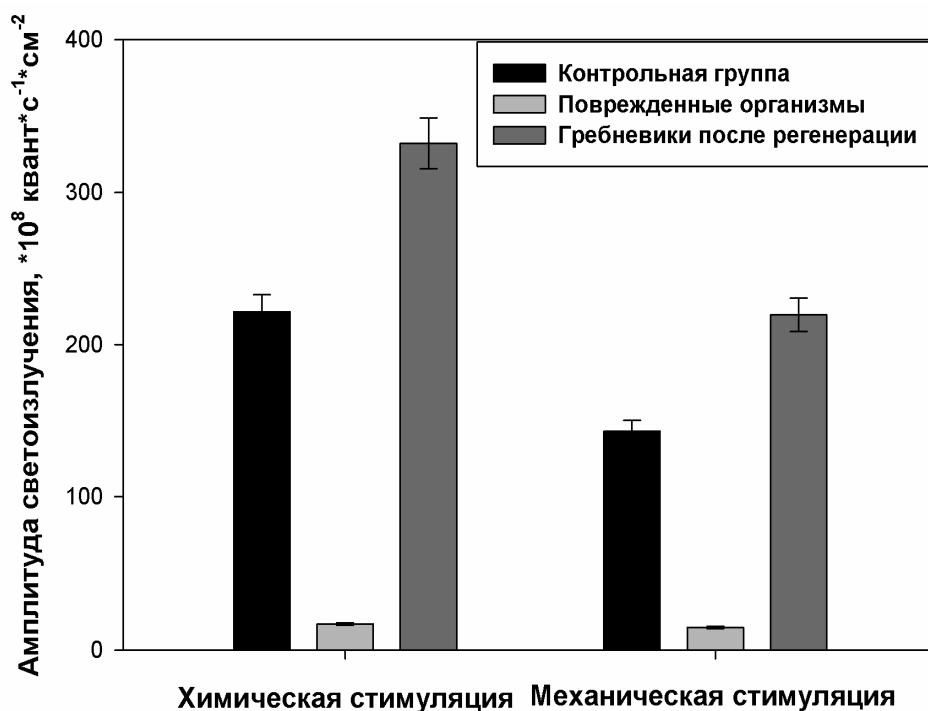


Рис. 1 Амплитуда биолюминесценции при регенерации *M. leidy* при механической и химической стимуляции

Fig 1 Amplitude of the bioluminescence produced by regenerating *M. leidy* under the mechanical and chemical impacts

Длительность светоизлучения у повреждённых ктенофор также была невысока и составляла 1.37 и 1.25 с при химической и механической стимуляциях, соответственно (см. рис. 2).

Отличались и формы типичных сигналов ктенофор исследованных групп. Так, повреждённые гребневики в ответ на стимуляцию реагировали короткими по длительности вспышками: 1 – 2 пика небольшой интенсивности при незначительной энергии светоизлучения (рис. 3 А). Организмы после регенерации, напротив, демонстрировали серию ярких вспышек, перетекающих одна в другую, причём последующие вспышки по амплитуде были сравнимы с первоначальной (рис. 3 Б).

Проводимые ежедневно измерения орально-аборальной длины тела ктенофор третьей группы показали постепенное восстановление *M. leidy* до изначальной массы.

Полная регенерация мнемипсиса до изначального его размера и массы тела происходила на 3 – 4 сутки. Об этом свидетельствует и микроскопия повреждённых животных.

Так, спустя 3 – 4 дня после разрыва хищником новые гребные пластинки, форми-

рующиеся в раневом промежутке (щели), достаточно равномерно расположены и одинаковы по длине, что свидетельствует о законченном процессе регенерации [16].

При этом параметры свечения у пострегенирующих особей существенно отличаются. Так, амплитуда биолюминесценции после регенерации у гребневиков была в 15 – 20 раз выше, чем у повреждённых организмов, составляя $332.33 \pm 16.61 \cdot 10^8$ при химической и $219.45 \pm 10.97 \cdot 10^8$ квант·с⁻¹·см⁻² при механической стимуляции. Неожиданным, однако, оказалось то обстоятельство, что интенсивность биолюминесценции регенировавших гребневиков после полного их восстановления превышала таковую у контрольных организмов в 1.5 раза. Увеличивалась и продолжительность биолюминесцентных сигналов после регенерации ктенофор, составляя 3.67 и 3.25 с при химической и механической стимуляциях, соответственно (рис. 2).

Обсуждение. Регенерация – регуляторный процесс, характерный для многих организмов, благодаря которому происходит восстановление жизненно важных функций, утраченных при разных обстоятельствах. Steno-

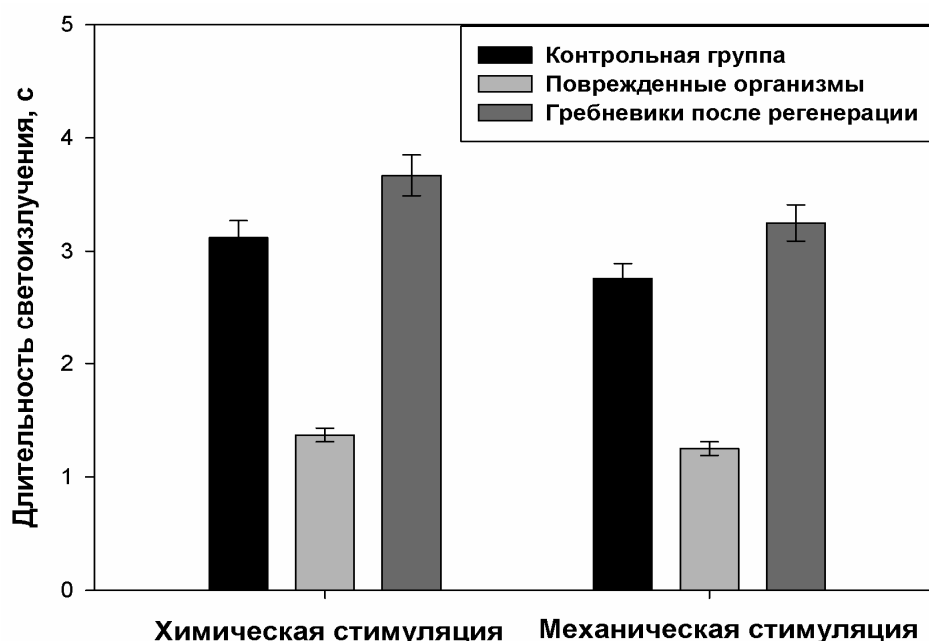


Рис. 2 Длительность биолюминесценции при регенерации *M. leidyi* при механической и химической стимуляциях

Fig. 2 Duration of the bioluminescence produced by regenerating *M. leidyi* under the impact of the mechanical and chemical stimulations

phores (Lobata, Tentaculata), в частности, показывают способность к восстановлению недостающих структур у взрослых особей [6], что и было доказано в наших экспериментах.

Регенерация недостающих частей тела у повреждённых организмов даёт информацию о механизмах, лежащих в основе данного процесса. С чем же связан высокий уровень регенерации у *M. leidyi*? Рядом авторов путём морфо-гистологического анализа показано, что успешная пострегенерация мнемииопсиса может быть обусловлена организацией строения его тела, имеющего билатеральную симметрию [6, 12]. Так, клетки, составляющие схему тела взрослого гребневика, обладают информацией о своем местонахождении, которая используется для его восстановления до исходных размеров [6]. Когда часть ряда гребных пластинок у *M. leidyi* удалена, рана закрывается и заживает, значительно увеличивая расстояние между ними около прежних краёв сокращения [16]. Вместе с тем, как и у остальных Stenophora, регенерация обусловлена высокой интенсивностью размножения этих самооплодотворяющихся гермафродитов. Так, *M. leidyi* начинает размножаться, достигнув орально-аборальной

длины тела 10 мм (13.5 мг сух. массы) при концентрации *Acartia clausi* 100 экз·л⁻¹ [10].

Однако существуют факторы, лимитирующие восстановительную способность особей. Так, не все повреждённые части гребневиков имеют способность к восстановлению, что обусловлено особенностями внутреннего строения ктенофор. Известно, что источником биолюминесценции у гребневиков являются специфические клетки – фотоциты [9], при раздражении которых происходит высвечивание внутриклеточных гранул, расположенных под гребными пластинками в области меридиональных гастроваскулярных каналов (рис. 4).

Те из них, которые сохранили аборальный орган, имеют больше возможности восстановить процессы жизнедеятельности и соответственно, биолюминесцентную реакцию. Более высокие показатели свечения гребневиков после их регенерации, на наш взгляд, обусловлены особенностями биохемилюминесцентной реакции ктенофор [7, 19], в частности, увеличением скорости образования пероксидных комплексов, последующий распад которых приводит к высвобождению большего количества энергии и максимальному светоизлучению.

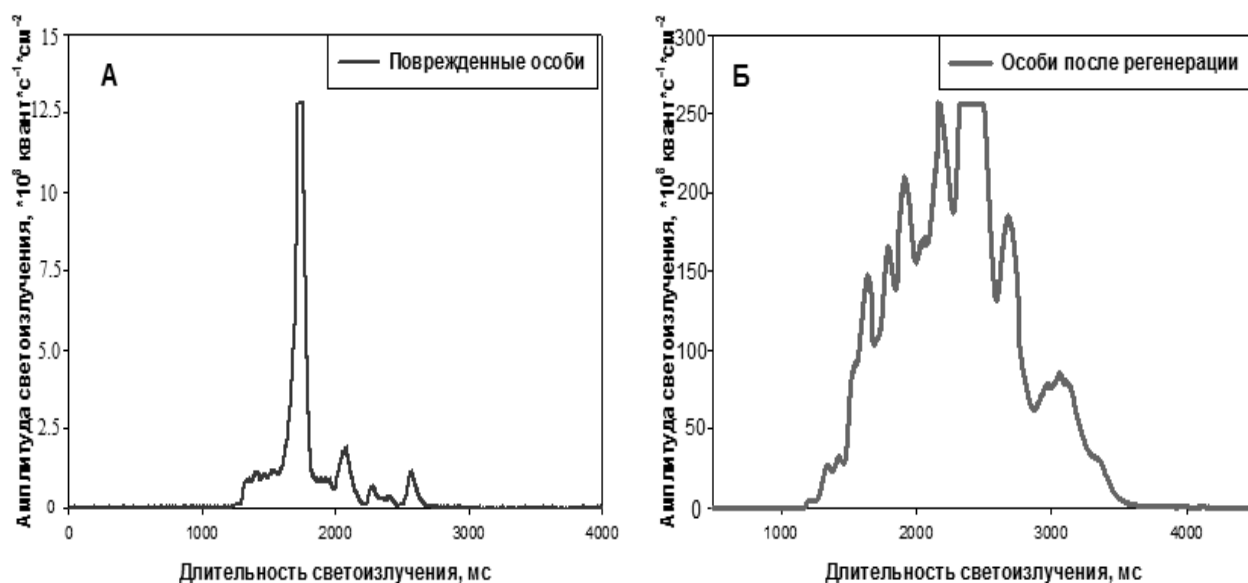


Рис. 3 Типичные биолюминесцентные сигналы при химической стимуляции *M. leidyi*: А – повреждённые особи; Б – пострегенерирующие особи

Fig. 3 Typical bioluminescence signals induced by the chemical stimulation of *M. leidyi*: A – the injured individuals; B – the post-regeneration individuals

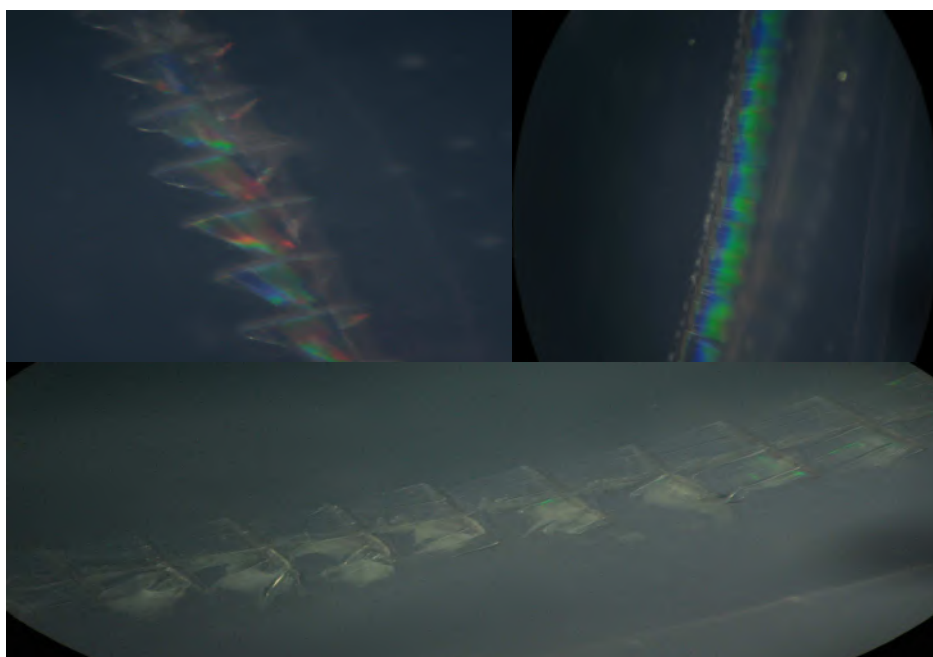


Рис. 4 Флуоресцирующие ктены *M. leidyi*
Fig. 4 Fluorescent ctenophores of *M. leidyi*

Последующие исследования характеристик светоизлучения гребневиков, их пищевого поведения, закономерностей трофических взаимодействий внесут существенный вклад в познание роли взаимодействий хищник-жертва в функционировании морских планктонных сообществ, будут способствовать выявлению

экологического смысла биолюминесценции исследуемых видов.

Выводы. 1. Нормальная жизнедеятельность гребневиков *Mnemiopsis leidyi* без сохранения абсорбционного органа с тяжами нервной и пищеварительной системы невозможна.

2. Низкие показатели свечения гребневиков при повреждении организмов связаны с нарушениями в их функциональном состоянии. Особи, сохранившие аборальный орган, имеют больше возможности восстановить процессы жизнедеятельности и, соответственно, биолюминесцентную реакцию. 3. Более высокие показатели свечения гребневиков после их регенерации

могут быть обусловлены химизмом их биолюминесцентной реакции, т.е. увеличением скорости образования пероксидных комплексов, последующий распад которых приводит к высвобождению большого количества энергии и максимальному светоизлучению.

1. Аболмасова Г.И. Скорость энергетического обмена у *Mnemiopsis leidyi* (A. Agassiz) в зависимости от температурных и пищевых условий // Гидробиологический журнал. 2001. Т. 37, № 2. С. 90–95. [Abolmasova G.I. Energy exchange rate in *Mnemiopsis leidyi* (A. Agassiz) depending on the temperature and dietary conditions. *Hydrobiological Journal*, 2001, vol. 37, no. 2, pp. 90–95. (in Russ.)]
2. Битюков Э.П., Евстигнеев П.В., Токарев Ю.Н. Светящиеся Dinoflagellata Чёрного моря и влияние на них антропогенных факторов // Гидробиологический журнал. 1993. Т. 29, № 4. С. 27–34. [Bityukov E.P., Evstigneev P.V., Tokarev Yu.N. Luminescent Dinoflagellata of the Black Sea as affected by anthropogenic factors. *Hydrobiological Journal*, 1993, vol. 29, no. 4, pp. 27–34. (in Russ.)]
3. Машукова О.В., Ханайченко А.Н., Токарев Ю.Н., Бурмистрова Н.В. Влияние питания на биолюминесцентные характеристики гребневика *Mnemiopsis leidyi* (Ctenophora: Lobata) // Экология моря. 2008. Вып. 75. С. 42–47. [Mashukova O.V., Khanaichenko A.N., Tokarev Yu.N., Burmistrova N.V. Influence of nutrition on the bioluminescence characteristics of *Mnemiopsis leidyi* (Ctenophora: Lobata). *Ekologiya morya*, 2008, iss. 75, pp. 42–47. (in Russ.)]
4. Машукова О.В., Токарев Ю.Н. Вариабельность характеристик биолюминесценции черноморского гребневика *Beroe ovata* (Ctenophora: Beroidea) в связи с условиями питания // Экология моря. – 2009. – Вып. 77. – С. 23–27. [Mashukova O.V., Tokarev Yu.N. Variability of the bioluminescence characteristics of the Black Sea ctenophore *Beroe ovata* (Ctenophora: Beroidea) in connection with conditions of nutrition. *Ekologiya morya*, 2009, iss. 77, pp. 23–27. (in Russ.)]
5. Токарев Ю.Н., Машукова О.В., Василенко В.И. Биолюминесценция черноморских гребневиков-вселенцев *Mnemiopsis leidyi* и *Beroe ovata* при механической и химической стимуляции // Экология моря. 2008. Вып. 76. С. 61–66. [Tokarev Yu.N., Mashukova O.V., Vasilenko V.I. The bioluminescence of ctenophore-aliens *Mnemiopsis leidyi* and *Beroe ovata* in the Black Seas at the mechanical and chemical stimulation. *Ekologiya morya*, 2008, iss. 76, pp. 61–66. (in Russ.)]
6. Jonathan Q., Henry M.Q., Martindale C. Regulation and Regeneration in the Ctenophore *Mnemiopsis leidyi*. *Developmental Biology*, 2000, vol. 227, iss. 2, pp. 720–733.
7. Haddock S.H.D., Case J.F. Bioluminescence spectra of shallow and deep-sea gelatinous zooplankton: ctenophores, medusae and siphonophores. *Marine Biology*, 1999, vol. 133, pp. 571–582.
8. Haddock S.H.D., Moline M.A., Case J.F. Bioluminescence in the Sea. *Annual Review of Marine Science*, 2010, vol. 2, pp. 443–493.
9. Hernandez-Nicaise M.L. *Ctenophora Microscopic Anatomy of Invertebrates*. In: Harrison F.W., Westfall J.A. (Eds.) *Microscopic anatomy of invertebrates. Vol. 2: Placozoa, Porifera, Cnidaria, and Ctenophora*. New York: Wiley-Liss, 1991, pp. 359–418.
10. Finenko G.A., Romanova Z.A. The population dynamics and energetics of ctenophore *Mnemiopsis leidyi* in Sevastopol Bay. *Oceanology*, 2000, vol. 40, no. 5, pp. 677–685.
11. Labas Y.A., Gurskaya N.G., Yanushevich Y.G., Fradkov A.F., Lukyanov K.A., Lukyanov S.A., Matz M.V. Diversity and evolution of the green fluorescent protein family. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2002, vol. 99, no. 7, pp. 4256–4261.
12. Martindale M.Q., Henry J.Q. Development and regeneration of comb plates in the ctenophore *Mnemiopsis leidyi*. *Biological Bulletin*, 1996, vol. 191, no. 2, pp. 290–292.
13. Mashukova O., Tokarev Yu. Influence of the temperature at the Black Sea ctenophores-aliens bioluminescence characteristics. *Advances in Bioscience and Biotechnology*, 2012, vol. 3, no. 3, pp. 269–273. Available at: <http://www.scirp.org/journal/abb/> [accessed 2015.12.17].
14. Muller W.A., Plickert G., Berking S. Regeneration in Hydrozoa: distal versus proximal transformation in Hydractinia. *Roux's Archives of Developmental Biology*, 1986, vol. 195, iss. 8, pp. 513–518.

15. Piraino S.V., De Vito D., Schmich D.J., Bouillon J., Boero F. Reverse development in Cnidaria. *Canadian Journal of Zoology*, 2004, vol. 82, no. 11, pp. 1748–1754.
16. Tamm S.L. Regeneration of ciliary comb plates in the ctenophore *Mnemiopsis leidyi* I. Morphology. *Journal of Morphology*, 2012, vol. 273, iss. 1, pp. 109–120.
17. Tardent P. Regeneration in the HYDROZOA. *Biological Reviews*, 1963, vol. 38, iss. 3, pp. 293–333.
18. Tokarev Yu., Sibirtsova E., Mashukova O. Bioluminescence characteristics changeability of ctenophore *Beroe ovata* Mayer 1912 (Beroida) in ontogenesis. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 2012. vol. 12, no. 5, pp. 479–484. Available at: http://www.trjfas.org/uploads/pdf_530.pdf [accessed 2015.12.17].
19. Ward W.W., Cormier M.J. Biochemistry extraction of *Renilla*-type luciferin from the calcium-activated photoproteins aequorin, mnemiopsin, and berovin. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 1975, vol. 72, no. 7, pp. 2530–2534.

Поступила 10 декабря 2015 г.

Variability of *Mnemiopsis leidyi* A. Agassiz (Ctenophora: Lobata) bioluminescence in relation to regeneration.

O. V. Mashukova, Yu. N. Tokarev. Our previous works have been shown the light-emission of *Mnemiopsis leidyi* A. Agassiz, 1865 and *Beroe ovata* Mayer, 1912 is species-specific and variability of bioluminescence parameters (amplitude, energy and also light-emission duration) depending on temperature, food supply and other factors. Revealing of *M. leidyi* light-emission variability during their regeneration after impact of predaceous organism *B. ovata* was the aim of our investigations. Definition of ctenophores bioluminescence characteristics was carry out on the laboratory complex “Light”. The ctenophore bioluminescence was investigated by method of mechanical and chemical stimulation. The ctenophores, which were seriously injured but preserved their statocyst intact, went on actively moving but the characteristics of their light-emission lessened to minimal – $17.08 \cdot 10^8 \text{ quantum} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2}$ and 1.37 s under chemical stimulation, and $14.85 \cdot 10^8 \text{ quantum} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2}$ and 1.25 s under the mechanical impact, respectively. Having completed regeneration and restored the body weight to the initial, the ctenophores maximally increased light emission – to $332.33 \pm 16.61 \cdot 10^8 \text{ quantum} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2}$ under the chemical stimulation and to $219.45 \pm 10.97 \cdot 10^8 \text{ quantum} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2}$ under the mechanical excitation. Assumptions of the factors having an impact on *M. leidyi* regeneration intensity and their luminescence variability of throughout this process are made. Consequently, the possibility of bioluminescence applying for species ecology specification is shown.

Keywords: ctenophores, regeneration, light-emission characteristics, Black Sea



УДК 582.261.1:57.06(262.5)

МОРСКОЙ БИОЛОГИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

2016. Т. 1. № 1. С. 43-63

ISSN 2499-9768 print

ISSN 2499-9779 online

Е. Л. Неврова, докт. биол. наук, в. н. с.

ФГБУН «Институт морских биологических исследований имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, РФ

СТРУКТУРНЫЕ ОСНОВЫ РЕГИОНАЛЬНЫХ ОТЛИЧИЙ ТАКСОНОМИЧЕСКОГО РАЗНООБРАЗИЯ ДОННЫХ ДИАТОМОВЫХ (BACILLARIOPHYTA) ЧЁРНОГО МОРЯ

Важной задачей сохранения микроводорослей Чёрного моря является оценка разнообразия диатомовой флоры и выявление закономерностей его формирования. Работа сфокусирована на анализе разнообразия бентосных диатомовых в регионах северного шельфа Чёрного моря и причин их различий на разных уровнях таксономической иерархии. На основе собственных и литературных данных проведена ревизия региональных флор Bacillariophyta и осуществлена оценка разнообразия с помощью индексов таксономической отличительности TaxDI. Современное таксономическое богатство диатомовых бентоса Чёрного моря насчитывает 1094 вида и ввт (953 вида, 149 родов, 61 семейство, 32 порядка и 3 класса). У берегов Крыма отмечено 884 вида и ввт (81% общего числа видов диатомовых Чёрного моря), в СЗЧМ – 556 (51%), у побережья Болгарии – 271 (25%), Румынии – 358 (33%), Кавказа – 310 (28%). Прослежено отклонение показателей индексов TaxDI от среднеожидаемого уровня для Чёрного моря в целом, которое зависит от строения филогенетических ветвей в каждом из трёх классов. Наибольшее влияние на формирование древа Bacillariophyta оказывают олиго- и моновидовые ветви. Характер отклонения структуры региональных флор диатомовых от среднеожидаемого уровня обусловлен видами, формирующими моно- или олиговидовую ветвь вплоть до уровня порядка. Подобные 33 вида отмечены в нескольких регионах. При их исчезновении из состава региональной флоры элиминируется целая ветвь из иерархического древа диатомовых, поэтому им присвоен ранг высокой таксономической исключительности. Особо выделена группа из 12 регион-специфичных видов с рангом наивысшей исключительности, обнаруженных однократно лишь в одном из регионов. Элиминация такого вида из флоры региона приводит к редукции моновидовой ветви (включая род, семейство и порядок) из флоры всего Чёрного моря. Это вызовет снижение таксономического разнообразия и изменение структуры древа Bacillariophyta как конкретного региона, так и архитектоники древа Bacillariophyta Чёрного моря в целом. Структура регионального древа диатомовых Крымского региона близка к среднеожидаемой структуре флоры Чёрного моря. Минимальное значение индекса TaxDI для Крыма (81.38) указывает на большую долю поливидовых ветвей в структуре древа, его максимальную видовую насыщенность (вид/род=7) и пониженную вертикальную выровненность. У Румынии значение TaxDI максимально (85.9), что обусловлено значительной долей моно- и олиговидовых ветвей и минимальной насыщенностью видами в структуре древа (вид/род=4).

Ключевые слова: донные диатомовые, Чёрное море, индексы таксономической отличительности, ранг таксономической исключительности, иерархическое древо Bacillariophyta, моно-, олиго-, поливидовые ветви.

За более чем столетний период исследований донных диатомовых Чёрного моря накоплен обширный материал по различным районам северного шельфа. Видовое богатство Bacillariophyta, по оценкам разных авторов, насчитывает до 200 000 видов [24], и его познание требует значительных усилий. Не-

смотря на то, что уже создано несколько синописов [3, 7, 8, 11], охват таксонов диатомовых бентоса далеко не завершен, поскольку значительная часть сублиторали, включая южную часть Чёрного моря, не исследована. Каждый изученный район прибавляет множество новых находок и видов, требующих

описания. Изменения в таксономии и появление данных по молекулярно-генетическим исследованиям также требуют регулярной инвентаризации. Отметим, что анализ флоры черноморских Bacillariophyta ранее был проведён на основе только ботанических подходов [3, 7, 8]. Таким образом, необходима система динамично обновляющихся знаний для создания списка видов диатомовых Чёрного моря и оценки их разнообразия, что является важнейшей задачей для сохранения и сбалансированного использования биоты.

Целью нашей работы является сравнительный анализ таксономического разнообразия бентосных диатомовых в регионах северного шельфа Чёрного моря и выявление причин их различий. Для этого необходимо провести ревизию флор на основе объединения собственных и литературных данных по различным регионам северного шельфа Чёрного моря и осуществить количественную оценку разнообразия Bacillariophyta с помощью формализованных методов.

Материал и методы. В основу работы положен собственный материал, собранный на 20 полигонах в северной части Чёрного моря (17 полигонов у побережья Крыма, 2 – у побережья Кавказа, 1 – в районе Филлофорного поля Зернова. Всего обработано 554 пробы; выполнено 6056 микрофотографий на световом, 1365 – на сканирующем электронном микроскопе [4]. Проведена ревизия литературных данных из более чем 60 источников по исследованиям донных диатомовых у побережья Болгарии, Румынии, Крыма и Кавказа, а также северо-западной части Чёрного моря. Составленные для каждого региона списки видов дополнили таксономический банк знаний, созданный в программе ACCESS [27].

Количественная оценка таксономического разнообразия донных диатомовых подразумевает анализ иерархической организации таксоцена Bacillariophyta, состоящего из трёх классов (Coscinodiscophyceae, Fragilariophyceae, Bacillariophyceae), каждый из которых обладает определенной таксономической структурой. Разнообразие донных диатомовых оценено с помощью расчёта индекса таксономической отличительности TaxDI [32, 33], который определяет среднюю степень филогенетического сходства между встреченными видами диатомовых [5, 28]. Отличие индекса TaxDI от широко известных индексов видового разнообразия Шеннона, Симпсона, Маргалефа, Пилу состоит в том, что их количественная величина определяется чис-

лом видов (или биомассой особей) и выровненностью распределения особей между видами. Вследствие этого, упомянутые индексы можно применять для оценки разнообразия только при условии, когда методы отбора количественных проб, число и объем проб, а также характер биотопов известны и сопоставимы. Однако при анализе полученных в разное время разнородных массивов исторических данных, для которых неизвестны усилия пробоотбора, размер и количество отобранных проб, а также условия биотопов, применение данных индексов видового разнообразия недостаточно эффективно или вообще невозможно, поскольку не позволяет получить надёжные выводы [5, 21, 23].

Напротив, индекс TaxDI (и его составляющие – индекс средней таксономической отличительности Δ^+ и его вариабельности Λ^+) не имеют вышеотмеченных методических ограничений, а одним из его основных преимуществ является независимость от числа видов, обнаруженных при анализе различного количества проб в масштабах полигона или региона. Это позволяет выявлять региональные различия таксономической структуры диатомовых бентоса и оценивать отклонения значений индексов под воздействием экологических факторов от ожидаемого среднего уровня, рассчитанного для всего Чёрного моря в целом, используя массивы исторических данных, зачастую представленные лишь простыми списками видов. Характер распределения на графике точек, соответствующих отдельным пробам, содержащим разное число особей или видов, формирует воронку, суженная часть которой асимптотически приближается к условной средней величине TaxDI. Положение среднеожидаемой величины по отношению к оси ординат остаётся практически неизменным и не зависит от числа видов в пробах [32, 33].

Для оценки разнообразия только по списку видов и при неизвестном количестве проб индексы Δ^+ и Λ^+ [32, 33] наиболее корректны. Они позволяют выявить аспекты разнообразия в биотопе на основе иерархического древа таксоцена, статистически достоверно оценить региональные различия таксономической структуры и охарактеризовать отклонения значений индекса от среднеожидаемого уровня. Применение обоих индексов для сравнительного анализа исторических данных, представленных как в количественном формате, так и в форме списков видов, позволяет получить статистически надёжную межрегиональную оценку структуры таксоценов в условиях влияния различ-

ных экологических факторов. Выявленные различия индексов Δ^+ и Λ^+ будут наиболее надежными при проведении анализа структуры, начиная с субвидового уровня, т.к. в этом случае при расчёте усредненных длин таксономического пути (на основе которых строятся 95% доверительные воронки) учитывается наибольшее число иерархических уровней (в нашем анализе – 7, от внутривидового таксона до отдела). Индексы таксономической отличительности (TaxDI) для оценки таксономического разнообразия таксоценов диатомовых для регионов северной части Чёрного моря рассчитаны с помощью программы PRIMERv5 [16, 17, 32, 33].

Индекс средней таксономической отличительности AvTD (Δ^+) рассчитан как средняя условная «длина пути» между каждой парой видов, случайным образом взятых из регионального списка, до филогенетически общего узла на иерархическом древе таксоценов (формула 1):

$$\Delta^+ = [\sum_{i < j} \omega_{ij}] / [S(S-1)/2] \quad (1),$$

где: ω_{ij} – таксономическая длина пути между видами i и j ; S – число видов в сообществе.

Показатель Δ^+ характеризует вертикальную таксономическую «выровненность» таксоценов диатомовых данного региона, т.е. пропорциональность в соотношении числа таксонов на предыдущем и последующем таксономическом уровнях вдоль условного таксономического древа таксоценов.

Индекс вариативности VarTD (Λ^+) – это дисперсия попарных длин путей (ω_{ij}) между парами видов i и j по отношению к их средней величине (Δ^+) (формула 2):

$$\Lambda^+ = \{[\sum_{i < j} \omega_{ij}^2] / [S(S-1)/2]\} - [\Delta^+]^2 \quad (2).$$

Показатель Λ^+ отражает горизонтальную ассиметричность таксономического древа по отношению к среднеожидаемому уровню, т.е. разную представленность низших таксонов в высших в пределах отдельных ветвей древа, замыкающихся на различных иерархических уровнях [32, 33].

Комбинация значений AvTD и VarTD на двухмерном графике позволяет визуально отображать особенности таксономической структуры сравниваемых таксоценов диатомовых и обеспечивает надёжные выводы о различиях в структуре таксоценов в разных экологических условиях. Рассчитанные значения Δ^+ и Λ^+ обычно располагаются графически в виде воронки, сходящейся в направлении увеличения числа обнаруженных видов (ось

ОХ). Границы такой воронки оконтуривают с 95% вероятностью пределы изменений средних величин таксономических расстояний и определяются на основе 1000-кратных случайных попарных перекombинаций.

Воронка создаётся для ряда дискретных случайно выбранных подмножеств ($m = 20, 30, 40, \dots, 500$ и т.д.) видов (либо более высоких таксономических категорий) из всего списка видов (мастер-листа) в виде результирующих верхнего и нижнего пределов значений Δ^+ и Λ^+ по отношению к среднеожидаемым расчётным значениям m . Положение точек значений индексов по отношению к границам воронки характеризует вероятность отклонения от нулевой гипотезы об отсутствии достоверных отличий между значениями Δ^+ или Λ^+ , рассчитанными для флоры донных диатомовых конкретного региона и усредненными значениями этих индексов, рассчитанными для всего списка видов Чёрного моря. Положение каждого значения индекса TaxDI на таком графике соответствует реальной станции (или пробе), что позволяет сравнивать различия в таксономической структуре и отклонения от среднеожидаемого уровня, рассчитанного для всего мастер-листа [32, 33].

При расчётах показателей TaxDI рассматривается идеальное филогенетическое древо, представляющее филогенетические взаимоотношения отдельных видов. Такое условное древо будет разделяться на кладограммы, в которых реальная степень близости (длина ветвей) между соседними таксономическими уровнями может быть определена с помощью молекулярных методов. Хотя в настоящее время эти методы применяются довольно широко, но для огромного большинства таксонов диатомовых такая информация пока недоступна. Применение же показателей таксономической отличительности позволяет количественно оценить длину ветвей между иерархическими уровнями таксономического древа.

Очевидно, что математический «вес» данного параметра должен возрастать по мере повышения рассматриваемого уровня. В расчётах принята следующая градация длины ветвей, соответствующая значимости каждого из возрастающих таксономических уровней (PRIMERv5): ввт – 3.5705, вид – 26.971, род – 43.256, семейство – 56.426, порядок – 81.532, класс – 100, отдел – 100.

Для решения задач нашей работы использована иерархическая классификация К. Линнея как основа для построения филогенетичес-

ких кладограмм. При этом таксономическое древо таксоцена диатомовых будет иметь 3 и более ветвей, исходящих из одного узла, тогда как в «правильных» кладограммах ветви могут разделяться только дихотомически [33].

Сходство между станциями оценено по коэффициенту Брэй-Куртиса [13]. Построение иерархического древа Bacillariophyta Чёрного моря выполнено в программе Dendroscope 2.7.4 [18].

Результаты и обсуждение. В результате объединения материалов собственных исследований (1985 – 2011) и опубликованных данных по 5 регионам (шельфы Болгарии, Румынии, СЗЧМ, Крыма и Кавказа) составлен чек-лист донных диатомовых Чёрного моря. По сравнению с последними данными [8, 26], он обновлён и к настоящему времени охватывает 1094 вида и ввт, принадлежащих к 953

видам, 149 родам, 61 семейству, 32 порядкам и 3 классам [4] (табл. 1). При составлении списка учтены все доступные нам изменения в таксономической системе Bacillariophyta [2, 14, 15, 19, 20, 22, 29, 30, 31, 34].

Наибольшее видовое богатство донных диатомовых отмечено у берегов Крыма – 882 вида и ввт (80.6% общего числа видов и ввт, зарегистрированных в Чёрном море) и СЗЧМ – 556 видов и ввт (50.6%), после исключения предположительно стенобионтных форм, обнаруженных лишь однократно в лиманах с исключительными экологическими условиями. В других регионах количество видов несколько ниже: у побережья Румынии – 357 видов и ввт (32.6%), Болгарии – 270 (24.7%), Кавказа – 309 (28.2%).

Табл. 1 Представленность бентосных Bacillariophyta в Чёрном море
Table 1 Representativeness of Bacillariophyta at the Black Sea

Класс	Порядок	Семейство	Род	Вид	Ввт
Coscinodiscophyceae	13	19	31	92	106
Fragilariophyceae	9	10	31	87	100
Bacillariophyceae	10	32	87	774	888
Всего	32	61	149	953	1094

Таксономическое сходство региональных флор донных диатомовых между всеми изученными районами Чёрного моря проанализировано с помощью коэффициента Брей-Куртиса по возрастающим уровням иерархического древа, то есть на уровне внутривидовых таксонов, видов, родов, семейств и порядков (табл. 2).

Отмеченное ранее [5] возрастание степени сходства при рассмотрении таксономических уровней более высокого ранга вызвано последовательным упрощением строения региональных таксономических древ при исключении более разветвленных низших уровней иерархии. Наиболее объективная оценка сходства состава флоры для разных пар регионов получается при сравнении разнообразия на самом низшем иерархическом уровне – уровне внутривидовых таксонов и видов.

Максимальное сходство состава диатомовой флоры, рассчитанное по коэффициенту Брей-Куртиса для всех таксономических уровней, выявлено для прибрежных регионов Крым – СЗЧМ, где значения этого коэффициента достигали соответственно 61.1, 61.7, 96.5, 96.5 и 94.9. Вторая по значимости величина коэффициента отмечена на уровнях ввт и видов для регионов СЗЧМ – Румыния, а на уровнях родов, семейств и порядков – между регионами Кавказ – Румыния. Наименьших значений коэффициент сходства достигал для регионов Крым – Болгария (на всех уровнях) (см. табл. 2). Значения сходства между всеми остальными регионами находятся в диапазоне 50 – 80 %. Очевидно, что в пределах каждого региона сформированы комплексы диатомовых со своеобразной таксономической структурой.

Табл. 2 Сходство бентосной диатомовой флоры различных регионов Чёрного моря по возрастающим уровням иерархии (%)

Table 2 Similarity of benthic diatom flora from different Black Sea's regions along ascensional hierarchical levels (%)

	Болгария	Румыния	СЗЧМ	Крым
Виды и ввт				
Румыния	53.4	*	*	*
СЗЧМ	51.0	59.9	*	*
Крым	36.3	41.8	61.1	*
Кавказ	52	55.5	56.4	49.9
Виды				
Румыния	59.2	*	*	*
СЗЧМ	54.3	60.8	*	*
Крым	36.5	42.6	61.7	*
Кавказ	54.8	59.8	58.2	49.8
Роды				
Румыния	74.5			
СЗЧМ	72.3	76.6		
Крым	67.3	73.5	88.8	
Кавказ	74.8	78.4	76.8	78.3
Семейства				
Румыния	79.5			
СЗЧМ	79.2	81.6		
Крым	78.7	85.1	96.5	
Кавказ	85.7	90.2	86.5	87.9
Порядки				
Румыния	80.9			
СЗЧМ	82.4	85.7		
Крым	80.0	90.9	94.9	
Кавказ	82.6	94.1	87.3	92.6

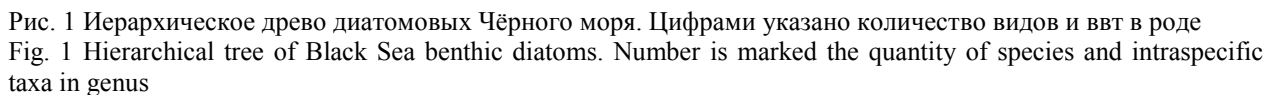
Для более наглядного представления архитектоники иерархического дерева таксоцена донных диатомовых Чёрного моря построена его циклограмма (рис. 1).

Структура иерархического дерева таксоцена диатомовых может быть разделена на три типа элементов: моновидовые ветви содержат только один вид, олиговидовые – два, поливидовые – три вида и более. Для выявления причин, в наибольшей степени определяющих структуру дерева диатомовых бентоса, рассчитаны соотношения числа видов на иерархических ветвях с различной видовой насыщенностью на возрастающих таксономических уровнях. Проведена оценка ранга таксономической исключительности видов по степени разветв-

ленности ветви (см. рис. 1) и встречаемости вида в регионах.

Виды из семейств с высокой насыщенностью сливаются в общую ветвь уже на уровне рода или семейства. Эти виды близки филогенетически, поэтому элиминация одного или нескольких таких видов из флоры региона не приведет к исчезновению ветви на уровне рода, семейства и порядка, и в целом мало скажется на общей структуре иерархического дерева. Такие виды характеризуются низким рангом таксономической исключительности.

Виды, формирующие моно- или олиготаксонную ветвь вплоть до уровня порядка и встреченные в нескольких регионах, обладают рангом высокой таксономической исключи-



В составе моно- и олиговидовых таксонов особо выделены регион-специфичные виды, встреченные только в одном из изученных регионов, которым присвоен ранг наивысшей таксономической исключительности. У берегов Крыма выявлено 6 таких видов, у Румынии и в СЗЧМ – по 3 (табл. 4).

Табл. 3 Виды с высоким рангом таксономической исключительности

Table 3 Species with high rank of taxonomic exclusiveness

Вид	Род	Сем.	Пор.	Класс	Регион		
<i>Actinoptychus senarius</i>	1	1	1	Coscinodiscophyceae	Болгария, СЗЧМ, Крым		
<i>Aulacoseira distans</i>	1	1	1		Румыния		
<i>Aulacoseira granulata</i>					Румыния, СЗЧМ, Крым		
<i>Aulacoseira islandica</i>					Румыния		
<i>Aulacoseira italica</i>					Румыния, СЗЧМ		
<i>Asteromphalus flabellatus</i>	1	1	1		Румыния, Кавказ		
<i>Asteromphalus robustus</i>	1	1	1		Румыния, Крым		
<i>Anaulus minutus</i>					Болгария, СЗЧМ,Крым		
<i>Auliscus sculptus</i>					СЗЧМ, Крым		
<i>Cerataulus smithii</i>					СЗЧМ,Крым, Кавказ		
<i>Cerataulus turgidus</i>	1	1	1		Румыния, Крым		
<i>Pleurosira laevis</i>	1	1	1		Румыния, СЗЧМ, Крым		
<i>Triceratium antediluvianum</i>	1				Все регионы		
<i>Bacteriastrum hyalinum</i>	1				1	1	СЗЧМ, Крым
<i>Paralia sulcata</i>	1				1	1	Все регионы
<i>Glyphodesmis distans</i>	1	1	1		Все регионы		
<i>Cymatosira belgica</i>	1	1	1		Крым, СЗЧМ, Кавказ		
<i>Plagiogrammopsis</i> sp.	1				Крым		
<i>Endictya oceanica</i>	1	1	1		Румыния, СЗЧМ, Крым, Кавказ		
<i>Biddulphia rostrata</i>	1	1	1		СЗЧМ, Крым, Кавказ		
<i>Biddulphia vesiculosa</i>					Румыния		
<i>Ardissonea crystallina</i>	1	1	1	Fragilariophyceae	Все регионы		
<i>Ardissonea baculus</i>					Все регионы		
<i>Ardissonea robusta</i>					Крым		
<i>Climacosphenia moniligera</i>	1	1	1		СЗЧМ, Болгария		
<i>Delphineis minutissima</i>	1	1	1		СЗЧМ, Крым		
<i>Delphineis surirella</i>					СЗЧМ, Крым, Кавказ		
<i>Rhaphoneis ampiceros</i>	1	1	1		Крым, Кавказ		
<i>Psammodiscus nitidus</i>	1				1	1	Все регионы
<i>Thalassionema nitzschioides</i>	1				1	1	Все регионы
<i>Toxarium undulatum</i>	1				1	1	Все регионы
<i>Anomoeoneis spaerophora</i>	1	1	1	Bacillario- phyceae	СЗЧМ, Крым		
<i>Proschkinia complanatoides</i>	1	1	1		СЗЧМ, Крым		

Табл. 4 Регион-специфичные виды диатомовых с наивысшим рангом таксономической исключительности

Table 4 Region-specific diatom species with highest rank of taxonomic exclusiveness

Вид	Род	Сем	Пор	Класс	Регион
<i>Brachysira aponina</i>	1	1	1	Bacillariophyceae	СЗЧМ
<i>Proshkinia complanatula</i>	1	1			СЗЧМ
<i>Cavinula lacustris</i>	1	1			Румыния
<i>Neidium binodis</i>	1	1			Крым
<i>Amicula specululum</i>	1	1			
<i>Astartiella bahusiensis</i>	1	1	1		
<i>Astartiella producta</i>					
<i>Astartiella</i> sp.1DV	1				
<i>Pauliella taeniata</i>	1				
<i>Stictodiscus nitidus</i>	1	1	1	Coscinodiscophyceae	СЗЧМ
<i>Orthoseira roeseana</i>	1	1	1		Румыния
<i>Hannaea arcus</i>	1	1	1	Fragilariophyceae	

Элиминация подобного вида из флоры региона приводит к исчезновению целой филогенетической ветви (включая род, семейство или порядок со специфическим геномом) из флоры Чёрного моря. Это может вызвать понижение таксономического разнообразия и заметные изменения структуры таксоцены как конкретного региона, так и архитектуры иерархического дерева Bacillariophyta Чёрного моря в целом.

Следует отметить, что виды *Orthoseira roeseana* и *Hannaea arcus*, зарегистрированные у побережья Румынии Н. Бодяну [12], относятся к пресноводно-солонатоводным формам, и не достигают массового развития в морском микрофитобентосе.

При проведении сравнительного анализа для разных таксономических групп зообентоса было показано [33], что изменение числа филогенетически близких видов в общем списке на 7 – 10 % (в ту или иную сторону) не приводит к заметным изменениям в результатах расчетов индексов TaxDI. Учитывая это, в нашем случае при изначальном числе донных диатомовых Чёрного моря в 1094 видов и ввт, заметные изменения в результатах анализа последуют только после изменения общего числа видов в списке более чем на 100 – 110 единиц.

Однако появление или исчезновение даже малого числа филогенетически обособленных видов с рангом высокой и наивысшей таксономической исключительности может привести к заметному изменению структуры таксономического дерева региональной флоры и значений индексов TaxDI, что определяет значимость подобных видов в отношении их сохранения. Виды с рангом высокой и наивысшей таксономической исключительности, филогенетически обособленные от остальных видов в таксоцене, имеют высший приоритет

сохранения по сравнению с видами, филогенетически близкими со многими другими, поскольку обособление видов из первых групп происходит на более высоком уровне таксономического дерева. Если хотя бы один вид из данной таксономической группы уже находится под охраной, то для сохранения эволюционно более широкого ряда представителей из этой группы, по возможности, необходимо сохранять виды, как можно более таксономически обособленные друг от друга.

Нам пока неизвестны случаи применения на практике методов сравнительной оценки таксономической отличительности при выборе видов или мест обитания, в которых эти виды обнаружены, с целью их сохранения. Результаты подобных разработок либо пока не приняты во внимание как критерии сохранения морского биоразнообразия, либо практическое применение индексов таксономической отличительности для отбора ключевых видов, имеющих статус приоритетного сохранения, объяснено недостаточно убедительно [4, 5, 33].

Далее на основе обновленного списка видов из пяти вышеуказанных регионов Чёрного моря с помощью индекса TaxDI [32, 33] рассчитано среднее значение индекса (Δ^+) и его вариабельности (Λ^+) для таксоценов диатомовых бентоса из этих регионов. Также оценено их отклонение от среднеожидаемого уровня для всего моря и проведён межрегиональный анализ таксономического разнообразия и структуры таксоценов диатомовых [4].

Значения индексов Δ^+ (рис. 2 А) и Λ^+ (рис. 2 В) на графике располагаются в пределах 95 % доверительной воронки или эллипса, спроецированных на плоскость и сужающихся в направлении увеличения числа видов в выбранном подмножестве.

Положение точек по отношению к границам воронки характеризует достоверность отклонения значения индексов таксономической отличительности от среднеожидаемых

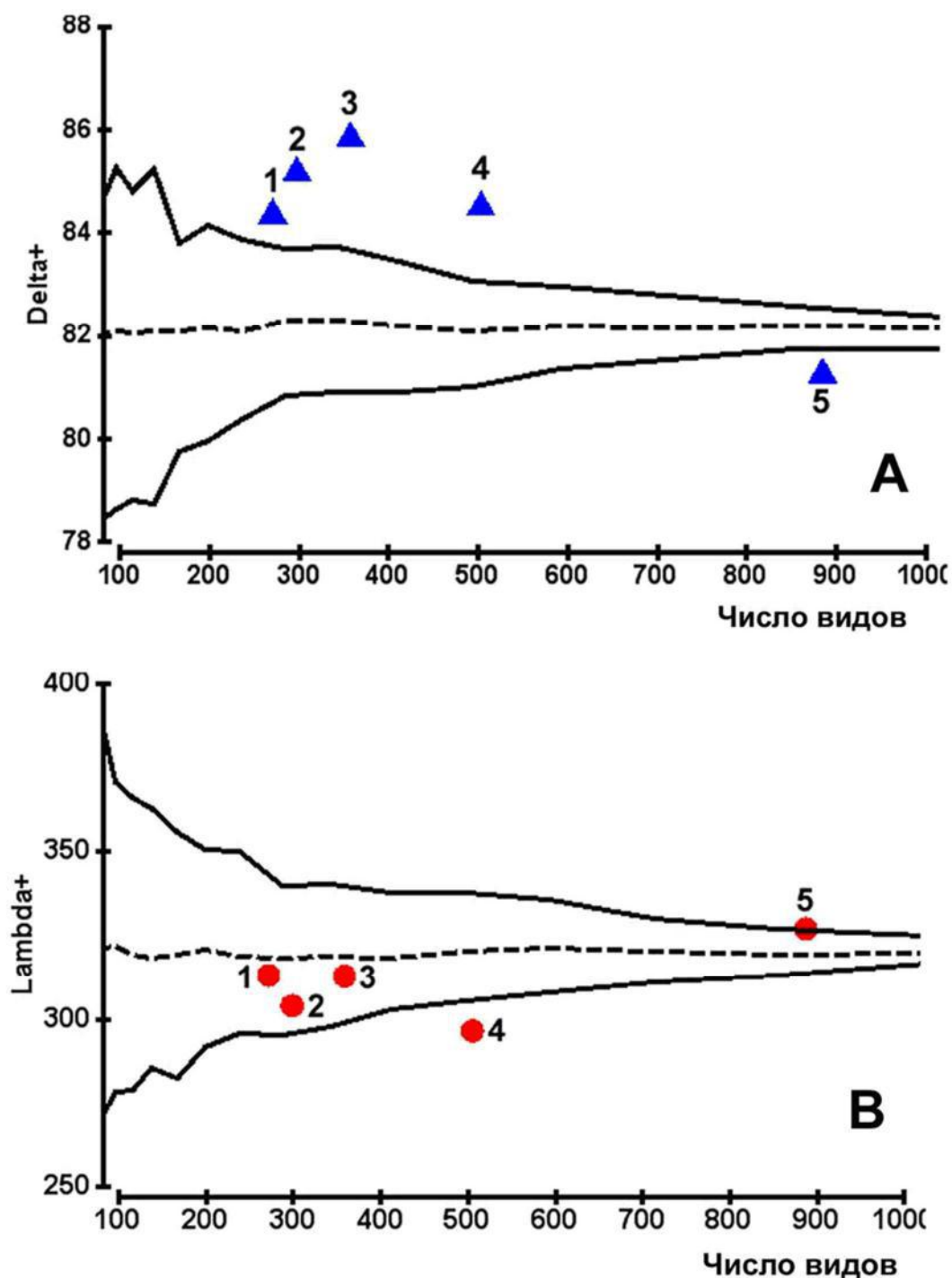


Рис. 2 Оценка таксономического разнообразия бентосных диатомовых (Bacillariophyta) в различных регионах Чёрного моря: А – на основе индекса Δ^+ ; В – на основе индекса Λ^+ . 1 – побережье Болгарии, 2 – побережье Кавказа, 3 – побережье Румынии, 4 – северо-западная часть Чёрного моря, 5 – побережье Крыма
 Fig. 2 Taxonomical diversity of benthic diatoms (Bacillariophyta) from the Black Sea different regions: A – based on Δ^+ calculating; B – based on Λ^+ calculating. 1 – Bulgarian coast; 2 – Caucasian coast; 3 – Romanian coast; 4 – Northern-Western part of the Black Sea; 5 – coast of Crimea

значений этих показателей, рассчитанных для всего списка видов. Доверительная воронка оконтуривает пределы изменений средних величин таксономических расстояний, рассчитанных между каждыми двумя видами в таксоцене диатомовых, выделенными при 1000-кратных случайных попарных выборках для каждого подмножества видов.

На уровне видов и ввт значение Δ^+ для таксоценов диатомовых у побережья Крыма наиболее низко (81.38 ± 0.2) и почти достигает среднеожидаемого значения для всей черноморской флоры Bacillariophyta (82.14). Это обусловлено большой долей поливидовых ветвей в строении иерархического дерева, что приводит к понижению вертикальной выровненности в структуре таксоцена диатомовых данного региона.

В то же время значения индекса Δ^+ для остальных регионов намного выше (для СЗЧМ – 84.07 ± 0.2 , для Болгарии – 84.45 ± 0.6 , для Кавказа – 85.1 ± 0.2), с максимумом для региона Румынии (85.9 ± 0.2), существенно превышающим верхнюю границу 95 % доверительной воронки (см. рис. 2 А). Это указывает на значительную долю олиговидовых ветвей, замыкающихся на таксономических уровнях рода и семейства, и определяет более уплощенную модель таксономической структуры сообществ диатомовых у берегов Румынии, Болгарии и Кавказа.

В структуре таксоцена диатомовых у берегов Румынии, по сравнению с другими регионами, в большей степени представлены олиговидовые таксономические группы, влияющие на увеличение значений Δ^+ . Помимо этого, более высокая, по сравнению со среднеожидаемой, выровненность иерархической структуры определяется и большой долей в составе таксоцена диатомовых у румынского побережья видов, которые формируют монотаксонные ветви, то есть последовательно агрегируются в один род, семейство, порядок. Таковыми у побережья Румынии являются виды с рангом высокой (*Aulacoseira distans*, *A. granulata*, *A. islandica*,

A. italica, *Asteromphalus flabellatus*, *A. robustus*, *Cerataulus turgidus*, *Pleurosira laevis*, *Endictya oceanica*, *Biddulphia vesiculosa*) и наивысшей (*Orthoseira roeseana*, *Hannaea arcus*, *Cavinula lacustris*) таксономической исключительности (см. табл. 3 и 4). Именно такие моновидовые ветви, как указывалось выше, характеризуются наибольшим приоритетом сохранения, поскольку их исчезновение может вызвать потерю целого таксона высокого ранга – семейства или даже порядка, что существенно нарушает всю структуру иерархического дерева региональной флоры и снижает значение индекса Δ^+ .

В целом структура филогенетического дерева таксоцена диатомовых региона Румынии характеризуется высокой таксономической выровненностью наряду с широкой вариабельностью, что встречается нечасто. Обычно взаиморасположение точек на графиках Δ^+ и Δ^+ носит «зеркальный» характер (см. пример региона Болгарии).

Сходные тенденции выявлены и для региона Кавказа, точка индекса Δ^+ которого также расположена на графике выше границы вероятностной воронки (см. рис. 2 А). Подобная картина может быть обусловлена наличием в составе региональной флоры диатомовых следующих видов, формирующих монотаксонные ветви: *Asteromphalus flabellatus*, *Cymatoseira belgica* Grunow, *Biddulphia rostrata* var. *alata*, *Delphineis surirella*. Проведенные нами ранее [4, 5] модельные расчёты по изучению характера изменения индекса Δ^+ в зависимости от присутствия в структуре таксоцена видов с высоким рангом исключительности показали, что при исчезновении всего четырёх вышеотмеченных видов у побережья Кавказа расчётное значение Δ^+ снизится до 84.8. Если учесть, что для северо-кавказского региона 95 % доверительный диапазон расчетных значений Δ^+ при 1000-кратной выборке случайных пар внутривидовых таксонов находится в пределах ± 0.2 , то уменьшение значения Δ^+ приведёт к заметному снижению таксономического разнообразия и, как следствие, к редуцированию

структуры иерархического дерева флоры диатомовых региона.

Таким образом, присутствие или отсутствие лишь немногих видов, формирующих моноксонные ветви и имеющих ранг высшей таксономической исключительности, оказывает существенное влияние на структуру иерархического дерева таксоцена, изменяя положение точки Δ^+ региона по отношению к границам доверительной воронки на графике. Именно определённое соотношение различных по степени насыщенности внутривидовыми таксонами ветвей на иерархическом древе диатомовых региона Румынии и обуславливает его отличительность по характеру компонентов выровненности (Δ^+) и варибельности (Λ^+) таксономической структуры, как по сравнению с другими регионами, так и со среднеождаемыми значениями этих показателей, рассчитанными для всего Чёрного моря.

Значения Δ^+ , соответствующие шельфовой зоне Болгарии (84.45) и СЗЧМ (84.07), также лежат на графике вблизи или немного выше 95 % границы вероятностной воронки. Значение Δ^+ для акватории Крыма (81.38) на графике расположено немного ниже 95 % границы вероятностной воронки и вблизи линии среднеождаемого значения Δ^+ , рассчитанного для флоры Чёрного моря. Это позволяет говорить о том, что на шельфе Крыма выровненность филогенетической структуры таксоцена диатомовых характеризуется значениями, близкими к среднеождаемому для всего моря. Вдоль всего иерархического дерева, начиная с субвидового уровня, наблюдается пропорциональность в отношении числа низших таксонов к высшим, при последовательной агрегации к вышележащим иерархическим уровням. Полученная модель таксономического разнообразия обусловлена максимальной видовой насыщенностью в структуре таксоцена диатомовых у побережья Крыма (вид / род = 7), по сравнению с минимальной насыщенностью в структуре флоры у побережья Румынии (4.2). Отметим, что если наличие (или исчезновение)

моно- и олиговидовых таксонов в отдельных регионах влечёт заметное смещение точек на графике индекса таксономической отличительности (Δ^+), то варибельность таксономической структуры (Λ^+) меняется при этом слабо.

При оценке варибельности распределения таксонов вдоль иерархического дерева только точки, соответствующие регионам Болгарии, Кавказа, Румынии и Крыма, на графике (рис. 2 В) расположились вблизи среднеождаемого значения индекса Λ^+ , которое рассчитано как среднее из 1000 случайных комбинаций значений Λ^+ при учёте ряда подмножеств, содержащих разное число подвидов (50, 60, 70 ... 550). Такие результаты означают, что характер агрегированности низших таксонов в таксоны более высокого ранга для вышеотмеченных регионов достаточно сходен с характером агрегированности таксонов вдоль иерархического дерева, которое соответствует общему списку видов для всего Чёрного моря.

Показатель Λ^+ , характеризующий варибельность индекса TaxDI Δ^+ , для большинства районов находится в пределах 95 % воронки, за исключением СЗЧМ. Такое низкое значение индекса Λ^+ (293.0 ± 0.2) указывает на незначительную варибельность таксономического разнообразия таксоценов диатомовых бентоса в данном регионе. Для шельфа Крыма показатель индекса Δ^+ (327.13 ± 4.2) находится у верхнего предела 95 % вероятности, что свидетельствует о широкой варибельности таксономического разнообразия таксоценов донных диатомовых крымской сублиторали.

Наши расчёты показали, что при небольшом числе рассматриваемых таксономических уровней (3–4) отмечается обратная связь между изменением значений Δ^+ и Λ^+ . В подтверждение этого факта, для крымского шельфа отмечено высокое значение Δ^+ наряду с минимальными значениями Λ^+ .

Такая же тенденция («зеркальность» положения точек на графиках Δ^+ и Λ^+) выявлена для акваторий СЗЧМ и Кавказа.

Однако в общем виде характер взаимосвязи между этими показателями не всегда описывается обратной зависимостью и определяется, в главной мере, особенностями иерархической структуры таксоцены в каждом отдельном регионе. Существует мнение [25], что колебания индекса Δ^+ больше отражают изменения таксономической структуры сообщества под влиянием, в основном, антропогенного воздействия и эвтрофирования, тогда как колебания индекса Λ^+ определяются, как правило, влиянием природных факторов.

Ещё более наглядно одновременное представление обоих значений индекса TaxDI таксоцены донных диатомовых Чёрного моря по отношению к плоскости бивариантных эллипсов, границы которых соответствуют 95 % вероятностным контурам облака распределения точек значений Δ^+ и Λ^+ , рассчитанных при 1000-кратных случайных комбинациях для ряда подмножеств из разного числа видов (S) (рис. 3).

Напомним, что наша межрегиональная оценка видового богатства диатомовых базируется на компиляции собственных количественных данных с известным числом проб и данных других авторов, представляющих общие списки видов. Такая разнородность первичных данных не позволяет статистически оценить погрешность расчётов разнообразия при межрегиональном сравнении. Учитывая недостаточный уровень изученности видового богатства донных диатомовых при региональных исследованиях (т.е. сравнительно небольшое число проб, по отношению к общей площади региона, состоящего из экологически разнородных биотопов), нам пришлось вынужденно экстраполировать результаты оценки ожидаемого видового богатства локальных выборок на более высокий региональный уровень без строгой проверки достоверности принадлежности выборок генеральной совокупности, как было рекомендовано ранее [9].

В данном случае, результаты расчётов, выполненные на основе ограниченного числа

проб и в пределах локальных участков дна, не следует рассматривать как полностью окончательные; они, безусловно, открыты для последующего уточнения по мере накопления новых данных по видовому составу диатомовых из ранее неисследованных биотопов.

Заметим, что результаты анализа TaxDI с учётом всех зарегистрированных видов флоры бентосных диатомовых Чёрного моря хотя и позволяют выявить межрегиональные отличия в таксономической структуре, но не дают объяснений топологических причин, приводящих к отклонениям региональных значений индексов Δ^+ или Λ^+ от среднеожидаемых значений. Такие отклонения могут быть связаны с неравномерной представленностью в архитектонике каждого регионального древа олиго- и монотаксонных филогенетических ветвей, входящих в состав разных классов Bacillariophyta.

Исходя из вышесказанного, представляется важным проведение сравнительного межрегионального анализа таксономической структуры отдельно по каждому из трёх классов диатомовых, с целью получения дополнительной информации о влиянии таксонов, формирующих их филогенетические ветви, на степень и характер отклонения показателей TaxDI структуры таксоцены от среднеожидаемого уровня в целом.

В классе Coscinodiscophyceae, эволюционно наиболее древнем среди донных диатомовых Чёрного моря, отмечено 106 видов и ввт (см. табл. 1). Рассчитанные точки значений индексов Δ^+ и Λ^+ , соответствующие представителям данного класса из регионов Румынии, СЗЧМ, Крыма и Кавказа, лежат на графиках вблизи среднеожидаемой линии (рис. 4 А, В). Это указывает на сходство структуры региональных флор диатомовых в пределах данного класса с иерархической структурой и среднеожидаемым значениями, рассчитанными исходя из параметров таксономического древа, включающего весь список видов и ввт этого класса в Чёрном море.

-

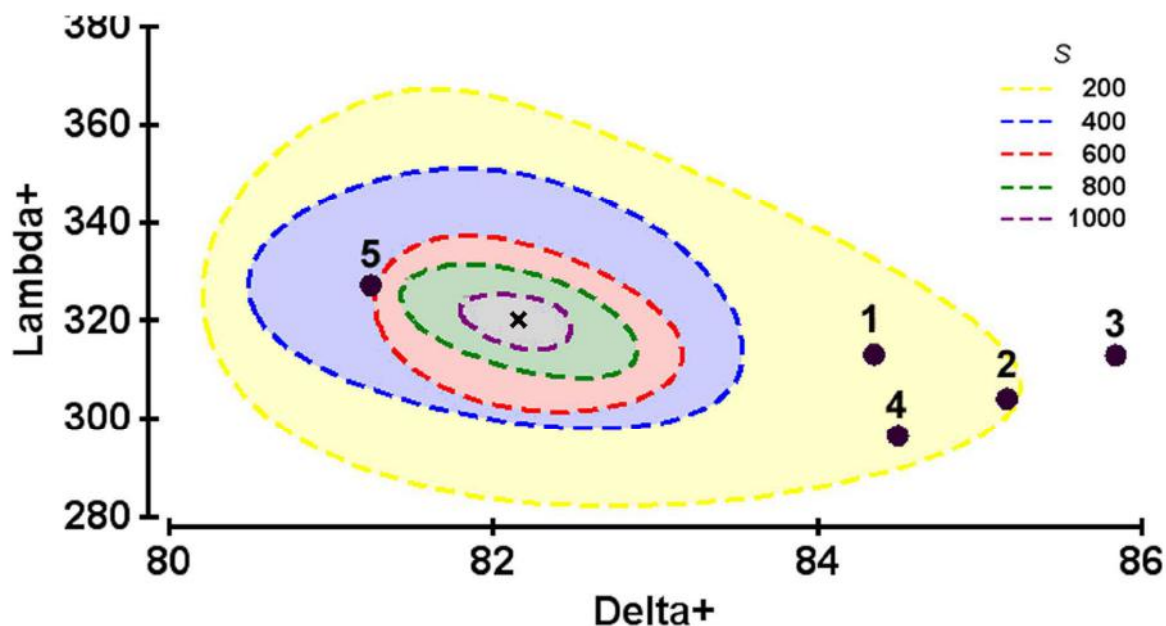


Рис. 3 Расположение на эллипсе значений индекса TaxDI (Δ^+ и Λ^+) для таксоценов диатомовых из регионов: 1 – побережье Болгарии, 2 – побережье Кавказа, 3 – побережье Румынии, 4 – СЗЧМ, 5 – побережье Крыма. × – среднее ожидаемое значение индекса TaxDI, рассчитанное на основе мастер-листа Bacillariophyta всего Чёрного моря

Fig. 3 Taxonomical diversity indices (Δ^+ и Λ^+) on the bivariate ellipse for diatom taxocenes from five regions: 1 – Bulgarian coast, 2 – Caucasian coast, 3 – Romanian coast, 4 – NWBS, 5 – coast of Crimea. × – expected average level of TaxDI, based on master-list of Bacillariophyta for the whole Black Sea

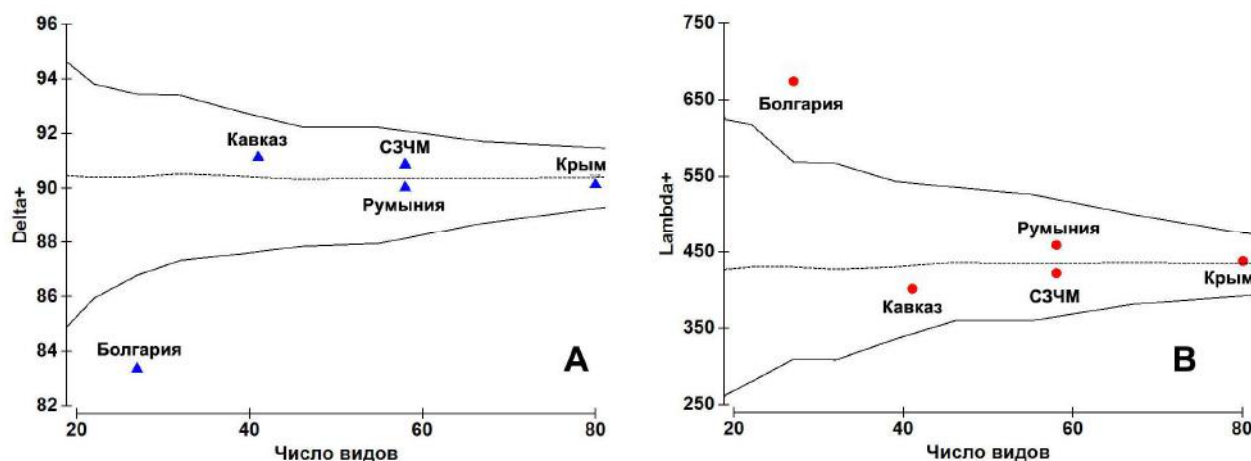


Рис. 4 Индексы TaxDI, рассчитанные по классу Coscinodiscophyceae для каждого из 5 регионов: А – значения индекса Δ^+ ; В – значения индекса Λ^+ ; пунктир – среднее ожидаемое значения индексов для данного класса для всего Чёрного моря

Fig. 4 TaxDI indices calculated for the class Coscinodiscophyceae for every 5 regions: А – Δ^+ value; В – Λ^+ value; dotted line – expected average level of TaxDI, based on list of the class for the whole Black Sea

В регионе Болгарии значение Δ^+ (83.33 ± 0.8), соответствующее классу *Coscinodiscophyceae*, находится на графике за пределами нижней границы 95 % доверительной воронки. Напротив, значение индекса варибельности Δ^+ максимально (673.9), в соответствии с принципом «зеркальности», о котором уже упоминалось выше. Такие исключительные особенности структуры древа диатомовых класса *Coscinodiscophyceae* у берегов Болгарии могут быть объяснены снижением иерархического уровня таксономического разнообразия и минимальной выровненностью.

При рассмотрении таксоцена диатомовых в регионе Болгарии отмечена наибольшая степень агрегированности таксонов низшего уровня в таксоны более высокого ранга. Так, около 56 % общего числа исходных ввт данного класса в этом районе объединяются всего в три наиболее богатых рода (*Coscinodiscus*, *Hyalodiscus* и *Melosira* – 9, 3 и 3 вида соответственно), и около 52 % ввт – в два наиболее представительных семейства (*Coscinodiscaceae* и *Hyalodiscaceae*). Такие топологические особенности структуры обуславливают заметную редукцию всего филогенетического древа класса *Coscinodiscophyceae*, наряду с возрастанием варибельности средней длины таксономического пути между двумя случайно выбранными видами или ввт для разноразмерных подмножеств видов. Для остальных регионов степень агрегированности исходных ввт до уровня рассматриваемых трёх родов и двух семейств данного класса ниже и составляет соответственно: для Крыма – 24.7 и 22.0 %, Кавказа – 29.3 и 19.5, СЗЧМ – 29.3 и 25.9, Румынии – 32.7 и 27.6.

Следовательно, наименее выровненная (или наиболее «уплощённая») иерархическая структура древа представителей класса *Coscinodiscophyceae* у побережья Болгарии определяет и самые низкие значения индекса Δ^+ , что может быть обусловлено присутствием во флоре значительной доли поливидовых таксонов. Однако наличие в структуре древа региона также и моновидовых ветвей, которые филоге-

нетически объединяются с поливидовыми ветвями лишь на иерархическом уровне высокого ранга (порядок или класс), определяет наиболее высокую степень варибельности таксономических дистанций между любыми парами ввт из числа зарегистрированных в данном регионе. Очевидно, что дистанция таксономической близости между парой видов, относящихся к одному роду, ниже, чем для пары видов, принадлежащих к разным семействам. Отсюда следует, что значение индекса Δ^+ для представителей класса *Coscinodiscophyceae* у берегов Болгарии оказывается наибольшим.

В пределах класса *Fragilariophyceae* наибольшее значение индекса TaxDI отмечено для побережья Кавказа ($\Delta^+ = 89.4 \pm 1.0$). Соответствующая точка на графике находится за пределами верхней границы доверительной воронки (рис. 5).

Для Румынии значение Δ^+ минимально (83.2) и находится ближе всего к среднеожидаемому для данного класса, остальные регионы характеризуются несколько повышенными значениями компонента выровненности (т.е. сохранена относительная пропорциональность в представленности таксонов на последовательных уровнях иерархического древа), по сравнению со среднеожидаемым значением Δ^+ для всей флоры диатомовых Чёрного моря в пределах класса *Fragilariophyceae*. Таксономическая структура для региона Кавказа характеризуется наивысшей степенью выровненности за счёт меньшей, по сравнению с другими районами, степени агрегации исходных ввт в таксоны более высокого иерархического уровня. Так, степень агрегации в два наиболее представительных семейства (*Fragilariaceae*, *Licmophoraceae*) для Кавказского региона составляет около 59 % исходного числа ввт. Для остальных трёх рассматриваемых регионов доля общего числа исходных ввт, агрегированных в два наиболее представительных семейства, составляет 68 % для Болгарии, 69 % – для Крыма, 72 % – для СЗЧМ и 74.5 % – для Румынии.

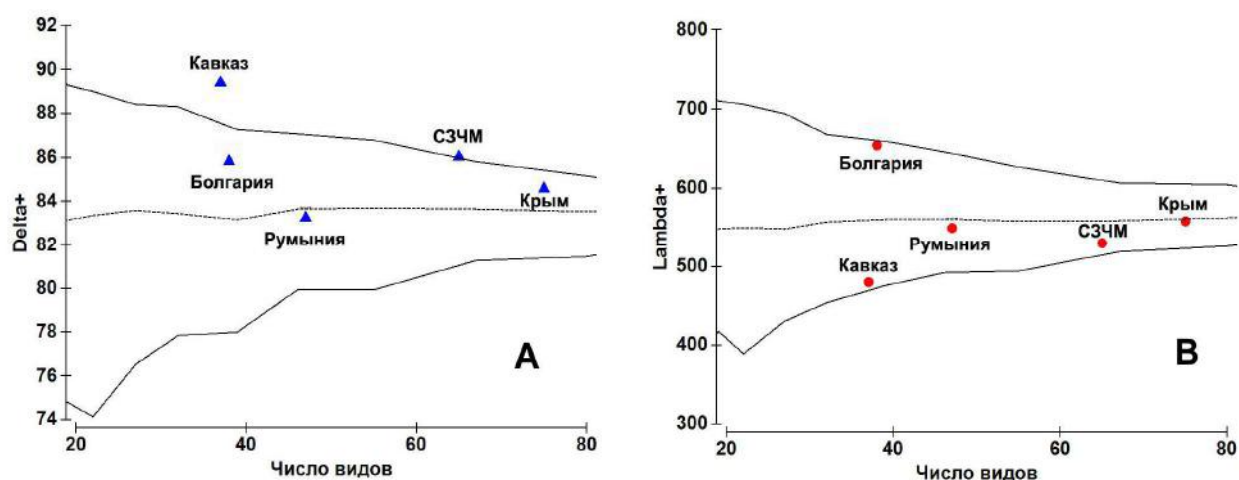


Рис. 5 Индексы TaxDI, рассчитанные по классу Fragilariophyceae для каждого из 5 регионов: А – значения индекса AvTD; В – значения индекса VarTD; пунктир – среднеождаемые значения индексов для данного класса для всего Чёрного моря

Fig. 5 TaxDI indices calculated for the class Fragilariophyceae for every 5 regions: А – AvTD value; В – VarTD value; dotted line – expected average level of TaxDI, based on list of the class for the whole Black Sea

Наименьшее значение индекса Δ^+ отмечено для района Кавказа (479.63), а наибольшее – для региона Болгарии (653.87), однако в обоих случаях соответствующие точки на графике (см. рис. 5 В) не выходят за границы воронки. Точки, соответствующие регионам Румынии, СЗЧМ и Крыма, лежат вблизи среднеождаемой линии, т.е. степень вариативности индекса таксономической отличительности в пределах класса Fragilariophyceae близка к среднеождаемому значению Δ^+ , рассчитанному для всего Чёрного моря.

Для самого многочисленного класса Bacillariophyceae (891 вид и ввт) таксономическая структура характеризуется наименьшей иерархической выровненностью. Точки на графике Δ^+ лежат значительно выше среднеождаемой для всех четырёх регионов, причём для СЗЧМ и Кавказа – даже за пределами верхней границы воронки (рис. 6).

Точка, соответствующая значению Δ^+ для Крыма, находится на графике за пределами нижней границы воронки. Напротив (по принципу «зеркальности»), значения Δ^+ для этих же районов находятся на графике ниже среднеождаемого уровня, что указывает на высокую таксономическую вариативность таксоценов диатомовых для данных регионов.

Значение индекса Δ^+ для региона Крыма (90.12), по сравнению с остальными районами, наиболее близко к среднеождаемому значению, рассчитанному для класса Bacillariophyceae по всему Чёрному морю (90.6), хотя и выходит за нижний предел 95 % доверительного интервала. Максимальные значения Δ^+ , соответствующие регионам СЗЧМ (92.0 ± 1.0) и Кавказа (91.88 ± 1.0), превышают верхний предел доверительной границы. Высокие значения индекса Δ^+ отмечены также для регионов Болгарии и Румынии (соответственно 91.68 ± 8.0 и 91.22 ± 24.9), что может определяться более высокой (по сравнению с шельфом Крыма) степенью агрегированности таксонов низшего уровня класса Bacillariophyceae в высшие в данных регионах, которая отмечается на всех уровнях иерархии (род, семейство, порядок) (см. рис. 6).

Так, пять наиболее обильных в микрофитобентосе Чёрного моря родов, представленные в акватории Крыма следующим соотношением видового богатства – *Navicula* (91 вид и ввт), *Nitzschia* (84), *Amphora* (70), *Cocconeis* (52) и *Diploneis* (38), объединяют 45.8 % общего числа видов и ввт класса Bacillariophyceae (730).

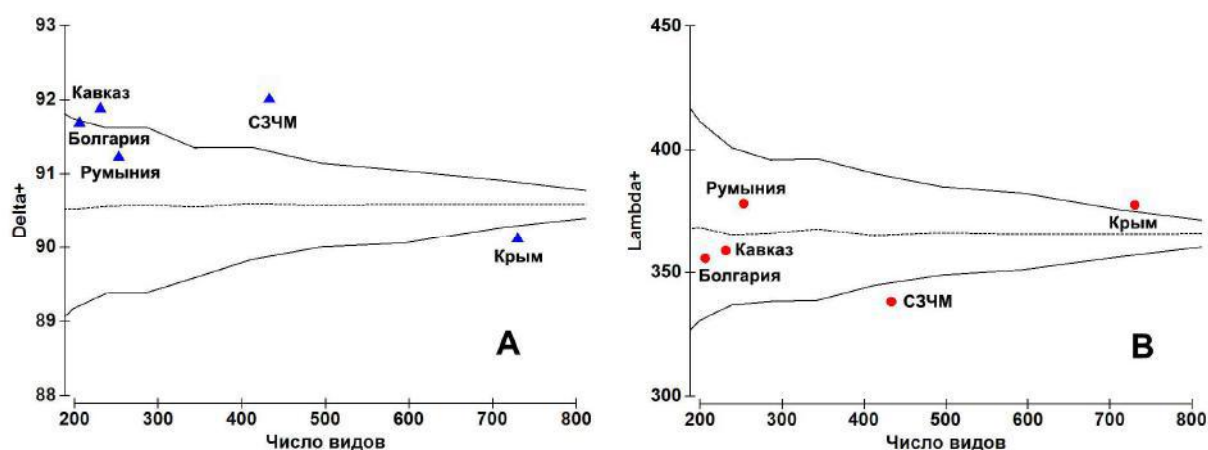


Рис. 6 Индексы TaxDI, рассчитанные по классу Bacillariophyceae для каждого из 5 регионов: А – значения индекса Δ^+ ; В – значения индекса Λ^+ ; пунктир – среднеожидаемые значения индексов для данного класса для всего Чёрного моря

Fig. 6 TaxDI indices calculated for the class Bacillariophyceae for every 5 regions: А – Δ^+ value; В – Λ^+ value; dotted line – expected average level of TaxDI, based on list of the class for the whole Black Sea

В то же время для остальных регионов объединение исходных видов и ввт из тех же пяти родов составляет: для Болгарии и СЗЧМ – по 46.6, для Кавказа – 47, для Румынии – 49.4%. Доля общего числа таксонов низшего уровня, агрегированных в наиболее представительные семейства (Bacillariaceae, Naviculaceae, Catenulaceae), для региона Крыма наибольшая и составляет 46.71 %, в то время как для СЗЧМ, Кавказа, Болгарии и Румынии – соответственно 40.65, 42.0, 43.20 и 43.50 %.

Наряду со снижением значения индекса Δ^+ для региона Крыма, вызванным понижением выровненности архитектуры древа, наблюдается заметное возрастание вариабельности – значение Λ^+ (377.56 ± 4.0) на графике расположено на верхней границе воронки, немного выше среднеожидаемой для всего класса Bacillariophyceae Чёрного моря (см. рис. 6 В). Для регионов СЗЧМ, Болгарии и Кавказа наблюдается «зеркальное расположение» значений индекса вариабельности по отношению к индексу Δ^+ .

Для Румынии значение Λ^+ (378.10 ± 50.7) также лежит на графике выше среднеожидаемой величины, хотя и не выходит за границы 95 % доверительного интервала. Здесь наблюдается выраженная асимметричность топологии так-

сономического древа Bacillariophyceae по отношению к условной оси симметрии, направленной поперек последовательных иерархических уровней, когда, наряду с моно- и олиготаксонными ветвями, в структуре также представлены и политаксонные ветви. Асимметричность иерархической структуры может формироваться под влиянием различных экологических факторов, значительно изменяющихся во временном и в пространственном аспектах. В таких случаях сообщество обычно характеризуется выраженной таксономической гетерогенностью, проявляющейся на разных иерархических уровнях.

Анализ отклонений от среднеожидаемого уровня положения точек Δ^+ и Λ^+ на графике индексов TaxDI может быть использован для сравнительной оценки долговременных воздействий среды на особенности иерархического разнообразия таксоцены. Так, в регионах, для которых значения Δ^+ и Λ^+ значительно превышают среднеожидаемый расчётный уровень индекса для всего Чёрного моря, в структуре таксоцены зачастую в большей степени представлены олиго- и монотаксонные ветви. Их наличие усиливает компонент вертикальной выровненности топологии иерархического древа, наряду с более широкой вариабельностью

структуры за счёт присутствия в составе таксоцена поливидовых ветвей. Особенности формирования такого конкретного таксоцена, в структуре которого более широко представлены регион-специфичные или филогенетически обособленные виды, по всей видимости, вызваны воздействием нескольких разноплановых факторов. В их числе можно указать, во-первых, стабильные и относительно однородные геоморфологические особенности донного ландшафта, что зачастую приводит к сужению разнообразия экологических ниш и развитию значительного числа стенобионтных видов. К акваториям с такими условиями относятся северо-западная и северо-восточная части Чёрного моря. В регионах Болгарии, Румынии и СЗЧМ шельф представляет собой слабо наклоненную отмель с плоскоравнинным рельефом, почти равномерно покрытую песчано-илистыми донными отложениями, характерными для абразионно-аккумулятивных зон и образованными выносом крупных рек – Днепра, Днестра, Буга, Дуная [10]. В регионе Кавказа, где проводились наши работы, напротив, узкая абразионная зона сублиторали с резким уклоном образована скалистым субстратом вулканического происхождения и практически лишена рыхлых грунтов вследствие сильных подводных течений. Исключение составляет район Колхидской низменности, где донные отложения сформированы наносами нескольких рек, спускающихся с Кавказских гор [10], но где Bacillariophyta не исследованы.

Иная картина наблюдается у черноморского побережья Крыма. Здесь можно отметить множество различных форм донного рельефа и типов донных отложений, что приводит к большему разнообразию экологических ниш, и, как следствие, к диверсификации таксономического разнообразия. В свою очередь, повышение разнообразия характеризуется усилением разветвлённости иерархического дерева таксоцена донных диатомовых, когда большинство исходных таксонов замыкается на филогенетически общем узле, соответствующем уровню рода или семейства. Отметим, что

доля монотаксонных ветвей в структуре иерархического дерева региона Крыма может быть, с одной стороны, снижена за счёт обитания в данной акватории близкородственных видов. В свою очередь, обнаружение новых находок из числа таксономически обособленных редких видов может приводить к увеличению доли моно- и олиготаксонных ветвей в архитектонике дерева в отдельных районах побережья. Таким образом, структура иерархического дерева донных диатомовых у побережья Крыма может быть охарактеризована как наиболее близкая к среднеожидаемой структуре Bacillariophyta Чёрного моря и по величине индекса AvTD, и по его вариабельности VarTD.

Вышеизложенная нами гипотеза хорошо согласуется с такими общеизвестными закономерностями формирования биоразнообразия, как те, что «сложность сообщества снижается с ухудшением качества среды» [1] и «сообщества более разнообразны в пространственно гетерогенных местообитаниях» [6]. Иными словами, высокое разнообразие среды обитания, её неоднородность и значительное количество факторов системно связаны с высоким числом элементов сообщества и может быть оценено на основании анализа этих элементов и факторов их выравниваемости [6].

Не следует забывать и о факторе негативного антропогенного воздействия, которое может приводить к элиминации, в первую очередь, монотаксонных ветвей. Как упомянуто выше, исчезновение одного вида из моновидового рода, семейства или даже порядка влечёт за собой потерю всей ветви и снижение разнообразия. Такие виды и ввт характеризуются наивысшим рангом таксономической исключительности, поэтому их охрана имеет значимость для сохранения генетического пула таксоцена. Применительно к донным диатомовым, одним из путей сохранения высокого таксономического разнообразия является поддержание неизменности экологических условий и минимизация негативных антропогенных воздействий в местах их обитания.

Заключение. Современное таксономическое богатство диатомовых бентоса Чёрного моря насчитывает 1094 вида и ввт, принадлежащих к 953 видам, 149 родам, 61 семейству, 32 порядкам и 3 классам. Наибольшее видовое богатство бентосных Bacillariophyta – у берегов Крыма – 81 % общего числа видов и в СЗЧМ – 51 %. У побережья Болгарии обнаружено 25, Румынии – 33, Кавказа – 28 % общего видового богатства диатомовой флоры Чёрного моря.

Максимальное флористическое сходство состава бентосных диатомовых выявлено для прибрежных регионов Крым – СЗЧМ. Вторая по значимости величина коэффициента отмечена на уровнях ввт и видов для регионов СЗЧМ – Румыния, а на уровнях родов, семейств и порядков – между регионами Кавказ – Румыния. Наименьших значений коэффициент сходства достигал в регионах Крым – Болгария (на всех таксономических уровнях).

Сравнительный межрегиональный анализ с применением индекса TaxDI показал, что максимальное значение индекса для таксоцена диатомовых отмечено у берегов Румынии, что обусловлено минимальной насыщенностью видами в структуре таксоцена (вид/род=4), приводящей к увеличению доли олиговидовых ветвей в структуре иерархического древа диатомовых данного региона. В то же время минимальное значение индекса Δ^+ , близкое к среднеожидаемому уровню для диатомовой флоры всего моря, отмечено у берегов Крыма, что указывает на большую долю поливидовых ветвей в структуре таксоцена диатомовых в регионе Крыма, обусловленную максимальной видовой насыщенностью (вид/род=7) и приводящую к понижению вертикальной выровненности иерархического древа.

Оценка показателей Δ^+ и Λ^+ позволила получить дополнительную информацию о таксономических аспектах регионального разнообразия флоры диатомовых Чёрного моря, в том числе о характере агрегации низших таксонов в высшие вдоль филогенетических вет-

вей, соответствующих каждому из трёх классов Bacillariophyta.

В составе диатомовой флоры выделены 33 вида с рангом высокой таксономической исключительности, принадлежащих к моно- и олиговидовым ветвям. В классе Coscinodiscophyceae отмечено 21, Fragilariophyceae – 10, Bacillariophyceae – 2 таких вида. При исчезновении подобных видов из состава региональной флоры целая филогенетическая ветвь, включающая род, семейство и порядок, также элиминируется из таксономического древа бентосных Bacillariophyta данного региона.

Среди моно- и олиговидовых ветвей особо выделена группа из 12 регион-специфичных видов с рангом наивысшей таксономической исключительности, отмеченных только в одном из изученных регионов. У побережья Румынии и в районе СЗЧМ отмечено по 3 таких вида, у берегов Крыма – 6. Исчезновение подобных видов из флоры региона приводит к элиминации целой ветви (включающей род, семейство или порядок со специфическим геномом) из флоры всего моря, что вызовет понижение таксономического разнообразия, и, в свою очередь, заметные изменения архитектуры иерархического древа бентосных Bacillariophyta.

Применение индекса TaxDI позволяет выявить аспекты таксономического разнообразия в биотопе на основе иерархического древа таксоцена диатомовых бентоса, отклонения значений индекса от ожидаемого среднего уровня, рассчитанного для всего Чёрного моря в целом, а также статистически достоверно оценить региональные различия таксономической структуры, используя массивы исторических данных, представленные только простыми списками видов. Полученные результаты могут быть рекомендованы при разработке комплексных мер по сохранению биоразнообразия в условиях современного использования ресурсов Чёрного моря.

Благодарности. Автор глубоко признателен к.б.н. А.Н. Петрову (ФГБУН ИМБИ) за помощь и ценные замечания при подготовке работы.

1. Алимов А.Ф. *Элементы теории функционирования водных экосистем*. Санкт-Петербург : ЗИН РАН, 2000. 147 с. [Alimov A.F. *Elements of aquatic ecosystem function theory*. Sankt-Peterburg: ZIN RAS, 2000, 147 p. (in Russ.)]
2. Генкал С.И., Трифонова И.С. *Диатомовые водоросли планктона Ладожского озера и водоемов его бассейна* / ред. В.Г. Девяткин; Ин-т биологии внутренних вод РАН; Ин-т озераведения РАН. Рыбинск : Рыбинский Дом печати, 2009. 72 с. [Genkal S.I., Trifonova I.S. *Diatomovye vodorosli planktona Ladozhskogo ozera i vodoemov ego basseina*. V.G. Devyatkin (Ed.) In-t Biologii Vnutrennikh Vod RAS; In-t Ozerovedeniya RAS. Rybinsk: Rybinskii Dom pechati, 2009, 72 p.]
3. Гусятков Н.Е., Закордонец О.А., Герасимюк В.П. *Атлас диатомовых водорослей бентоса северо-западной части Чёрного моря и прилегающих водоемов*. Киев : Наукова думка, 1992. 115 с. [Guslyakov N.E., Zakordonets O.A., Gerasimyuk V.P. *Atlas diatomovykh vodoroslei bentosa severo-zapadnoi chasti Chernogo morya i prilegayushchikh vodoemov*. Kiev: Naukova dumka, 1992, 115 p.]
4. Неврова Е.Л. Бентосные диатомовые водоросли (Bacillariophyta) Чёрного моря: разнообразие и структура таксоценов различных биотопов : дис. ... докт. биол. наук. Москва, 2015. 445 с. [Nevrova E.L. Bontosnye diatomovye vodorosli (Bacillariophyta) Chernogo morya: raznoobrazie i struktura taksotsenov razlichnykh biotopov: diss. ... dokt. biol. nauk. Moscow, 2015. 445 p.]
5. Неврова Е.Л., Петров А.Н. Таксономическое разнообразие диатомовых бентоса Чёрного моря // *Микроводоросли Чёрного моря: проблемы сохранения биоразнообразия и биотехнологического использования* / ред. Ю. Н. Токарев, З. З. Финенко, Н. В. Шадрин ; НАН Украины, Ин-т биологии южных морей. Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2008. С. 60–85. [Nevrova E.L., Petrov A.N. Taksonomicheskoe raznoobrazie diatomovykh bentosa Chernogo morya. In: *The Black Sea microalgae: problems of biodiversity preservation and biotechnological usage*. Tokarev Yu.N., Finenko Z.Z., Shadrin N.V. (Eds). NAS of Ukraine, Institute of Biology of the Southern Seas. Sevastopol: ECOSI-Gidrofizika, 2008, pp. 60-80. (in Russ.)]
6. Протасов А.А. *Биоразнообразие и его оценка. Концептуальная диверсикология* / НАН Украины, Ин-т Гидробиологии. Киев : Б. и., 2002. 106 с. [Protasov A.A. *Bioraznoobrazie i ego otsenka. Kontseptual'naya diversikologiya*. NAS Ukrainy, In-t Gidrobiologii. Kiev, 2002, 106 p.]
7. Прошкина-Лавренко А.И. *Диатомовые водоросли бентоса Чёрного моря*. Москва ; Ленинград : Изд. АН СССР, 1963. 243 с. [Proshkina-Lavrenko A.I. *Diatomovye vodorosli bentosa Chernogo morya*. Moscow; Leningrad: Publ. AN SSSR, 1963, 243 p.]
8. Рябушко Л.И. *Микрофитобентос Чёрного моря*. Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2013. 416 с. [Ryabushko L.I. *Microphytobenthos of the Black Sea*. Sevastopol: EKOSI-Gidrofizika, 2013, 416 p. (in Russ.)]
9. Урбах В.Ю. *Биометрические методы*. Москва : Высшая школа, 1964. 416 с. [Urbakh V.Yu. *Biometricheskie metody*. Moscow: Vysshaya shkola, 1964, 416 p.]
10. *Чёрное море : сборник*. Ленинград : Гидрометеиздат, 1983. 408 с. [*Chernoe more: sbornik*. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1983, 408 p.]
11. *Algae of Ukraine. Diversity. Nomenclature. Taxonomy. Ecology and Geography. 2. Bacillariophyta*. Tsarenko P.M., Wasser S.P., Nevo E. (Eds.). Ruggell: A.R.G. Gantner Verlag K.G., 2009, 413 p.
12. Bodeanu N. Structure et dynamique de l'algoflore unicellulaire dans les eaux du littoral Roumain de la mer Noire. *Cercetari Marine "Recherches Marines"*, 1987–1988, no. 20/21, pp. 19–251.
13. Bray J.R., Curtis J.T. An ordination of the upland forest communities of Southern Wisconsin. *Ecological Monographs*, 1957, vol. 27, no. 4, pp. 325–349.
14. Bukhtiyarova L.N. *Diatoms of Ukraine. Inland waters*. National Academy of Sciences of Ukraine, N. G. Kholodny Institute of Botany. Kyiv, 1999, 133 p.
15. *Catalogue of Diatom Names: on-line Version*. Comp. by E. Fourtanier, J.P. Kociolek. California Academy of Sciences. 2011. Available at: <http://researcharchive.calacademy.org/research/diatoms/names> [accessed 2015.12.17].
16. Clarke K.R., Gorley R.N. *PRIMER 5: User Manual. Tutorial*. Plymouth: PRIMER-E, 2001, 92 p.
17. Clarke K.R., Warwick R.M. *Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation*, 2nd ed. PRIMER-E: Plymouth, 2001, 154 p.
18. *Dendroscope 2.7.4*. Software for phylogenetic relationships. Copyright 2002–2014 BrotherSoft.com Available at: <http://www.brothersoft.com/dendroscope-42407.html> [accessed 2015.12.17].

19. Fourtanier E., Kociolek J.P. Catalogue of Diatom Genera. *Diatom Research*, 1999, vol. 14, iss. 1, pp. 1–190.
20. Fourtanier E., Kociolek J.P. Addendum to Catalogue of the Diatom Genera. *Diatom Research*, 2003, vol. 18, iss. 2, pp. 245–258.
21. Karydis M. Eutrophication assessment of coastal waters based on indicators: a literature review. *Global NEST Journal*, 2009, vol. 11, no. 4, pp. 373–390.
22. Levkov Z. *Diatoms of Europe: Diatoms of the European Inland Waters and Comparable Habitats. Volume 5: Amphora sensu lato*. H. Lange-Bertalot (Ed.). Ruggell: A.R.G. Gantner Verlag K.G., 2009, 916 p.
23. Magurran A.E. *Measuring Biological Diversity*. Oxford: Blackwell Publishing, 2004, 256 p.
24. Mann D.G., Droop S.J.M. 3. Biodiversity, biogeography and conservation of diatoms. *Hydrobiologia*, 1996, vol. 336, iss.1, pp. 19–32.
25. Mouliott D., Gaillard S., Aliaume C., Veriaque M., Belsher T., Troussellier M., Chi T. Ability of taxonomic diversity indices to discriminate coastal lagoon environmental based on macrophyte communities. *Ecological Indicators*, 2005, vol. 5, no. 1, pp. 1–17.
26. Nevrova E. Benthic diatoms of the Black Sea: inter-regional analysis of diversity and taxonomic structure. In: *22nd International Diatom Symposium* (Ghent, 26-31 Aug. 2012) : Programme [Additional abstracts]. Ghent, 2012, pp. 35.
27. Petrov A., Nevrova E. Database on Black Sea benthic diatoms (Bacillariophyta): its use for a comparative study of diversity peculiarities under technogenic pollution impacts. In: *Proceedings Ocean Biodiversity Informatics: Intern. Conf. on Marine Biodiversity Data Management*. (Hamburg, Germany, 29 Nov. – 1 Dec., 2004). Vanden Berghe E., Appeltans W., Costello M.J., P. Pissierssens P. (Eds). Paris, 2007, pp. 153-165. (VLIZ Special Publication, 37.)
28. Petrov A., Nevrova E., Terletskaia A., Milyukin M., Demchenko V. Structure and taxonomic diversity of benthic diatoms assemblage in a polluted marine environment (Balaklava bay, Black Sea). *Polish Botanical Journal*, 2010, vol. 55, no. 1, pp. 183–197.
29. Reid G. *A revision of the family Pleurosigmataceae. Diatom Monographs*. A. Witkowski (Ed.). Ruggell: A.R.G. Gantner Verlag K.G., 2012. Vol 14. 163 p.
30. Riaux-Gobin C., Witkowski A., Compère P. SEM survey and taxonomic position of small-sized *Achnanthes* (Bacillariophyceae) from coral sand of Réunion Island (Western Indian Ocean). *Vie et Milieu – Life and Environment*, 2010, vol. 60, iss. 2, pp. 157–172.
31. Round F.E., Crawford R.M., Mann D.G. *The diatoms. Biology and morphology of the genera*. Cambridge: Cambridge University press, 1990, 747 p.
32. Warwick R.M., Clarke K.R. Taxonomic distinctness and environmental assessment. *Journal of Applied Ecology*, 1998, vol. 35, no. 4, pp. 532–543.
33. Warwick R.M., Clarke K.R. Practical measures of marine biodiversity based on relatedness of species. *Oceanography and Marine Biology: an Annual Review*, 2001, vol. 39, pp. 201–231.
34. Witkowski A., Lange-Bertalot H., Metzeltin D. Diatom flora of Marine coast 1. In: Lange-Bertalot, H. (Ed.) *Iconographia Diatomologica. Annotated diatom micrographs. Vol. 7. Phytogeography-Diversity-Taxonomy*. Ruggell: A.R.G. Gantner Verlag K.G., 2000, pp. 1-925.

Поступила 14 декабря 2015 г.

The structural basis of regional differences in taxonomic diversity of benthic diatoms (Bacillariophyta) of the Black Sea. E. Nevrova. The important aim for preservation of the Black Sea microalgae is evaluation of diatom flora diversity and revelation of its formation patterns. The focus of this paper is analysis of benthic diatoms diversity in the regions of Northern shelf of the Black Sea and disclosure of the causes for their differences on the different hierarchical levels within each of the three classes of Bacillariophyta. Based on the own sampling surveys results and published sources, the revision of benthic diatom flora of the Black Sea was evaluated and current taxonomic diversity was estimated by using of Taxonomical Distinctness Indices (TaxDI). Updated diatom inventory from 5 regions (Bulgarian, Romanian, North-Western, Crimean and Caucasian shelf) holds 1094 species and intraspecific taxa, pooled in 953 species, 149 genera, 61 families, 32 order and 3 classes Bacillariophyta. Current taxonomic richness of the Black Sea benthic diatoms has 1094 species and intraspecific taxa (953 species, 149 genera, 61 families, 32 orders and 3 classes). At the Crimean coast registered 884 species (81 % of the total species number), at NWBS – 556 (51 %) off the coast of Bulgaria – 271 (25 %), Romania – 358 (33 %), the Caucasus – 310 (28 %).

Mean TaxDI values (Δ^+ and Λ^+) for diatom assemblages from these regions were calculated and its deviation from expected average level, corresponding to Black Sea master-list, was assessed. Deviation of the index from expected average level in each of the three classes was found to depend on the structure of the phylogenetic branches. The greatest influence on the hierarchical tree of Bacillariophyta is revealed to bring the mono- and oligospecies branches. Character of deviation of the regional diatom flora structure from expected average level is caused of the species, which forming a mono- or oligospecies branches up to the node of order. Suchlike species (33) with high rank of taxonomic exclusiveness are highlighted from the several regions. Disappearance of such species leads to reducing of entire phylogenetic branch from the regional tree of Bacillariophyta. Among mono- and oligospecific taxa the group of 12 species was marked out particularly. These species have the highest rank of taxonomic exclusiveness and were cited once in the only regions. Elimination of these species from the regional flora entails to disappearance of the monospecies branch (including genus, family and order) from the Black Sea flora. It would determine the decrease of taxonomic diversity and significant changes in hierarchical tree of Bacillariophyta as the concrete region as well the whole Black Sea. Structure of regional tree of Crimean region almost approached the expected mode for the whole Black Sea diatom flora. The value of Δ^+ for Crimean coast was the lowest (81.38). It may evidence about great share of polyspecies branches in the hierarchical tree and the maximum value of species/genus ratio (7) and lead to decreasing the vertical evenness in diatom taxocene structure for Crimea. On the contrary, the value of Δ^+ for Romania coast was highest (85.9). It were caused of great number of oligospecies branches closing up on genus and family taxonomic levels and minimum value of this ratio (4) and determined more flattened pattern of taxonomical tree structure.

Key words: benthic diatoms, Black Sea, Taxonomic Distinctness Indices, rank of taxonomic exclusiveness, hierarchical tree of Bacillariophyta, mono-, oligo- and polyspecies branches.



УДК 502.35:627.2(262.5)

МОРСКОЙ БИОЛОГИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

2016. Т. 1. № 1. С. 64-69

ISSN 2499-9768 print

ISSN 2499-9779 online

О. В. Соловьёва, канд. биол. наук, с. н. с.

ФГБУН «Институт морских биологических исследований имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, РФ

МИДИЕВОЕ ОБРАСТАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНСТРУКЦИИ В УСЛОВИЯХ КУТОВОЙ ЧАСТИ СЕВАСТОПОЛЬСКОЙ БУХТЫ (ЧЁРНОЕ МОРЕ)

Исследование обрастания водозаборной трубы Севастопольской теплоэлектростанции позволило получить дополнительную информацию для планирования размещения искусственных объектов в условиях Севастопольской бухты с учётом их потенциальных биопозитивных свойств. Проведён количественный учёт и измерение митилидных моллюсков в обрастании металлической конструкции в кутовой части Севастопольской бухты, где обнаружены только мидии. Показатели их обилия закономерно изменялись с глубиной и в зависимости от водообмена. На внутренней стороне конструкции численность мидий достигала 448 экз.·м⁻² при биомассе 948 г·м⁻², на внешней поверхности в нижнем горизонте эти показатели составили соответственно 352 экз.·м⁻² и 4627 г·м⁻², в поверхностном – 224 экз.·м⁻² и 1890 г·м⁻². Оценка мощности биофильтра показала, что минимальных значений она достигает на внутренней части трубы – 463 л·сут.⁻¹·м⁻². На наружной поверхности конструкции в верхней части данная величина составляет 555, а на нижней – 1574 л·сут.⁻¹·м⁻², что примерно в 3 раза превосходит показатели, фиксируемые на остальных участках трубы. Установлено, что даже в условиях внутренних участков Севастопольской бухты (где зафиксированы повышенные уровни загрязняющих веществ и актуальным является интенсификация процессов самоочищения) с увеличением глубины возрастает обилие митилидного обрастания, что ведёт к формированию более эффективных биофильтров. Сравнение митилидного обрастания на внутренней и внешней частях водозаборной трубы показывает, что уже в 0.5 м от её оконечности условия обитания мидий существенно хуже, чем на поверхности, свободно омываемой водами бухты. В результате биомасса моллюсков, и, как следствие, фильтрационная работа поселения снижаются. На этом основании при проектировании биопозитивных конструкций нужно учитывать, что при вертикальной ориентации глубина ниш должна быть небольшой, чтобы водообмен в них был достаточным для создания максимально комфортных условий обитания моллюсков-фильтраторов.

Ключевые слова: биопозитивные конструкции, искусственный субстрат, мидии, биофильтр, Севастопольская бухта, Чёрное море

Севастопольская бухта, особенно внутренние, близкие к кутовой участки её акватории, находятся под постоянной антропогенной нагрузкой, вследствие чего и сама бухта, и её отдельные участки являются зоной экологической нестабильности [3]. По этой причине изучение процессов естественного самоочищения в бухте и поиски путей их интенсификации не перестают быть актуальными и в настоящее время. Одним из возможных путей интенсификации процессов самоочищения акватории бухты может быть установка погружённых искусственных конструкций, способствующих увеличению численно-

сти гидробионтов, в первую очередь, моллюсков-фильтраторов, играющих основную роль в процессах самоочищения акваторий. Определение параметров таких конструкций, их формы и размеров является одной из первостепенных задач технической гидробиологии. Известно, что в акватории Севастопольской бухты находится значительное количество искусственных объектов различного хозяйственного предназначения, на которых сформировались и функционируют сообщества, определённым образом влияющие на состояние омывающих их вод. Одними из таких хозяйственных кон-

струкций являются металлические водозаборные трубы Севастопольской теплоэлектроцентрали (ТЭЦ), погружённые в воду бухты на глубину примерно 4.5 м. На поверхности и внутренней части труб сформировалось многолетнее сообщество обрастателей, прежде всего, митилидных моллюсков, составляющих основу естественного биофильтра. Данное сооружение в настоящее время не функционирует и обрастание на нём не очищалось не менее 7 – 10 лет. Поскольку труба находится в охраняемой акватории, вероятность сбора на этом участке моллюсков любителями мидий можно считать минимальной. На примере данного объекта можно исследовать особенности митилидного обрастания на различных горизонтах глубин, а также в условиях замкнутого пространства. Это может дать определённую информацию при проектировании уста-

новки биопозитивных объектов в условиях Севастопольской бухты.

Целью работы явилось исследование митилидного обрастания водозаборной трубы Севастопольской ТЭЦ как модельного объекта для изучения обрастания искусственных субстратов в условиях Севастопольской бухты.

Материал и методы. В апреле 2015 г. был проведён отбор проб обрастания с поверхности водозаборных труб Севастопольской ТЭЦ, расположенной на берегу Севастопольской бухты в районе посёлка ГРЭС (рис. 1). Материал отбирали водолазы с площадки 25×25 см ручным пробоотборником с глубины 0.5 и 4 м (примерно 0.5 м от конца трубы и 1.5 м от дна) на внешней стороне трубы и на глубине около 4 м – на внутренней (рис. 2).

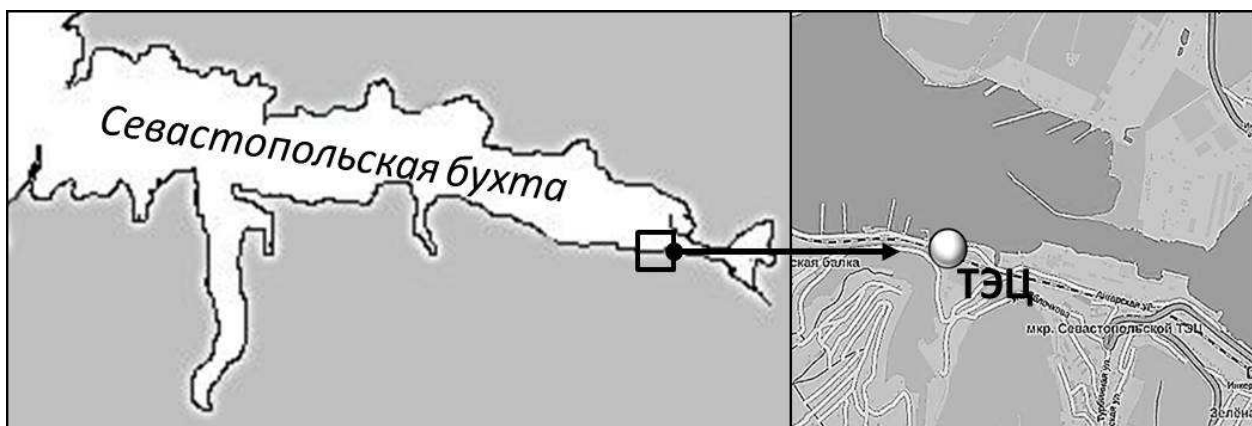


Рис. 1 Карта-схема района проведения исследований
Fig. 1 The schematic map of the research area

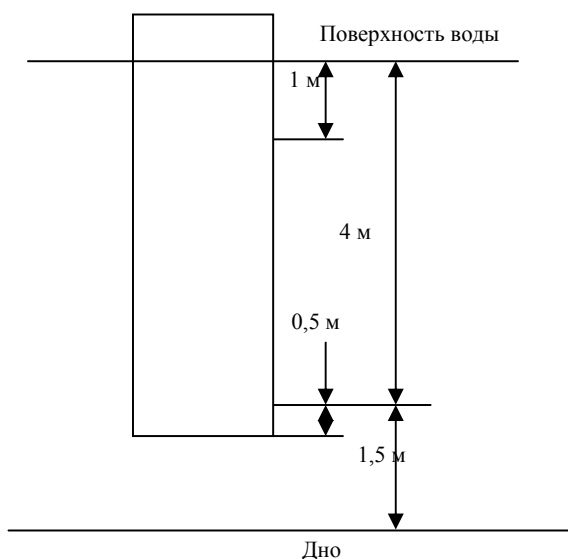


Рис. 2 Схема отбора проб
Fig. 2 The scheme of sampling

В лаборатории из полученных образцов обрастания отбирали моллюсков, в данном случае это были мидии (*Mytilus galloprovincialis* Lam., 1819). Далее штангенциркулем (точность 0.1 мм) измеряли длину раковины моллюсков и разделяли их на размерные группы 1 – 10, 11 – 20, 21 – 30, 31 – 40, 41 – 50, 51 – 60, 61 – 70 и 71 – 80 мм. Особи с пограничным размером относили к группе более крупных организмов. Особей мельче 1 мм не учитывали.

Моллюсков, предварительно обсушенных, взвешивали на технических весах (точность 0.1 г).

Фильтрационная работа ($\text{л} \cdot \text{сут.}^{-1} \cdot \text{м}^{-2}$), совершаемая за сутки моллюсками, обитающими на 1 м^2 гидротехнического сооружения, оценивалась, исходя из средней скорости фильтрации моллюсков в i -ой размерной группе (F_i , $\text{л} \cdot \text{экз.}^{-1} \cdot \text{сут.}^{-1}$) [4, 5] и численности размерных групп (N_i , $\text{экз.} \cdot \text{м}^{-2}$) по формуле 1:

$$F_{\Sigma} = \Sigma(F_i \times N_i) \quad (1)$$

Результаты и обсуждение. Исследуемая металлическая труба была покрыта плотным митилидным обрастанием. Как уже отмечено, на момент отбора проб данное сооружение не функционировало примерно 7 – 10 лет, т.е. сформировавшееся на нём обрастание является классическим примером климаксового состояния сообщества обрастания, характерного для данного участка севастопольской акватории.

В отобранном материале обнаружены только мидии. Митилиастеры, характерные для искусственных субстратов Севастопольской бухты и прилегающих участков побережья Севастополя, полностью отсутствовали. Соору-

жение находится в достаточно закрытом, защищённом от штормов участке Севастопольской бухты, что создаёт благоприятные условия для обитания на нём мидий и не позволяет митилиастерам колонизировать данный субстрат, в отличие, к примеру, от подверженной волновому воздействию набережной, на большинстве участков которой доминирует митилиастер [6].

На внутренней стороне конструкции численность мидий достигала $448 \text{ экз.} \cdot \text{м}^{-2}$ при биомассе $948 \text{ г} \cdot \text{м}^{-2}$, на внешней поверхности в нижнем горизонте эти показатели составили соответственно $352 \text{ экз.} \cdot \text{м}^{-2}$ и $4627 \text{ г} \cdot \text{м}^{-2}$, в поверхностном – $224 \text{ экз.} \cdot \text{м}^{-2}$ и $1890 \text{ г} \cdot \text{м}^{-2}$ (рис. 3). Таким образом, с увеличением глубины численность и биомасса мидий на внешней стороне сооружения явно возрастали. Особенно это характерно для показателей биомассы. Известно, что с увеличением глубины мидии становятся многочисленнее и крупнее. Со снижением волнового воздействия [2] и перепада температур [1, 8] их выживаемость возрастает.

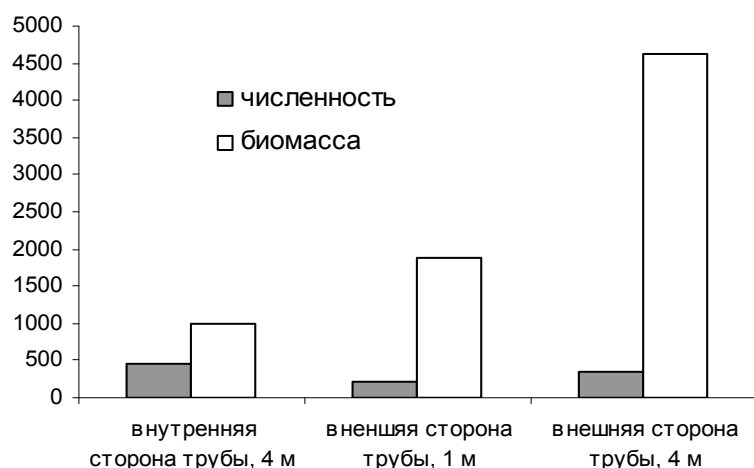


Рис. 3 Численность ($\text{экз.} \cdot \text{м}^{-2}$) и биомасса ($\text{г} \cdot \text{м}^{-2}$) мидий на водозаборной трубе Севастопольской ТЭЦ
Fig. 3 Abundance ($\text{ind.} \cdot \text{м}^{-2}$) and biomass ($\text{g} \cdot \text{м}^{-2}$) of mussels on the water intake pipe of Sevastopol heat and power plant

При сравнении обрастания на внешней и внутренней поверхности трубы в горизонте глубины порядка 4 м видно, что на внутренней поверхности численность мидий в два раза превышает таковую на внешней поверхности, тогда как биомасса мидий, напротив, в два раза выше на внешней поверхности конструкции.

Таким образом, внутри трубы мидии намного мельче, чем на её внешней поверхности. Возможно, это связано с недостаточным водообменом, и, как следствие, дефицитом кислорода и питания уже на расстоянии 0.5 м от оконечности трубы.

Размерная структура поселений также была неоднородной (рис. 4). Как можно судить по соотношению численности и биомассы, наиболее крупные моллюски обитали на внешней поверхности сооружения. Их длина достигала 78 мм. Наибольшая доля моллюсков этой размерной группы (71 – 80 мм) выявлена в нижней части конструкции, – 45 %. На этом участке трубы отсутствовала молодежь длиной менее 20 мм, а на особи длиной 21 – 50 мм совокупно приходилось 15 % численности вида.

В верхнем горизонте внешней части трубы отмечены достаточно крупные особи, но максимальный размер моллюсков не превышал 73.5 мм. Размерный спектр мидий на данном участке не был полным: обнаружены особи размером 11 – 30 мм (54 %, из них 46 % - моллюски длиной 21 – 30 мм) и 51 – 80 мм. Доля самых крупных мидий составляла 23 % от общей численности, что в 2 раза ниже аналогичного показателя более глубокого горизонта.

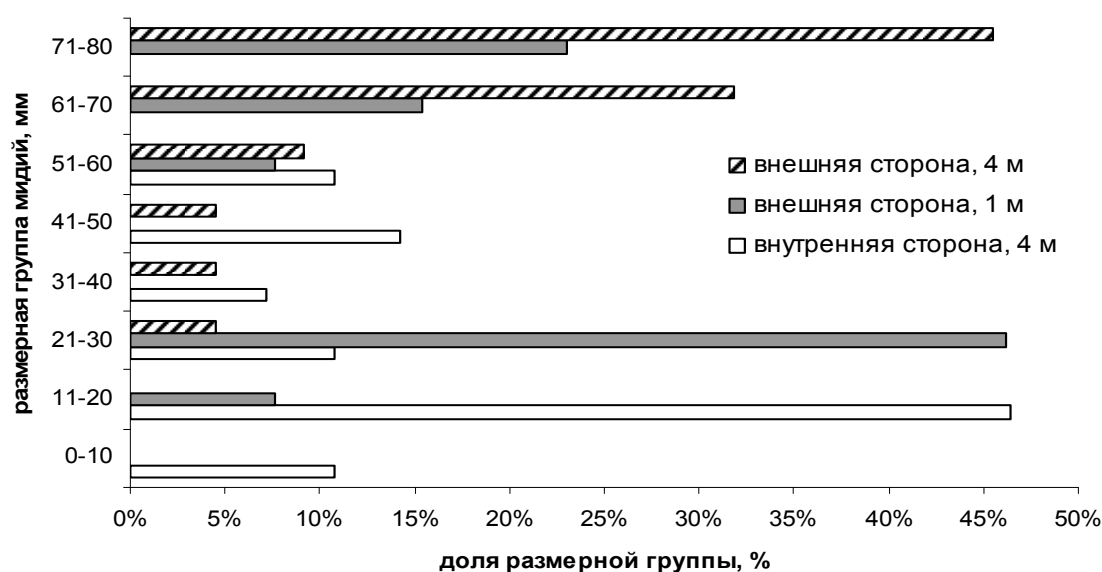


Рис. 4 Размерная структура мидий на водозаборной трубе Севастопольской ТЭЦ

Fig. 4 The dimensional structure of the mussels on the water intake pipe of Sevastopol heat and power plant

В поселении моллюсков внутри трубы диапазон их размеров составлял 1 – 60 мм, т.е. только на этом участке в момент отбора проб присутствовали особи мельче 10 мм. Их длина не превышала 3 – 5 мм и на их долю приходилось 11 % общей численности.

Учитывая отсутствие осевшей молодежи на внешней стороне трубы, можно полагать, что наличие мелких мидий на внутренней поверхности связано с тем, что на данном участке рост моллюсков происходит медленнее в результате менее благоприятных условий обитания [2, 7].

На основании данных о численности и размерном составе мидий была оценена мощ-

ность биофильтра, формируемого данным видом. Выяснилось, что минимальных значений она достигает у моллюсков, поселившихся на внутренней части трубы, – $463 \text{ л} \cdot \text{сут.}^{-1} \cdot \text{м}^{-2}$. На наружной поверхности конструкции в её верхней части данный показатель был равен 555, а на нижней – $1574 \text{ л} \cdot \text{сут.}^{-1} \cdot \text{м}^{-2}$. Иными словами, мощность биофильтра, формируемого сообществом мидий на нижней части наружной поверхности трубы, примерно в три раза превышала показатели, наблюдавшиеся на остальных участках. Подобная разница вызвана наличием значительного количества крупноразмерных особей в поселении на глубине 4 м (рис. 5).

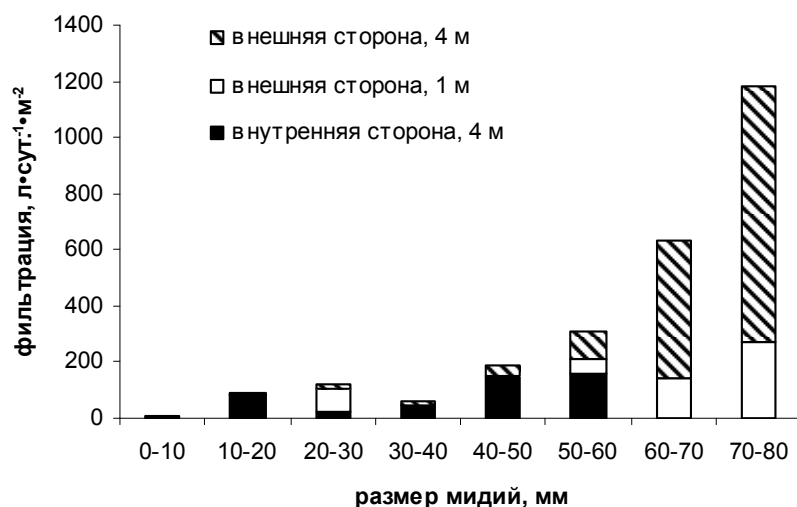


Рис. 5 Фильтрационная работа различных размерных групп мидий на водозаборной трубе Севастопольской ТЭЦ, л·сут.⁻¹·м⁻²
 Fig. 5 The filtration activity of various dimensional groups of mussels on the water intake pipe of Sevastopol heat and power plant, l·day.⁻¹·m⁻²

Таким образом, исследование обрастания данной конструкции даёт ценную информацию для планирования размещения искусственных объектов в условиях Севастопольской бухты с учётом их потенциальных биопозитивных свойств. Показано, что даже в условиях внутренних участков Севастопольской бухты, для которых характерны повышенные уровни загрязняющих веществ [3] и актуальным является интенсификация процессов самоочищения, с увеличением глубины возрастает обилие митилидного обрастания. Это ведёт к формированию на больших глубинах более эффективных биофильтров.

Сравнение митилидного обрастание на внутренней и внешней частях водозаборной трубы показывает, что уже в 0.5 м от её оконечности условия обитания мидий существенно хуже, чем на открытой поверхности, свободно омываемой водами бухты. В результате биомасса моллюсков, и, как следствие, фильтрационная работа поселения снижаются. Следовательно, при проектировании биопозитивных конструкций нужно учитывать, что при вертикальной ориентации глубина ниш должна быть небольшой, чтобы водообмен в них был достаточным для создания максимально комфортных условий обитания моллюсков-фильтраторов.

Выводы. 1. В обрастании металлической конструкции в кутовой части Севастопольской бухты из митилидных моллюсков обнаружены только мидии. Показатели их обилия закономерно изменялись с глубиной и в зависимости от водообмена. На внутренней стороне конструкции численность мидий составляла 448 экз.·м⁻², при биомассе 948 г·м⁻². На внешней поверхности в нижнем горизонте численность составляла 352 экз.·м⁻² при биомассе – 4627 г·м⁻², а в поверхностном – 224 экз.·м⁻² и 1890 г·м⁻² соответственно. **2.** Оценка мощности биофильтра показала, что минимальных значений она достигает на внутренней части трубы – 463 л·сут.⁻¹·м⁻². На наружной поверхности конструкции в верхней части данная величина составляет 555 л·сут.⁻¹·м⁻² и на нижней – 1574 л·сут.⁻¹·м⁻², что примерно в 3 раза превосходит показатели остальных участков трубы. **3.** На поверхности конструкции обитали достаточно крупные мидии, размер которых достигал 71 – 80 мм. **4.** При проектировании биопозитивных конструкций рекомендовано учитывать, что при вертикальной ориентации, глубина ниш должна быть небольшой, чтобы водообмен в них был достаточным для создания максимально комфортных условий обитания моллюсков-фильтраторов.

1. Говорин И.А., Шацилло И.А. Перифитонные поселения мидий *Mytilus galloprovincialis* (Lam., 1819) и митилиастера *Mytilaster lineatus* (Gmel., 1791) в условиях аномально высокой температуры прибрежных морских вод // *Ruthenica*. 2012. Vol. 22, no 2. С. 101–110. [Govorin I.A., Shatsillo I.A. The periphyton settlements of mussels *Mytilus galloprovincialis* (Lamarck, 1819) and mytilasters *Mytilaster lineatus* (Gmelin, 1791) in abnormal high temperature conditions of the coastal sea waters. *Ruthenica*, 2012, vol. 22, no. 2, pp. 101–110. (in Russ.)]
2. Заика В.Е., Валовая Н.А., Повчун А.С., Ревков Н.А. Митилиды Чёрного моря. Киев: Наукова думка, 1990. 208 с. [Zaika V.E., Valovaya N.A., Povchun A.S., Revkov N.A. *Mitilidy Chernogo morya*. [Mytilidae of the Black Sea. Kiev: Naukova dumka, 1990, 208 p. (in Russ.)]
3. Коновалов С.К., Романов А.С., Моисеенко О.Г., Внуков Ю.Л., Чумаков Н.И., Овсяный Е.И. Атлас океанографических характеристик Севастопольской бухты. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика. 320 с. [Konovalov S.K., Romanov A.S., Moiseenko O.G., Vnukov Yu.L., Chumakov N.I., Ovsyanyi E.I. *Atlas okeanograficheskikh kharakteristik Sevastopol'skoi bukhty*. Sevastopol: EKOSI-Gidrofizika, 320 p.]
4. Миронов Г.Н. Фильтрационная работа и питание мидий Чёрного моря // *Труды Севастопольской биологической станции*. – 1948. – Т. 6. – С. 338–352. [Mironov G.N. Fil'tratsionnaya rabota i pitanie midii Chernogo morya. *Trudy Sevastopol'skoi biologicheskoi stantsii*, 1948, vol 6, pp. 338–352.]
5. Петров А.Н., Ревков Н.К. Изучение респираторной и фильтрационной активностей у двух видов моллюсков в зависимости от экологических особенностей мест обитания // *Проблемы современной биологии* / МГУ им. М.В. Ломоносова, биологический факультет. Москва, 1987. С. 48–50. (Деп. в ВИНТИ, № 66252 – В 87). [Petrov A.N., Revkov N.K. Izuchenie respirationnoi i fil'tratsionnoi aktivnostei u dvukh vidov mollyuskov v zavisimosti ot ekologicheskikh osobennostei mest obitaniya // *Problemy sovremennoi biologii*. MGU im. M.V. Lomonosova, biologicheskii fakul'tet. Moscow, 1987, pp. 48–50. (Dep. v VINITI, № 66252 – V 87).]
6. Соловьёва О.В. Восстановление митилидного обрастания гидротехнического сооружения в условиях Севастопольской бухты (Чёрное море) // *Вестник Удмуртского государственного университета. Серия. Биология. Науки о Земле*. 2015. Т. 25, вып. 3. С. 70–76. [Solovyova O.V. Recovery of Mutilidae fouling of hydraulic structures in the Sevastopol Bay (Black Sea). *Bulletin of Udmurt University. Ser. Biology & Earth Sciences*, 2015, vol. 25, iss. 3, pp. 70–76. (in Russ.)]
7. Ackerman J.D., Nishizaki M.T. The effect of velocity on the suspension feeding and growth of the marine mussels *Mytilus trossulus* and *M. californianus*: implications for niche separation. *Journal of Marine Systems*, 2004, vol. 49, iss. 1–4, pp. 195–207.
8. LeBlanc N., Landry T., Davidson J., Tremblay R., McNiven M. The Effect of Elevated Water Temperature Stress on the Mussel *Mytilus edulis* (L.) Survival and Genetic Characteristics. *Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences*, 2900, 2010, 19 p.

Поступила 21 декабря 2015 г.

Mussel fouling of the technical construction in the inner part of the Sevastopol Bay (the Black Sea).

O. V. Solovyeva. The research of the fouling on the water intake pipe of Sevastopol heat and power station is able to get more information to plan replacement of artificial objects in the Sevastopol bay, taking into account their potential biopositive properties. The mytilids fouling on the metal pipe was presented only by mussels. The abundance of mollusks varied with depth and, in dependence of the water exchange. On the inside of the construction the mussels quantity was 448 ind.·m⁻², and biomass 948 g·m⁻². On the outer surface at the lower horizon the number was 352 ind.·m⁻² and biomass 4627 g·m⁻², and 224 ind.·m⁻² and 1890 g·m⁻² at surface horizon. The biofilter capacity reaches the minimum values the inside of pipe - 463 l·day⁻¹·m⁻². On the outer surface of the structure at the top its value was 555 l·day⁻¹·m⁻² and on the deep part 1574 – l·day⁻¹·m⁻². It is shown that even in the inner regions of the Sevastopol Bay (where documented elevated levels of pollutants and the intensification of the self-purification processes is urgent) the abundance of mytilids fouling is raising with depth. This leads to a more effective biofilters. Comparing of mussel fouling on the inner and outer parts of the water intake pipe shows that already at 0.5 m from of its tip habitat conditions for mussels significantly worse than on the surface, which is washed by the bay waters. As a result, the biomass of molluscs and as a consequence the filtration capacity of the settlement is reduced. On this basis, the design of biopositive constructions must take into account that in the case of a vertical orientation, the depth of the niches should be small enough to allow good water exchange inside it to be sufficient to create the most comfortable living conditions for shellfish filter-feeders.

Keywords: biopositive constructions, artificial substrate, mussels, biofilter, Sevastopol bay, Black Sea



Е. А. Тихонова, канд. биол. наук, н. с.

ФГБУН «Институт морских биологических исследований имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, РФ

МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКИМИ ВЕЩЕСТВАМИ ДОННЫХ ОСАДКОВ БУХТЫ КРУГЛАЯ (СЕВАСТОПОЛЬ, ЧЁРНОЕ МОРЕ)

Актуальность исследования загрязнения бухты Круглая обусловлена неблагоприятной обстановкой в её акватории в сезоны с усиленным антропогенным прессом и условиями среды, благоприятными для активизации процессов роста биологических объектов. Особенно это касается загрязнения органическими веществами, как от аварийных источников, так и при естественных процессах жизнедеятельности населяющих биотопы организмов. Конечным пунктом миграции и осаждения этих веществ являются донные осадки, анализ которых даёт возможность представить устойчивую картину загрязнения. Поэтому целью работы стала оценка многолетних изменений состояния донных осадков в бухте Круглая. Материалом для исследования послужили пробы донных осадков, отобранные в бухте Круглая дночерпателем Петерсена. В подготовленных соответствующим образом воздушно-сухих пробах находили общее количество хлороформ-экстрагируемых веществ – весовым методом, нефтяных углеводородов – методом инфракрасной спектроскопии. В результате анализа многолетней динамики загрязнения органическими веществами донных осадков бухты Круглая (Севастополь, Чёрное море) в период 2006–2015 гг. выявлены его неравномерное распределение по акватории бухты и явная приуроченность к источникам загрязнения. Наиболее чистой является центральная часть акватории, а наиболее загрязнённой – вершина бухты, где на отдельных точках степень загрязнения достигает IV уровня. Об интенсивном накоплении загрязняющих веществ на станции 01 свидетельствуют высокие концентрации хлороформ-экстрагируемых веществ (на самой станции – 900, в прибрежных наносах вблизи станции – $620 \text{ мг} \cdot 100 \text{ г}^{-1}$ воздушно-сухого донного осадка). Таким образом, отмечено общее снижение концентрации хлороформ-экстрагируемых веществ за весь период исследований, за исключением станции 02, но доля нефтяных углеводородов выше по всей акватории вершины б. Круглой.

Ключевые слова: хлороформ-экстрагируемые вещества, нефтяные углеводороды, донные осадки, бухта Круглая, Чёрное море.

Бухта Круглая, или как ее часто называют, бухта Омега, – одна из небольших мелководных полузамкнутых бухт, которая непосредственно соприкасается с городскими массивами г. Севастополя и является наиболее эксплуатируемой рекреационной зоной (здесь находится второй по посещаемости городской пляж). Из-за интенсивной застройки антропогенная нагрузка на бухту из года в год возрастает. Кроме того, в мелководную кутовую часть бухты со всей водосборной площади, составляющей

примерно около 500 га, в период дождей и таяния снега поступают поверхностные воды, загрязняя её значительную часть [1]. Кроме того, в бухту выведен аварийный сток канализационных вод, в связи с чем пляж часто закрывают по санитарно-эпидемиологическим показателям.

Качество исследуемого объекта постоянно анализируется специалистами по различным критериям. Так, по [1], за последние периоды исследований отмечено в целом увеличение численности и

снижение биомассы макрозообентоса как на участках с илистым, так и песчаным морским грунтом. Исследователи связывают данный факт с увеличением количества мелкого брюхоногого моллюска *Hydrobia acuta* (Draparnaud, 1805), доля которого в 1992 – 1997 гг. составляла 16 – 41% общей численности макрозообентоса, в 2009 – 2012 гг. достигла 84 – 85%. Кроме того, доминирующими являлись устойчивые к загрязнению виды: моллюски – *Abra segmentum* (Récluz, 1843), *Cerastoderma glaucum* (Bruguière, 1789), *Hydrobia acuta*, и полихеты – *Capitella capitata* (Fabricius, 1780) и *Hediste diversicolor* (O. F. Müller, 1776), что свидетельствует о хроническом загрязнении донных осадков вершины бухты.

Важную роль в формировании качества акватории бухты играют макрофиты, особенно в вершине на малых глубинах, где отмечается систематическое цветение воды. По мнению авторов [4], в некоторые годы зафиксировано снижение запасов цистозир, что сказалось на коэффициенте её эпифитирования (K_3 – отношение массы эпифитов к массе цистозир), который увеличился с 0.5 до 0.85, несмотря на то, что абсолютные величины запасов эпифитов за 19 лет не изменились. Если учесть, что обычно при прочих равных условиях увеличение значения K_3 косвенно свидетельствует о повышении трофности, то снижение запасов цистозир в 2008 г. могло явиться результатом повышения антропогенной нагрузки.

Не менее важным показателем экологического состояния исследуемой акватории является состояние мейобентоса зарослей цистозир, который показал [5], что его структура и доля основных таксонов в нём остаются неизменными в точках, удаленных от прибрежной полосы, тогда как в соотношении доли таксономических групп в точке в районе пляжа, наиболее подверженной антропогенной нагрузке, отмечено изменение.

В общем, можно говорить о неблагоприятной обстановке в акватории бухты Круглая в сезоны с усиленным антропогенным прессом и условиями среды, благоприятными для активизации процессов роста биологических объектов. Особенно это касается загрязнения органическими веществами, как от аварийных источников, так и при естественных процессах жизнедеятельности населяющих биотопы организмов. Конечным пунктом миграции и осаждения этих веществ являются донные осадки, анализ которых даёт возможность представить устойчивую картину загрязнения.

Таким образом, учитывая всё вышесказанное, целью работы стала оценка многолетних изменений состояния донных осадков в бухте Круглая.

Материал и методы. Материалом для исследования послужили пробы донных осадков, отобранные в бухте дночерпателем Петерсена с площадью захвата 0.038 м^2 в трёх повторностях на каждой станции в рамках проведения многолетнего мониторинга отделом морской санитарной гидробиологии Института морских биологических исследований (ИМБИ) в летний период 2006 – 2015 гг. Материал отбирали по стандартной сетке станций: с глубин от 4 до 8 м (станции 31–34) – с борта мотобота, на глубине 1–1.5 м (ст. 01–05 м) – ручным пробоотборником (рис. 1).

В свежееотобранных пробах донных отложений определяли окислительно-восстановительный потенциал (Eh), pH, натуральную влажность и гранулометрический состав [3]. В подготовленных соответствующим образом воздушно-сухих пробах находили общее количество хлороформ-экстрагируемых веществ (ХЭВ) – весовым методом, нефтяных углеводов (НУ) – методом инфракрасной спектроскопии [7]. Все полученные результаты пересчитаны на 100 г воздушно-сухого донного осадка (возд.-сух. д. о.).

Результаты и обсуждение. Известно [8], что донные осадки устьевой части бухты (ст. 31 и 33) и на выходе из неё (ст. 32 и 34) загрязнены незначительно: концентрации ХЭВ примерно одинаковы на всех станциях и во все исследованные годы не превышали $15 \text{ мг} \cdot 100 \text{ г}^{-1}$ возд.-сух. д. о., а количество НУ имело следовые значения (зафиксированный максимум составил в 2012 г. $1.8 \text{ мг} \cdot 100 \text{ г}^{-1}$ на ст. 32 и 34). В 2015 г. ситуация не изменилась, за исключением того, что донные отложения в большей степени были представлены ракушняком и/или песком с примесью ракуши. При этом был несколько завышен pH – до 8.04 и занижен Eh (от –91 до +39 мВ). Более интересна для экологического исследования вершина бухты. Как уже сказано, она испытывает наибольшую антропогенную нагрузку, и к тому же имеет глубины менее 1 м. Поэтому донные осадки данной части акватории представлены тёмно-серыми/чёрными илами или песками с примесью ила, большим количеством разложившейся

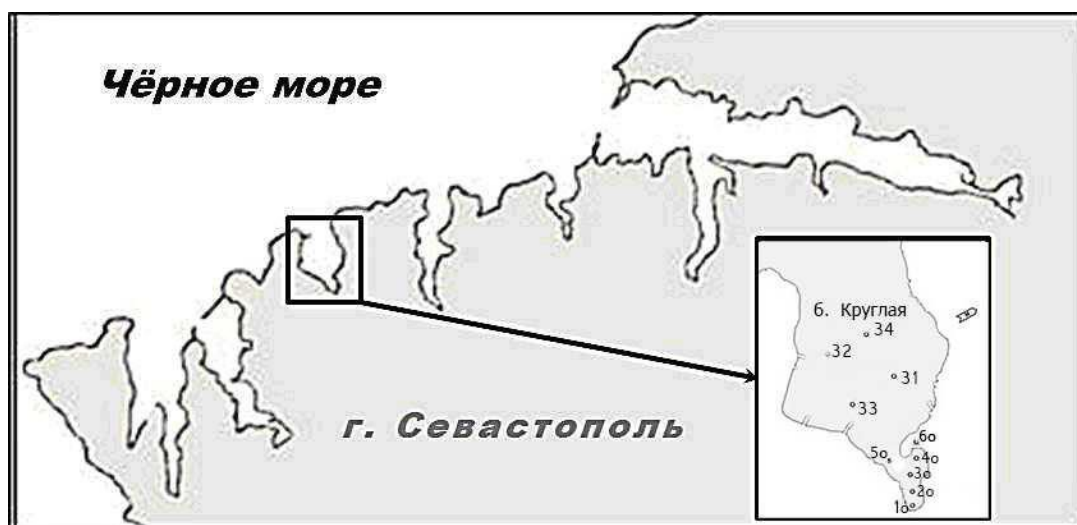


Рис. 1 Схема отбора проб донных осадков в бухте Круглая (Севастополь, Чёрное море)

Fig. 1 The scheme of sampling of the sea bottom sediments of the Kruglaya bay (Sevastopol, Black Sea)

органики и запахом сероводорода. В исследуемой акватории в 2015 г. натуральная влажность варьировала от 28.3 (ст. 04) до 63.2 % (ст. 03), что несколько выше, чем в центральной части бухты. Окислительно-восстановительный потенциал занижен по сравнению с предыдущими годами и составлял до -190 мВ на всех исследуемых станциях, тогда как ранее показатели не опускались ниже -134 мВ, а на ст. 05 за-

фиксировано $+21$ мВ [8]; pH также занижен ($7.29-7.69$), что может свидетельствовать о попадании в акваторию бухты хозяйственно-бытовых стоков.

Об органическом загрязнении можно судить по концентрациям ХЭВ, которые в 2015 г. составили от 900 (ст. 01) до 11 (ст. 05) $\text{мг} \cdot 100 \text{ г}^{-1}$ возд.-сух. д. о. (рис. 2).

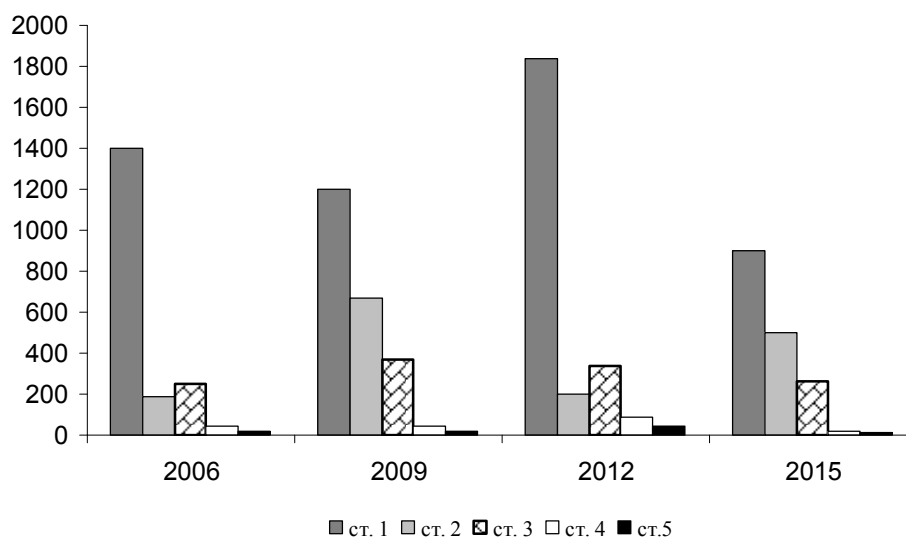


Рис. 2 Концентрации ХЭВ ($\text{мг} \cdot 100 \text{ г}^{-1}$ возд.-сух. д. о.) в донных осадках на исследуемых станциях (б. Круглая)

Fig. 2 The concentrations of chloroform-extracted substances ($\text{mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ air-dry b. s.) in the sea bottom sediments at the studied stations (the Kruglaya bay)

Как видно из рис. 2, на протяжении периода исследования концентрации ХЭВ на ст. 03–05 находятся на постоянном уровне, изменяясь в пределах погрешности метода исследования, тогда как на ст. 02 отмечено увеличение в 2.5 раза по сравнению с 2012 г., а на ст. 01 – общее уменьшение по всему периоду. Однако даже при изменении данных параметров уровень загрязнения на ст. 01 не изменился и соответствует IV [2]. Кроме того, в 2015 г. в результате анализа прибрежных наносов б. Круглой выяснилось, что количество ХЭВ в прибрежных наносах, соответствующих ст. 01, имело самые максимальные значения и составило $620 \text{ мг} \cdot 100 \text{ г}^{-1}$ [9], тогда как на самой ст. 01 – $900 \text{ мг} \cdot 100 \text{ г}^{-1}$. Данная точка находится вблизи источника аварийного выпуска сточных вод. Можно предположить, что загрязняющие вещества из стока попадают в таком объеме, переработать который местное биологическое сообщество не успевает, в результате чего, с учётом малых глубин, они осаждаются на дно. Кроме того, в 2015 г. была отобрана проба донных осадков вблизи стоянки маломерных

судов (ст. 06, рис. 1), результаты исследования которой показали, что загрязнение на данной станции высокое, по сравнению с рядом находящимися ст. 04 и 05, и составляет $460 \text{ мг} \cdot 100 \text{ г}^{-1}$. Таким образом, загрязнение органическими веществами по акватории вершины бухты Круглая распространено неравномерно и чётко соответствует уровню антропогенной нагрузки на ту или иную её часть.

Несколько иначе выглядит нефтяное загрязнение исследуемой акватории. Концентрации НУ (рис. 3) на ст. 04 и 05 приближены к следовым значениям, за исключением 2012 г., но, тем не менее, уровень остаётся низким. На ст. 01 отмечено увеличение данного параметра по сравнению с результатами 2012 г., тогда как на ст. 02 – относительно всего периода исследования. Данный факт, возможно, связан с тем, что в летний период возрастает интенсивность эксплуатации водного транспорта, а на протяжении всего года НУ постоянно поступает с водами из ливневой канализации с близлежащей трассы.

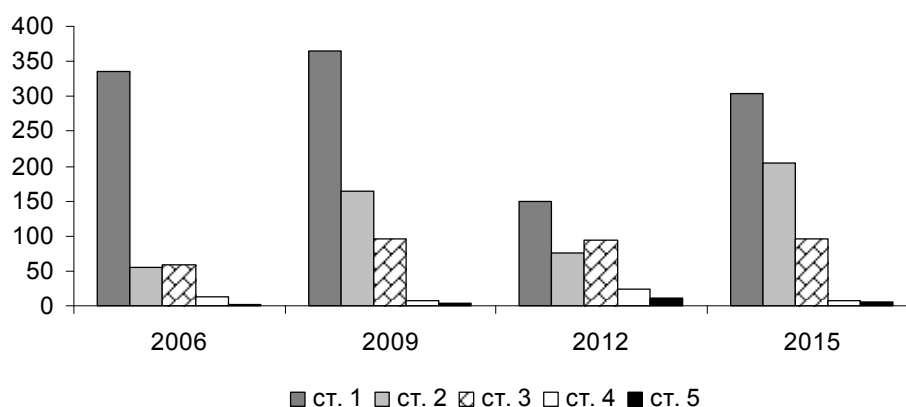


Рис. 3 Концентрации НУ ($\text{мг} \cdot 100 \text{ г}^{-1}$ возд.-сух. д. о.) в донных осадках на исследуемых станциях (б. Круглая)
Fig. 3 The concentrations of oil hydrocarbons ($\text{mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ air-dry b. s.) in the sea bottom sediments at the studied stations (the Kруглая bay)

В бухте Круглая на всех исследованных станциях отмечено увеличение доли НУ от ХЭВ, максимальный рост произошёл на ст. 01 с 8 % в 2012 г. до 34 % в 2015 г., т.е. при общем уменьшении содержания ХЭВ, доля НУ

возросла в 4 раза. В 2015 г. данный параметр составил: на ст. 02 – 41 %, ст. 03 – 37 %, ст. 04 – 31 %, ст. 05 – 45 %. Следует отметить, что уровень органического загрязнения на ст. 04 и 05 низкий и основную долю в нём составляют

НУ. Полученные результаты свидетельствуют об увеличении антропогенной нагрузки на экосистему данной акватории.

Выводы. 1. Загрязнение органическими веществами в акватории бухты Круглая неравномерно и приурочено к его источникам: центральная часть бухты является чистой, тогда как загрязнение её вершины в некоторых точках достигает IV уровня. 2. На ст. 01 на-

блюдается интенсивное накопление загрязняющих веществ, о чём свидетельствуют показатели концентрации ХЭВ (на самой ст. – 900 мг · 100 г⁻¹, тогда как в прибрежных наносах вблизи станции 620 мг · 100 г⁻¹). 3. За весь период исследований отмечено снижение концентрации ХЭВ, за исключением ст. 02, но доля НУ выше по всей акватории вершины б. Круглой.

1. Алёмов С.В., Витер Т.В. Сообщества макрозообентоса вершины б. Круглая (Севастополь, Чёрное море) // *Экологические проблемы Азово-Черноморского региона и комплексное управление прибрежной зоной: материалы молодёж. науч.-практ. конф.* (г. Севастополь, 29 сент. – 05 окт. 2014 г.). Севастополь, 2014. С. 176–180. [Alyomov S.V., Viter T.V. Macrozoobentos communities of Kruglaya bay head (Sevastopol, Black Sea). In: *Ecological problems of the Azov-Black sea region and integrated coastal management: materials of youth scientific-practical conference* (Sevastopol, 29 Sept.-05 Oct. 2014). Sevastopol, 2014, pp. 176-180. (in Russ.)]
2. Кирюхина Л.Н. Влияние гранулометрического состава донных осадков на накопление аллохтонных углеводородов // *Экология моря*. 1982. Вып. 10. С. 36–39. [Kiryukhina L.N. The influence granulometric composition of bottom sediments on allochthonic hydrocarbon accumulation. *Ekologiya morya*, 1982, iss. 10, pp. 36-39. (in Russ.)]
3. Кирюхина Л.Н., Миронов О.Г. Химическая и микробиологическая характеристика донных осадков севастопольских бухт в 2003 г. // *Экология моря*. 2004. Вып. 66. С. 53–58. [Kiryukhina L.N., Mironov O.G. Chemical and bacterial characteristics on marine bottom sediments in Sevastopol bays in 2003. *Ekologiya morya*, 2004, iss. 66, pp. 53-58. (in Russ.)]
4. Ковардаков С.А., Празукин А.В. Структурно-функциональные характеристики донного фитопланктона бухты Круглой (Севастополь) // *Экосистемы, их оптимизация и охрана*. 2012. Вып. 7. С. 138–148. [Kovardakov S.A., Prazukin A.V. Structural and functional characteristics of the bottom seaweeds community in Kruglaya bay (Sevastopol). *Ekosistemy, ikh optimizatsiya i okhrana*, 2012, iss. 7, pp. 138-148. (in Russ.)]
5. Колесникова Е.А., Мазлумян С.А. Сезонная динамика мейобентоса зарослей цистозир в бухте Круглая // *Проблемы устойчивого развития приморских городов*. Севастополь: Аквавита. 2002. С. 192–203. [Kolesnikova E.A., Mazlumjan S.A. An ecological and geochemical state of coastal marine and terrestrial landscapes as a criterion of sustainable development of coastal territories. In: *Problems of sustainable development of coastal cities and towns*. Sevastopol: Aquavita, 2002, pp. 192-203. (in Russ.)]
6. Куфтаркова Е.А., Родионова Н.Ю., Губанов В.И., Бобко Н.И. Гидрохимическая характеристика отдельных бухт Севастопольского взморья // *Труды ЮгНИРО*. 2008. Т. 46. С. 110–111. [Kuftarkova E. A., Rodionova N. Yu., Goubanov V. I., Bobko N. I. Hydrochemical characteristics of several bays of Sevastopol coast. *Trudy YugNIRO*, 2008, vol. 46, pp. 110-111. (in Russ.)]
7. *Определение загрязняющих веществ в пробах морских донных отложений и взвеси. Методические указания*. Москва: ФСР по гидромет. и мониторинг. окр. среды. 1996. 46 с. [Opređenje zagryaznyayushchikh veshchestv v probakh morskikh donnykh otlozhenii i vzvesi. *Metodicheskie ukazaniya*. Moscow: FSR po gidromet. i monitor. okr. sredy. 1996. 46 p.]
8. Рубцова С.И., Тихонова Е.А., Бурдиян Н.В., Дорошенко Ю. В. Оценка экологического состояния Севастопольских бухт Чёрного моря по основным химическим и микробиологическим критериям // *Морской экологический журнал*. 2013. Т. 12, №2. С. 38–50. [Rubtsova S.I., Tikhonova E.A., Burdiyan N.V., Doroshenko Yu.V. The estimation of the ecological state of Sevastopol bays on basic chemical and microbiological criteria. *Morskoi ekologicheskii zhurnal*, 2013, vol. 12, no. 2, pp. 38-50. (in Russ.)]
9. Тихонова Е.А., Шалыгина А.С. Экологическое состояние бухты Круглой (Чёрное море) в 2015 году // *«Pontus Euxinus 2015»: тезисы IX Всерос. науч.-практ. конф. молодых ученых (с международным участием) по проблемам водных экосистем* (Севастополь, 17-20 ноября 2015 г.). Севастополь, 2015. С. 172–173.

[Tikhonova E.A., Shalygina A.S. Ekologicheskoe sostoyanie bukhty Krugloi (Chernoe more) v 2015 godu. In: «Pontus Euxinus 2015»: tezisy IX Vseros. nauch.-prakt. konf. molodykh uchenykh (s mezhdunarodnym uchastiem) po problemam

vodnykh ekosistem (Sevastopol, 17-20 Nov. 2015). Sevastopol, 2015, pp. 172–173.]

Поступила 9 декабря 2015 г.

The long-term dynamics of the sea bottom sediments pollution of the Kruglaya bay (Black sea). E. A. Tikhonova. The relevance of the Kruglaya bay's pollution research is specified due to adverse situation in its water areas during the seasons with increased anthropogenic pressure and environmental conditions favorable for the activation of biological growth. This is especially true for the organic pollution, originating both from emergency sources, and from the metabolites of the organisms. Sea bottom sediments are the final destination of the migration and deposition of these substances, analysis of which gives the opportunity to present a stable picture of the contamination. Therefore, the aim of the work was to evaluate the long-term changes in the state of the sea bottom sediments of the bay. The material for the study is based on the samples of sea bottom sediments, collected in the Kruglaya bay by Petersen bottom sampler. The total amount of chloroform-extractable substances was determined by gravimetric method in properly prepared air-dried samples, while the amount of oil hydrocarbons was determined by infrared spectrometry. The analysis of long-term dynamics of the sea bottom sediments pollution in the Kruglaya bay in period of 2006–2012 was conducted. The results showed that pollution by the organic substances in the water area of the Kruglaya bay was unevenly distributed and was confined to its sources: the central part of the bay is clean, while the level of pollution of its highest peaks reaches the degree of contamination of the IV level. There is an intense accumulation of pollutants at st. 01, as evidenced by the results of concentrations chloroform-extractable substances (at this st. – $900 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$, while the littoral deposits near the station contained $620 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$). Thus, the common concentration of chloroform-extractable substances is decreased for the entire study period, with the exception of st. 02, but the proportion of oil hydrocarbons is higher at the whole water area of the Kruglaya bay's top.

Keywords: chloroform-extractable substances, oil hydrocarbons, sea bottom sediments, Kruglaya bay, Black Sea.



УДК 001:910.4(091)

Е. В. Грезе, канд. психол. наук, доцент

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», гуманитарно-педагогический институт

К 100-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ В. Н. ГРЕЗЕ: СТРАНИЦЫ ЖИЗНИ

В декабре 2015 г. гидробиологическая общественность отмечает 100-летие со дня рождения большого учёного и замечательного человека Владимира Николаевича Грезе.

Владимир Николаевич родился 9 декабря (26 ноября по ст. ст.) 1915 г. в г. Москве, Замоскворечье. Дед Владимира Николаевича по отцу – Самуил Федорович Грезе, преподаватель Московского коммерческого училища, был женат на Марии Александровне. В конце 1880-х у них родились два сына: Николай (бу-

душый отец Владимира и энтомолог) и Борис (впоследствии известный гидробиолог). Отец Грезе Николай Самойлович, 1886 г. р., до 1918 г. работал в Московском университете ассистентом; как учёный-энтомолог участвовал в создании энтомологической экспозиции музея МГУ. В 1919 г. семья переселилась в г. Киев, где отец работал научным сотрудником Дарницкого лесничества, защитил кандидатскую диссертацию (рис. 1).



Рис.1 Семья Грезе в Киеве.
Fig. 1 Family Greze in Kiev

В 1931 г. семья переехала в Харьков, где Николай Самойлович поступил в Институт защиты леса, работал заведующим сектором и писал докторскую диссертацию. Война прервала всё в 1942 г., родители В. Н. Грезе погибли. Особенно же на ул. Ольминского, где проживала семья Грезе, сохранился до сегодняшнего дня. Борис Самойлович Грезе, дядя, также оказал влияние на Владимира Николаевича своей преданностью науке. Интересы Б. С. Грезе представлены гидробиологическими исследованиями многочисленных водоёмов Волжского бассейна, обширным сотрудничеством с коллегами, множеством

поездок в экспедиции, на конференции и симпозиумы, в том числе и за границу.

Осенью 1932 года В. Н. Грезе поступил на 4-й курс Рабфака при Харьковском пединституте, который уже в 1933 г. был восстановлен как Университет (рис. 2).



Рис.2 Владимир с отцом. Харьков, 1932.
Fig. 2 Vladimir with his father. Kharkov, 1932.

Будучи студентом, Владимир активно путешествовал, участвовал в исследовательских экспедициях, с энтузиазмом работал на практике на Донецкой биостанции университета, изучая водоёмы поймы Северского Донца. Так, летом 1934 г. он провел практику на Карадаге, в 1935 г. был на Кавказе на Военно-Сухумской дороге: ст. Невинномысская – Баталпашинск – Теберда – Домбай – Сухуми. Зимой 1936 г. совершил научную экспедицию на Донбасс: Луганск – Кадиевка – Ворошиловск и др. с целью

обследования санитарно-биологического состояния водоёмов области. В июле – августе 1937 г. по заданию Харьковского протозойного института Владимир проводил работу на Змиевской малярийной станции по изучению лярвифагности гамбузии.

В студенческой жизни В. Н. Грезе случилось неприятное. 18 ноября 1937 г. НКВД был произведен обыск у четверых друзей-студентов биологического факультета. Им предъявлялось обвинение как участникам антисоветской организации, ставившей целью борьбу против советской власти. Мерой пресечения избрано содержание под стражей в Харьковской тюрьме. Следствие тянулось больше года. Выяснилось, что они были оклеветаны студентом-провокатором и организатором антиправительственной пропаганды в среде студенческой интеллигенции. 3 января 1939 г. они вышли на свободу, были реабилитированы и восстановлены в правах студентов биологического факультета Харьковского университета.

В. Н. Грезе с отличием закончил Харьковский университет и в июле 1939 г. отправился в самостоятельную жизнь в Красноярск, где поступил на работу в Сибирское отделение Всесоюзного института озерного и речного рыбного хозяйства (СО ВНИОРХ). В 1940 г. В. Н. Грезе участвует в трёх научных экспедициях по маршруту Красноярск – Дудинка – Левинские пески – Плахино, в районе Среднего Енисея. Для постановки широкоплановых научных исследований В. Н. Грезе изобрёл и изготовил драгу для взятия проб на плотных грунтах.

В личной жизни В. Н. Грезе также произошли перемены. Возникшее чувство к молодой сотруднице Ираиде Ивановне Тарасовой было взаимным. 26 июня 1941 г., через 4 дня после объявления войны, молодые люди зарегистрировали брак в ЗАГСе Усть-Порта (рис. 3).

Для установления рыбных запасов и оценки кормовой базы озера Таймыр была



Рис. 3 В. Н. Грезе и И.И. Тарасова. Красноярск, 1941.
Fig. 3 V.N. Greze and I.I. Tarasova. Krasnoyarsk, 1941.

организована экспедиция и в апреле 1943 г. шесть участников отправились из Норильска на полуостров на оboзе из 125 упряжных оленей. Пятнадцатимесячная зимовка была трудной, холодной, но героическими усилиями был собран огромный биологический и гидрологический материал. Исследователи вернулись с Таймырского озера 15 октября 1944 г., а на другой день были призваны в армию. 19 октября 1944 г. В. Н. Грезе выехал из Красноярска в Лугу, где был зачислен в 1242-й Гаубичный артиллерийский полк в составе 25-й артиллерийской Берлинской ордена Богдана Хмельницкого дивизии прорыва Резерва Верховного Главного Командования. После учебных занятий 23 марта полк выдвинулся по маршруту Луга – Ратибор – Форст – Берлин. Военно-учетная специальность В. Н. Грезе называлась «старший вычислитель», он же командир отделения управления огневой взвода, состоящего из пяти 18 – 20-летних солдат (рис. 4). В его обязанности входило находиться на огневой позиции батареи, определять установки для стрельбы, рассчитывать корректуры и поправки, работать с ПУО (прибор управления огнём).

В. Н. Грезе был награждён в 1945 г. медалями «За взятие Берлина» и «За победу над Германией», в 1946 – медалью «За доблестный труд в Отечественную войну».



Рис. 4 Отделение огневой взвода, второй слева – В. Н. Грезе, командир отделения. 1945
Fig. 4 Squad firing platoon, second from the left – V.N. Greze, the commander. 1945

После окончания Великой Отечественной войны Владимир Николаевич вернулся к любимому делу – изучению биологических ресурсов сибирских водоёмов. 2 апреля 1947 г. по результатам исследований фауны озера Таймыр он первым в послевоенный период в Сибирском отделении защитил кандидатскую диссертацию «Основные черты гидробиологии озера Таймыр», а 25 апреля 1947 г. ему была присуждена учёная степень кандидата биологических наук.

В 1955 г. 4 ноября в Ленинграде, в Зоологическом институте АН СССР, состоялась защита докторской диссертации «Водная фауна реки Енисей», а 28 апреля 1956 г. ВАК СССР присудил В. Н. Грезе учёную степень доктора биологических наук.

В основу диссертационной работы легли материалы многолетних исследований лаборатории гидробиологии. В итоге работ 1940 – 1953 гг. было собрано и обработано 934 пробы планктона, 1225 проб бентоса, 4485 проб на питание рыб. Всего на протяжении 2990 км течения Енисея (от выхода его из Саян до устья) было сделано 126 биофизиологических разрезов с определениями характеристик грунтов, скоростей течения, температуры воды, отборами проб бентоса и планктона. Все

работы осуществлялись в условиях вечной мерзлоты и сурового климата с борта лодки, изредка – катера! Для количественного учёта бентоса на твердых грунтах и течении с успехом использовалась специальная авторская конструкция драги (В. Н. Грезе, 1944). Для учёта придонного зоопланктона, имеющего существенное значение в питании рыб, особенно молоди, автором был предложен новый прибор – вихревой количественный трал (В. Н. Грезе, 1951).

В диссертационной работе В. Н. Грезе освещает историю гидробиологического изучения реки Енисей от пятилетнего путешествия академика П. С. Палласа по Сибири, описывает условия обитания и приводит эколого-систематический список фауны реки, анализирует зоогеографический и палеонтологический аспекты формирования фауны Енисея. Важнейшими разделами диссертации являются главы, посвящённые продуктивности зоопланктона, зообентоса и ихтиофауны. Было выявлено, что высокопродуктивные биоценозы привязаны к низовьям реки с нижним течением, что многие реликтовые организмы Енисея могут быть объектами акклиматизации в олиготрофных водоёмах с целью повышения их продуктивности. Изучение потребления кормовых ресурсов рыбами показало значительное недоиспользование кормовых резервов. Увеличение численности стада рыб должно достигаться рыбоводными мероприятиями и охраной их естественного воспроизводства. Так, на основе кормовых предпочтений в верхнем течении это должна быть стерлядь (литореофильные корма), в дельте и губе нужно увеличить численность осетра, сига и муксуна, которые являются потребителями бентосных организмов.

Присвоение Владимиру Николаевичу Грезе степени доктора биологических наук принесло ему заслуженную известность крупного учёного, значительно расширило его научные возможности.

Так завершился богатейший Сибирский период научного становления и расцвета учёного В. Н. Грезе (рис. 5). За долгие 18 лет жизни

ни в Красноярске Владимир Николаевич побывал во множестве мест нашей страны, повидал большое количество очень разных людей, судьба забрасывала его и в дикую безлюдную глушь, и в гущу событий во время Великой Отечественной войны. И хранила.

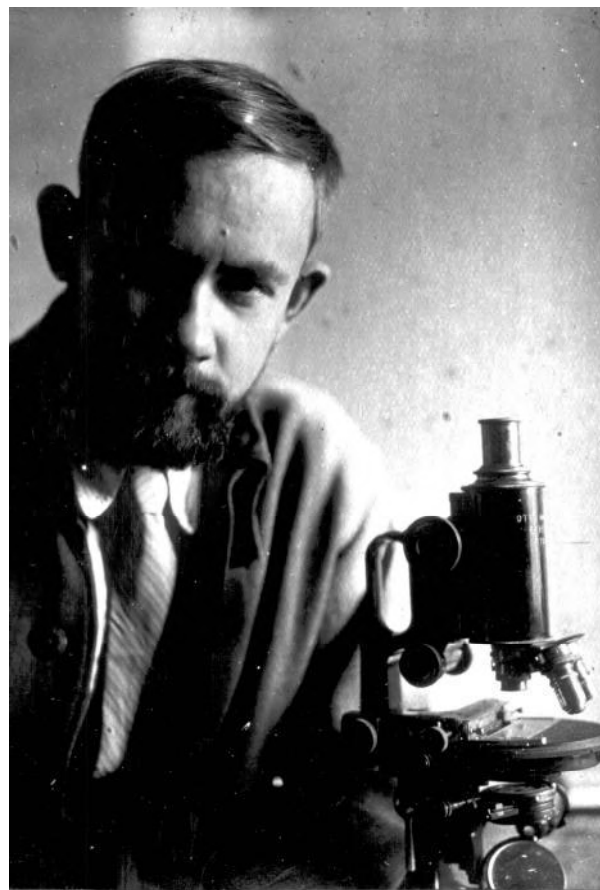


Рис.5 В. Н.Грезе в Красноярске. 1950-е гг.
Fig. 5 V.N. Greze in Krasnoyarsk. 1950th

Основные научные публикации В. Н. Грезе в красноярский период:

1. Таймырское озеро // *Изв. Всесоюз. геогр. о-ва*. 1947. Т. 79, вып. 3. С. 289–302.
2. Зоопланктон Енисейского залива // *Фонды Сиб. отд. ВНИОРХ*. 1949.
3. Рыболовственное изучение озер в Туруханском районе // *Фонды Сиб. отд. ВНИОРХ*. 1952.
4. Продукционно-биологический очерк р. Енисея // *Тр. Барабинского отд.*

- ВНИОРХ*. 1953. Т. 6, вып. 1. С. 103–135.
5. Озера северо-западной окраины Среднесибирского плоскогорья // *Вопр. геогр. Сибири*. 1953. № 3. С. 201–217.
 6. Озёра Большое и Инголь как водоёмы акклиматизации сиговых // *Труды ТГУ*. 1955. Т. 131.
 7. Водная фауна реки Енисея. – Изд. ЗИН АН СССР, 1955
 8. Кормовые ресурсы рыб реки Енисея и их использование // *Изв. ВНИОРХ*. 1957. Т. 41.
 9. Как лучше использовать рыбные богатства Красноярского края. Красноярск : Изд. НТО, 1957.

Научные сотрудники КрасНИОРХА испытывали трудности в жилищном вопросе, продолжали ютиться по одному – два человека в комнатухах, ещё в годы войны переделанных из бывшего каретного сарая со стенами из бутового камня. В. Н. Грезе занимал с женой и уже двумя дочерьми небольшую комнату менее 20 кв. м в деревянном доме, где ещё молодым человеком начинал свою карьеру будущего учёного.

Центральный институт ВНИОРХ в Ленинграде пригласил В. Н. Грезе на работу старшим научным сотрудником, а вскоре он стал заведовать лабораторией гидробиологии. Семья жила в Заячьем ремизе в Петергофе в деревянном доме. Так прошли почти два года.

В июне 1959 г. В. Н. Грезе пишет заявление директору Севастопольской биологической станции чл.-корр. АН УССР, проф. В.А. Водяницкому с просьбой участвовать в конкурсе на должность старшего научного сотрудника СБС АН СССР и 20 октября 1959 г. его кандидатура была утверждена. 6 декабря 1959 г. семья ступила на землю Севастополя. Начался севастопольский период в жизни В. Н. Грезе длиной в 28 лет.

Научные интересы и достижения:

- Изучение биологической структуры пелагиали Черного, Средиземного, Карибского морей и Атлантического океана;

- Разработка приборов для количественного учета планктона и бентоса;
- Разработка методов расчета продукции популяций водных животных;
- Исследование трофической структуры планктона Ионического моря;
- Расчет годовой продукции зоопланктона в Черном море.



Рис.6 В. Н. Грезе на борту НИС «Михаил Ломоносов», 17-й рейс, 1964 – 1965 гг.

Fig. 6 V. N. Greze on the board of Scientific research vessel “Mikhail Lomonosov”, 17 Cruis, 1964 – 1965.

Библиография В. Н. Грезе насчитывает более 170 научных работ.

Указом Президиума Верховного Совета СССР от 27 апреля 1967 г. В. Н. Грезе за достигнутые успехи в развитии советской науки и внедрении научных достижений в народное хозяйство награжден орденом «Знак Почёта» (*Вестник АН СССР*, 1967, № 7).

20.12.1967 г. – избран членом-корреспондентом АН УССР.



Рис. 7 На Сессии консультативного комитета ЮНЕСКО. Абиджан. 1966
Fig. 7 During the session on UNESCO consultative committee. Abidjan. 1966

3.01.1968 г. – утверждён в ученом звании профессора по специальности «гидробиология»

28.03/19.04.1968 г. – утвержден на должность директора ИнБЮМ АН УССР.

Став в 1968 г. директором ИнБЮМ АН УССР, В. Н. Грезе активно продолжил начатые при В. А. Водяницком сравнительные биопродукционные исследования морей Средиземноморского бассейна, распространив их на Атлантический и Индийский океаны.

Признание авторитета В. Н. Грезе как одного из ведущих морских биологов нашло выражение в назначении его в качестве представителя СССР в Консультативном Комитете ЮНЕСКО при Индоокеанском биологическом центре (1967 – 1969), участии в составе советских делегаций при разработке международных исследовательских программ, включении в состав редколлегии международных и общесоюзных журналов.

В 1975 г. В. Н. Грезе был награждён Орденом Трудового Красного Знамени.

Основные научные труды В. Н. Грезе в севастопольский период:

1. Биологическая структура и продуктивность пелагиали тропической Атлантики // Планктон и биологическая продуктивность тропической Атлантики. Киев, 1971. С. 214–252.
2. Вторичная продукция морей и океанов // Итоги науки и техники : сер. Общая экология. Биоценология. Гидробиология / ВИНТИ. - М., 1973. - Т. 1. - С. 102–137.
3. Зоопланктон // Основы биологической продуктивности Черного моря / под общ. ред. В. Н. Грезе. - Киев, 1979. Гл. 8. Зоопланктон.
4. Биология моря. Киев : Знание, 1979. 48 с.
5. Морская гидробиология в СССР, её

- современные проблемы и перспективы // История исследований биологических ресурсов гидросферы и их использования. Москва, 1981. С. 38–46.
6. Общие структурные и функциональные характеристики Южно-атлантического круговорота, как экологической системы // Биопродукционная система крупномасштабного круговорота / под общ. ред. В. Н. Грезе. Киев, 1984. С. 232–245.
7. Азовское море // Природа Украинской ССР. Моря и внутренние воды. Киев, 1987. С. 30–47.
8. Пелагиаль Средиземного моря как экологическая система. Киев : Наукова думка, 1989. 198 с.

Помимо научной деятельности, Владимир Николаевич Грезе вёл большую общественно-политическую работу, являясь членом и председателем ряда научных советов, пропагандистом, лектором, членом партбюро и депутатом Севастопольского горсовета.



В. Л. Лысс, капитан 1 ранга в отставке, член Севастопольского отделения Союза филателистов России

**ПАМЯТЬ О «ЧЕЛОВЕКЕ С ЛУНЫ»
(Н.Н. МИКЛУХО-МАКЛАЙ, К 170-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ)**

В центре Севастополя на берегу Артиллерийской бухты расположено здание ФГБУН «Институт морских биологических исследований им. А. О. Ковалевского РАН». Здание, спроектированное архитектором Вейзенем в стиле классического ренессанса и построенное в 1897 г. для Севастопольской биологической станции (рис. 1 А), стоит так близко к воде, что во время штормов морская волна, ударившись о бетонный парапет набережной, обрушивает каскад брызг на его морской фасад на море.

В 1971 г. в 100-летний юбилей Севастопольской биологической станции у входа в здание со стороны Приморского бульвара на вертикальных четырехугольных пьедесталах из красного гранита установлены два беломраморных бюста – первого директора Севастопольской биологической станции в 1892 – 1901 гг. академика А. О. Ковалевского и учёно-путешественника Н. Н. Миклухо-Маклая, предложившего создать биологическую станцию в Севастополе (рис. 1 В).

17 июля 2016 г. исполняется 170 лет со дня рождения Николая Николаевича Миклухо-Маклая (1846 – 1888) – русского этнографа, антрополога, биолога и путешественника, посвятившего свою жизнь изучению коренного населения Юго-Восточной Азии, Австралии и Океании (рис. 3 А). Недолгая жизнь Миклухо-Маклая (путешественник прожил всего 42 года)

полна невероятных, фантастических приключений. Увлечённость наукой, огромная эрудиция, бесстрашие и не знающее аналогов терпение естествоиспытателя наделяют Николая Николаевича сверхчеловеческими качествами – недаром папуасы Новой Гвинеи звали его «Человеком с Луны». Гражданином Мира он назван ЮНЕСКО уже в наше время, в 1996 г. – в год 150-летия учёного. Его научные труды поистине планетарного масштаба, его философия человеческих междисциплинарных взаимоотношений – пример неподдельного гуманизма.

Люди помнят великого учёного и путешественника. В честь Миклухо-Маклая назван астероид № 3196 Маклай (Maklaj), открытый в 1978 г. О великом путешественнике сняты документальные, художественные и анимационные фильмы, написаны книги. Биографии путешественника посвящено несколько выпусков серии «Жизнь замечательных людей» (рис. 2). Постановлением Совета Министров СССР от 29 января 1947 г. имя Миклухо-Маклая было присвоено Институту этнографии АН СССР. Памятники учёному установлены в Окуловке (Новгородская область), Малине, Севастополе, Джакарте и других городах мира. Улицы Миклухо-Маклая существуют в Москве и Маданге (Папуа-Новая Гвинея). Есть улица Миклухо-Маклая и в Севастополе. Решением Исполкома Севастопольского городского сове-

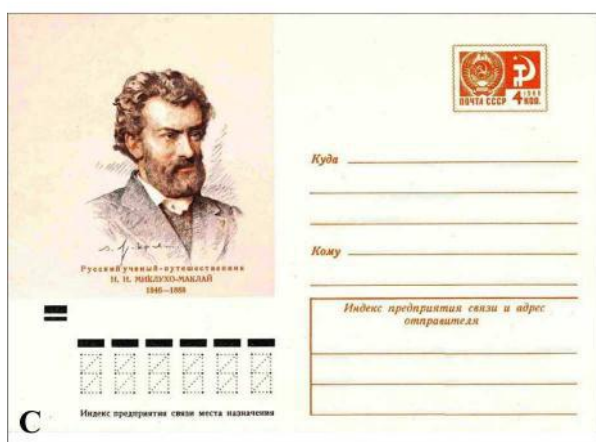
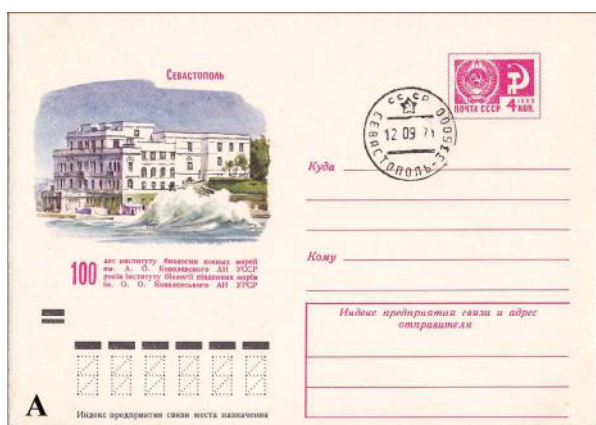


Рис. 1 А – Конверт, посвященный 100-летию Института биологии южных морей им. А. О. Ковалевского. СССР, 1971 г.; В – Памятник Н.Н. Миклухо-Маклаю (автор скульптор О. Д. Минькова) изображен на конверте, посвященном 125-летию со дня образования Севастопольской биологической станции, 1996 г.; С – Художественный маркированный конверт СССР, посвященный путешественнику Н. Н. Миклухо-Маклаю. Художник А. Яр-Кравченко. 1971 г.; D – Конверт Украины, посвященный 100-летию Севастопольского Аквариума-музея с памятным гашением

та от 7 мая 1992 г. одна из улиц микрорайона индивидуальной застройки 7-го км Балаклавского шоссе названа именем великого учёного и путешественника.

Увековечено имя Н. Н. Миклухо-Маклая и на географических картах. На карте Новогвинейского моря (ныне море Бисмарка, рис. 3 С), нетрудно обнаружить названия «Берег Маклая» и «пролив «Витязь». В них увековечена память о выдающемся русском учёном Н. Н. Миклухо-Маклае, а также об одном из славных кораблей российского флота.

«Многие местности получили там названия.... Все мыски были окрещены именами офицеров, делавших съёмку, а остров, кото-

рый виднелся у мыса Дюпере, назвали островом «Витязя» – отмечал в дневнике Николай Николаевич. Тогда же, осенью 1872 г. на карте Новогвинейского моря появился и «пролив «Витязя» (рис. 3 В). Кроме того, именем великого учёного назван залив Южного океана у берегов Антарктиды (Земля Уилкса).

Что касается «Витязя», то в 1882 г. корвет переименовали в честь прославившегося в русско-турецкую войну (1877 – 1878) генерала М. Д. Скобелева. Впрочем, название «Витязь» отсутствовало в списках российского военного флота недолго: в 1886 г. его присвоили новому парусно-винтовому корвету. Второй «Витязь» вошел в историю русского мореплавания как

корабль адмирала С. О. Макарова, который стал его первым командиром, совершив в 1886 – 1889 гг. кругосветное плавание, давшее Макарову материал для его научного труда – «Витязь» и Тихий океан». В 1893 г. второй «Витязь» разбился на камнях в районе порта Лазарев, но его название стало бессмертным: оно высечено на фронтоне здания Международного Океанографического музея в Монако рядом с названиями других кораблей, прославившихся научными открытиями. Третий «Витязь» (рис. 3 Е) – научно-исследовательское судно Института океанологии АН СССР было построено в 1948 г. Судно стало флагманом советского экспедиционного флота и совершило 65 экспедиций в дальневосточные моря, Тихий и Индийский океаны. В 1979 г. «Витязь» поставлен на вечную стоянку в Калининградском порту. На нём открыт Музей Института океанологии РАН. Наконец, четвёртое наименование «Витязь» получило российское научно-исследовательское судно, построенное в 1983 г. На судне 20 лабораторных ВЦ, где могут работать 60 научных сотрудников.

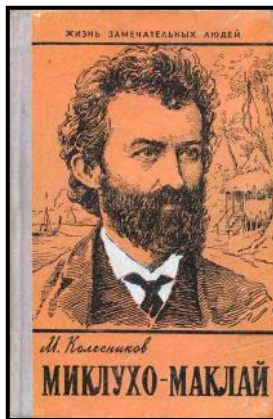


Рис. 2 Обложка книги: М. Колесников. Миклухо-Маклай. – Изд-во ЦК ВЛКСМ «Молодая гвардия». – М., 1961.

Как уже сказано, Николаю Николаевичу Миклухо-Маклаю посвящены почтовые выпуски нескольких стран. Первую марку издал в 1951 г. Советский Союз (рис. 3 А). В 1970 г. в СССР отмечали 125-летие Русского Географического общества. К этому событию в 1971 г. был выпущен художественный маркированный конверт (рис. 1 С), посвящённый Н. Н. Миклухо-Маклаю, который состоял в Русском Гео-

графическом обществе, руководимым П. П. Семеновым-Тянь-Шанским.

Папуасы с берега Маклая, среди которых Миклухо-Маклай прожил больше года, прониклись к «Человеку с Луны» искренним дружелюбием. Он лечил их, помогал решать спорные и хозяйственные вопросы, старался быть открытым и надёжным. Не случайно среди членов племени родилась поговорка: «Слово Маклая одно». Они доверяли ему, точнее, они в него верили. Помнят Николая Николаевича в Папуа-Новой Гвинее и в наше время: в 1970 г. почтовое ведомство этой страны выпустило почтовую марку, посвящённую Миклухо-Маклаю (рис. 3 F). В 1992 г. вышла марка России из серии «Географические открытия» с изображением Миклухо-Маклая (рис. 3 D), а в 1996 г. выдающемуся путешественнику посвятила марку почта Украины (рис. 3 G).

Миссия первооткрывателя Миклухо-Маклая носила глубокий, многогранный характер. Будучи представителем белой расы, находящейся на достаточно высоком уровне развития, он доказывал, что дикие племена Океании, Австралии, Юго-Восточной Азии – это антропологически такие же люди, жизнь которых просто обусловлена другими факторами воздействия внешней среды – удалённостью от материков, от морских торговых путей.

Разоблачая расизм и колониализм, Миклухо-Маклай выступал в защиту свободы и независимости изучаемых им народов. Он развернул агитацию против работорговли, широко распространённой в Океании и Африке. Маклай предрекал: «Колониальная система рухнет!» Так и случилось. Сегодня во многих странах его имя почитается на самом высоком уровне. Примером тому служит почтовый блок африканской Республики Чад, выпущенный в 2010 г. (рис. 4).

Имя Миклухо-Маклая можно прочесть не только на географической карте, на дощечке с названием улицы или на почтовой марке. Именем нашего знаменитого соотечественника называли и корабли. О непреходящем значении имён, начертанных на бортах кораблей



Рис. 3 А – Почтовые ведомства разных стран неоднократно выпускали марки, конверты и открытки, посвящённые великому ученому. Впервые Миклухо-Маклай был изображен на почтовой марке из серии «Ученые нашей Родины», выпущенной в 1951 г. в СССР; В – Русский корвет «Витязь» на марке Папуа-Новая Гвинея, 1987 г.; С – На почтовой марке Папуа-Новая Гвинея (1975 г.) изображена карта (выделена жёлтым цветом) и флаг государства Папуа-Новая Гвинея; D – Почтовая марка России из серии «Географические открытия» с изображением Миклухо-Маклая, 1992 г.; Е – Научно-исследовательское судно «Витязь» на марке СССР, 1959 г.; F – Почтовая марка Папуа-Новой Гвинеи, посвящённая Н. Н. Миклухо-Маклаю, 1970 г.; G – Почтовая марка Украины, посвящённая 150-летию со дня рождения выдающегося путешественника. 1996 г.

нашего флота, как о мобилизующих символах, можно говорить много. Имя корабля – это история страны, её слава и гордость. Среди них нет и не может быть имён случайных, надуманных. Поэтому не случайно, что четыре корабля в истории нашего флота несли на борту имя учёного-путешественника Николая Николаевича Миклухо-Маклая.

Первый «Миклухо-Маклай» («Emmet B. Vogle», «Ингул», рис. 5 А) – грузовое судно типа «Либерти», построенное в США в 1944 г. и переданное по лендлизу СССР. После войны входило в состав Балтийского морского пароходства. Судно было приписано к Калининградскому порту и работало до 1947 г.

Вторым получил имя великого путешественника буксир (рис. 5 В), построенный в 1949 г. на Судостроительном предприятии «Красное Сормово» в Горьком (Нижегородской области).

Третий «Миклухо-Маклай» – научно-исследовательское судно АН СССР малого тоннажа (рис. 5 С). Судно было переоборудовано на судоремонтных заводах Измаила и Одессы в несколько этапов (1961, 1964 и 1967 гг.) из среднего рыболовного сейнера типа РС-1021, построенного в 1959 г. Начиная с 1960 г., судно принадлежало Одесской биологической станции Института гидробиологии АН УССР, но в 1964 г. в связи с реорганизацией перешло в ведение Одесского отделения Института биологии южных морей АН УССР. Судно являлось головным в организации и выполнении комплексных океанографических съемок вблизи побережья Крыма и Кавказа. К 1986 г. судно в общей сложности совершило свыше 120 научно-исследовательских рейсов. В последние годы, вплоть до списания в 1991 г., оно использовалось Одесским филиалом ИнБЮМ АН УССР для кратковременных работ в основном в северо-западной части Чёрного моря с эпизодическими выходами в Средиземное море.

Четвертый «Миклухо-Маклай» (рис. 5 D) – грузопассажирский теплоход типа «Ерофей Хабаров» (проект 860), который работал на туристических и транспортных линиях Амурского речного пароходства. Теплоход был построен в 1961 г., порт приписки – Благовещенск. В 2003 г. переименован в «Капитан Котенко». В 2006 г. выведен из эксплуатации и отправлен в Комсомольск-на-Амуре на разделку.

Еще один корабль был назван в честь Миклухо-Маклая, но уже не в честь учёного-путешественника Николая Николаевича Миклухо-Маклая, а в честь его брата – капитана 1 ранга Владимира Николаевича Миклухо-Маклая, командира броненосца «Адмирал Ушаков», героически погибшего вместе со своим кораблем в Цусимском сражении. Именем В.Н. Миклухо-Маклая был назван эсминец «Капитан 1-го ранга Миклухо-Маклай» (типа «Лей-

тенант Ильин», построенный на Путиловском заводе и принадлежавший к числу эскадренных миноносцев типа «Новик»). У этого корабля (рис. 6) сложилась необычная судьба. Достаточно сказать, что его пять раз переименовывали, и он принадлежал флотам четырех различных государств!

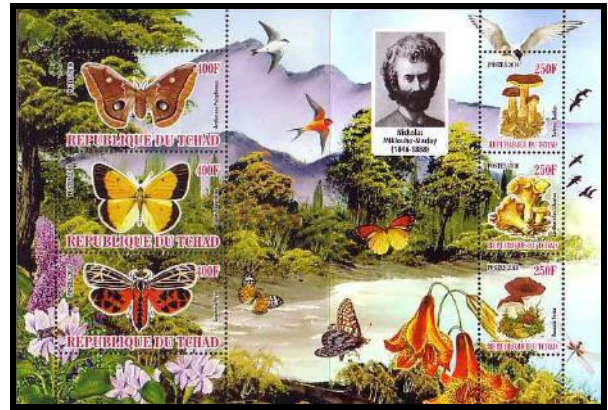


Рис. 4 Портрет Миклухо-Маклая на почтовом блоке Республики Чад. 2010 г.

Как видно из сказанного, имя Николая Николаевича Миклухо-Маклая известно во всём мире, но для севастопольцев самой большой памятью об учёном – путешественнике является здание, построенное для Севастопольской биологической станции, возле которого установлен памятник «Человеку с Луны».

Находясь далеко от Родины, Миклухо-Маклай не забывал о своей мечте создать биологическую станцию на Чёрном море. Весной 1875 г. Миклухо-Маклай писал из Сиам своему другу и коллеге немецкому зоологу Феликсу Дорну: *«Я вполне разделяю ваши взгляды о значении для науки зоологических станций... отличные результаты основанной вами в Неаполе станции (рис. 7) доставили мне большое удовольствие. Я не знаю, устроилась ли станция на Чёрном море, учреждение которой я предлагал Московскому обществу натуралистов».*

На самом деле черноморская станция, упомянутая Николаем Николаевичем, не просто устроилась и начала работать (причём на два года раньше, чем в Неаполе, в 1871 г.),



А



В



С



Д

Рис. 5 А – «Миклухо-Маклай». Суда типа Либурти под советским флагом (фотография с сайта <http://www.tsushima.su>); В – Буксир «Миклухо-Маклай» (фотография с сайта «Буксирный флот. Красное Сормово» <http://www.riverfleet.ru>); С – НИС «Миклухо-Маклай» (фотография с сайта «Про корабельные истории» <http://www.prokorabli.ru/nif/mikluho-maklaj.htm>); D – Теплоход «Миклухо-Маклай» (фото 1982 г. из статьи «Миклухо-Маклай, Николай Николаевич» <https://ru.wikipedia.org/>)



Рис. 6 Эскадренный миноносец «Капитан I ранга Миклухо-Маклай» (до 14.06. 1915 г. – «Капитан Кингсберген», с 18.12. 1918 г. – «Спартак», с 3.01. 1919 г. – эстонский миноносец «Вамбола» («Wambola»), с 1933 г. – перуанский миноносец «Алмиранте Виллар» («Almirante Villar»). Эсминцы «Lennuk» и «Wambola» достались Эстонии после распада Российской Империи. Фотооткрытка с сайта tsushima.su

но существует и по сей день, превратившись в крупное научное учреждение – ФГБУН «Институт морских биологических исследований имени А. О. Ковалевского РАН». Миклухо-Маклай мечтал о том, чтобы весь земной шар был покрыт сетью биологических (или зоологических, как их тогда называли) станций. Такие станции, по аналогии со станциями железнодорожными, должны были стать временными пристанищами для учёных: здесь они могли бы проводить исследования, собирать научный материал, а затем перемещаться на следующую станцию и так путешествовать по всему миру. Эту идею Миклухо-Маклай высказал в 1869 г. на II съезде русских естествоиспытателей и врачей в Москве. Идея была поддержана, и съезд вынес решение об организации биологической станции на крымском побережье –

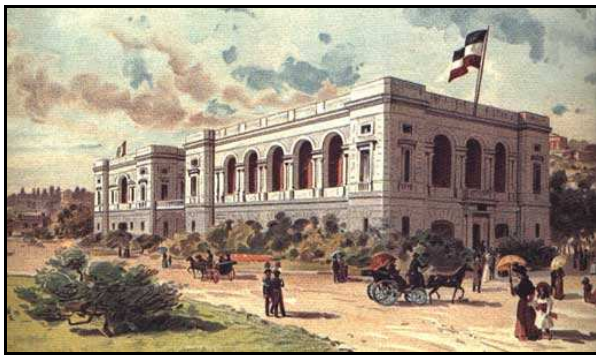


Рис. 7 Аквариум Неаполя – зоологическая станция Дорна. Открытка конца XIX в. Зоологическая станция Феликса Антона Дорна (1840 — 1909), основанная в 1873 г. близ Неаполя, стала центром международного научного сотрудничества. В период с 1874 по 1932 гг. на Неаполитанской зоологической станции побывало не менее 160 русских биологов, врачей и офицеров флота. Офицеры и врачи Военно-морского флота России проходили на станции практику для дальнейшего сбора коллекций во время плавания

в Севастополе, которая и была открыта в 1871 г., став первым подобным учреждением в России и третьим в мире.

Кстати, Севастопольская биостанция – не единственная реализация мечты Миклухо-Маклая. В 1878 г. он основал еще одну морскую биологическую станцию – близ Сиднея в Австралии. Самая заветная мечта великого путешественника осуществилась в 1975 г., когда образовалось независимое государство – Папуа-Новая Гвинея.

В 1892 г. Севастопольская биостанция

1. Большая Советская энциклопедия [Bol'shaya sovetskaya entsiklopediya]. 2006. (DVD).
2. Каталог почтовых марок. 1857–1991. Россия 1857–1917. РСФСР 1918–1923. СССР 1923–1991 / под общ. ред. В.Б. Загорского. Санкт-Петербург: Стандарт-Коллекция, 2007. [Katalog pochtovykh marok. 1857–1991. Rossiya 1857–1917. RSFSR 1918–1923. SSSR 1923–1991 / pod obshch. red. V.B. Zagorskogo. Sankt-Peterburg: Standart-Kollektsiya, 2007. (In Russ).]
3. Колесникова М. Миклухо-Маклай. – Москва: Молодая гвардия, 1961. – 272 с. – (Жизнь замечательных людей). [Kolesnikova M. Miklukho-



Рис. 8 Памятная медаль, посвящённая Н.Н. Миклухо-Маклаю. 1972 г.

была передана в Императорскую академию наук, ей были выделены средства на строительство собственного здания с морским аквариумом (рис. 1 D). В путеводителе по городу начала XX века сообщалось: «Аквариум устроен настолько эффективно и изящно, что по красоте и богатству спорит с наиболее известными в Европе аквариумами Берлина и Неаполя».

Бесстрашный исследователь, Миклухо-Маклай был одновременно и зоологом, антропологом, географом, этнографом, врачом, ботаником, ещё при жизни по праву был признан классиком мировой науки. Подвиг и труды Николая Николаевича были по-настоящему оценены лишь в XX веке. В честь 150-летия со дня рождения нашего выдающегося соотечественника 1996-й год был провозглашен ЮНЕСКО годом Миклухо-Маклая.

- Maklai. Moscow: Molodaya gvardiya, 1961, 252 p. (Zhizn' zamechatel'nykh lyudei). (in Russ).]
4. Корабли и вспомогательные суда Советского Военно-морского Флота (1917–1927 гг.) : Справочник. – Москва: Воениздат, 1981. – 584 с. [Korabli i vspomogatel'nye suda Sovetskogo Voenno-morskogo Flota (1917–1927). Spravochnik. Moscow: Voenizdat, 1981. - 584 p. (In Russ).]
5. Миклухо-Маклай, Николай Николаевич [Miklukho-Maklai, Nikolai Nikolaevich]. Available at: https://ru.wikipedia.org/wiki/Миклухо-Маклай,_Николай_Николаевич (accessed 20.12.2015).

6. Пилипчук Б.Л., Холки В.В. Севастополь. Тематический каталог-справочник почтовых и филателистических изданий. 1904–2000 гг. – Севастополь, 2001. [Pilipchuk B.L., Kholki V.V. Sevastopol. Tematicheskii katalog-spravochnik pochtovykh i filatelisticheskikh izdani. 1904–2000. Sevastopol, 2001. (In Russ).]
7. Севастополь. Энциклопедический справочник / ред.-сост. М.П. Апошанская. – Симферополь: Изд-во ООО «Фирма «Салта» ЛТД», 2008. – 1118 с. [Sevastopol. Entsiklopedicheskii spravochnik. Ed. M.P. Aposhanskaya. Simferopol: Izd-vo ООО «Firma «Salta» LTD», 2008. – 1118 p. (In Russ).]
8. Standard Postage Stamp Catalogue. New York: Scoot Publishing Co, 2005.
9. Stanley Gibbons Simplified Catalogue Stamps of The World. London; Ringwood, 2004.

В статье использованы почтовые марки, конверты, почтовые карточки и другой коллекционный материал из коллекции автора.



Н. А. Мильчакова, канд. биол. наук., зам. дир.

ФГБУН «Институт морских биологических исследований имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, РФ

**НЕИЗВЕСТНОЕ ОБ ИЗВЕСТНОМ
(К 145-ЛЕТИЮ СБС–ИНБЮМ–ИМБИ)**

В сентябре 2016 г. будет отмечаться 145-летний юбилей Севастопольской биологической станции – Института биологии южных морей – Института морских биологических исследований им. А. О. Ковалевского РАН. История института началась в 1869 г., когда на 2-м съезде Новороссийского общества естествоиспытателей и врачей в Москве выступил Н. Н. Миклухо-Маклай, призвавший создавать морские биостанции для развития научных исследований. Решением съезда стало создание Севастопольской морской биологической станции, которая была открыта в 1871 г. и стала первой в России. Спустя 20 лет СБС была переведена в ведение Императорской Академии наук, что упрочило её положение как научного учреждения и расширило возможности гидробиологических исследований.

Когда переворачиваешь сотни страниц архива в поисках малоизвестных фактов славной истории СБС-ИнБЮМ-ИМБИ, постоянно наталкиваешься на мысль, как мало мы ещё знаем о наших предшественниках – знаменитых учёных и учителях. Это в полной мере относится и к выдающемуся учёному-гидробиологу, чл.-корр. АН УССР, профессору, доктору биологических наук Владимиру Алексеевичу Водяницкому (1893-1971), сотруднику СБС с 1931 г., директору СБС с

1944 г. и первому директору ИнБЮМ, созданному на базе СБС, с 1963 по 1968 г. Казалось бы, написано немало книг об истории СБС; в 1975 г., уже после кончины В. А., опубликованы его "Записки натуралиста", где приведены этапы научной работы и истории СБС – ИнБЮМ [1]. По воспоминаниям сотрудников данного научного учреждения известны и основные черты характера В. А., на долю которого выпало немало испытаний, – принципиальность, стойкость, требовательность к себе и коллегам, ответственность. Высокий профессионализм и эрудированность, научная и педагогическая деятельность, незаурядный талант лектора, актерские способности делали В. А. образцом для подражания среди коллег не только в СССР, но и в странах ближнего и дальнего зарубежья.

И всё-таки есть неизвестные или малоизвестные факты из жизни этого замечательного Учёного, Гражданина и Патриота. Об одном из них хотелось бы поделиться в этой краткой заметке. Еще в последних классах училища В. А. "вздумал писать стихи (одна маленькая харьковская газета печатала их иногда в воскресных номерах..." Об этом в училище, да и дома никто не знал... (В. А. Водяницкий, «Записки натуралиста», 1975, с. 15). Он перевёл в стихах с немецкого «Перчатку» Г. Шиллера, но

потом "прекратил "покушения" на поэтическое творчество", считая, что «содержание моих стихов неоригинально, хотя технически и литературно удовлетворительно, но не более того» (В. А. Водяницкий, 1975, с. 16). Тем не менее, в архиве, переданном в ИнБЮМ супругой В. А., известным бентологом, д.б.н. Мартой Ивановной Киселёвой, удалось обнаружить одно небольшое стихотворение учёного. Оно адресовано участникам 2-го Всесоюзного съезда гидробиологов, прошедшего в г. Кишиневе в апреле 1971 г., на котором В. А. уже не мог присутствовать по состоянию здоровья. Эти строки – послание коллегам, полное надежд на

развитие гидробиологической науки, которой В. А. посвятил всю свою жизнь.

Надеемся, что учёные и специалисты ИМБИ РАН, научных учреждений России и других стран поделятся своими воспоминаниями на страницах «Морского биологического журнала» о том, как зарождалась наука на СБС, о выдающихся открытиях, формировании научных школ и сохранении традиций, заложенных В. А. Водяницким. О малоизвестных страницах его жизни и других знаменитых учёных, мы будем продолжать знакомить читателей МБЖ.

КИШИНЕВ, ЛЕНИНА 1, АКАДЕМИЯ НАУК,
ПРЕЗИДИУМУ СЪЕЗДА ВСЕСОЮЗНОГО
ГИДРОБИОЛОГИЧЕСКОГО ОБЩЕСТВА

На этом празднике науки
Как мне хотелось побывать,
Чтоб встретить дружеские руки
И юных сил увидеть рать.

Узнать как ширится познание
Законов жизни в толще вод,
Как углубит их понимание
Математический подход.

Мы продуктивность водоемов
Соединим с их чистотой
В пылу технических приемов
Не поступимся красотой.

За возрождение сил лечебных
Вам благодарен будет свет
И севастопольский отшельник
Вам шлет горячий свой привет.

Водяницкий

КИШИНЕВ, ЛЕНИНА 1, АКАДЕМИЯ НАУК, ПРЕЗИДИУМУ СЪЕЗДА ВСЕСОЮЗНОГО
ГИДРОБИОЛОГИЧЕСКОГО ОБЩЕСТВА

На этом празднике науки
Как мне хотелось побывать,
Чтоб встретить дружеские руки
И юных сил увидеть рать.

Узнать как ширится познание
Законов жизни в толще вод,
Как углубит их понимание
Математический подход.

Мы продуктивность водоемов
Соединим с их чистотой
В пылу технических приемов
Не поступимся красотой.

За возрождение сил лечебных
Вам благодарен будет свет
И севастопольский отшельник
Вам шлет горячий свой привет.

Водяницкий

Севастополь, Нахимова 3 кв. 11, В. А. Водяницкий

(фотокопия машинописного оригинала послания
В. А. Водяницкого участникам съезда ВГБО)

Севастополь, Нахимова 3 кв. 11, В. А. Водяницкий

1. Водяницкий В. А. Записки натуралиста. Москва: Наука, 1975. 193 с. [Vodyanitskii V.A. Zapiski naturalista. Moscow: Nauka, 1975. 193 p. (in Russ.)].



УДК 595.384

С. Е. Аносов¹, м. н. с., С. М. Игнатьев², канд. биол. наук, с. н. с.

¹ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии», Москва, РФ

²ФГБУН «Институт морских биологических исследований имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, РФ

ИСТОРИЯ ИЗУЧЕНИЯ ФАУНЫ ДЕСЯТИНОГИХ РАКОВ (DECAPODA) ПОНТА В ДАТАХ И ЦИФРАХ

На основании анализа литературных первоисточников описывается история изучения десятиногих ракообразных Понтийского бассейна за последние два века. Показано, как со временем менялись взгляды исследователей на состав и происхождение фауны Чёрного моря. Оценивается вклад видов-вселенцев в биоразнообразие декапод региона. Приводятся результаты современной ревизии видового состава этих ракообразных.

Ключевые слова: десятиногие ракообразные, Decapoda, фауна, история изучения, Чёрное море, Азовское море

За время изучения фауны Чёрного моря накоплен огромный материал по видовому составу десятиногих ракообразных и их распространению. Однако со временем менялись представления о систематике декапод, названия разных видов, методы изучения и само распространение некоторых видов. В результате неоднократно возникала номенклатурная путаница, которая не позволяла точно и правильно оценить видовой состав этих беспозвоночных. К тому же, в течение 20-го века произошли существенные изменения в количественных и качественных характеристиках Decapoda фауны акваторий, связанные со значительным антропогенным воздействием.

Целью настоящей работы является описание истории изучения биоразнообразия десятиногих раков в водосборных бассейнах Чёрного и Азовского морей за прошедшие два века.

Весь период изучения видового состава беспозвоночных в Чёрном и Азовском морях можно условно разделить на этапы. Первоначальный этап описания фауны десятиногих ракообразных происходил на базе видов, известных на то время в Европе. Неопознанные или ошибочно определённые виды часто описывались как новые. Такое положение вещей

создало значительную путаницу, что впоследствии обусловило необходимость проведения разного рода ревизий. Последующие этапы состояли из осмысления и пересмотра данных первоначальных сборов, переопределения и повторного соотнесения видов, описанных в регионе, с видами, уже известными из других морей.

Заметим, что исследователи и раньше подразделяли историю изучения фауны Азово-Черноморского бассейна на определённые периоды. Так, К. А. Виноградов [4] выделял два этапа и рассматривал их как фаунистический и экологический. Первый период – фаунистический – был отчасти завершён после своеобразного подведения итогов исследований до начала 20-го века в сводке В. К. Совинского (рис. 1) в 1902 г. [19]. Второй этап (экологический) начался после выхода в свет книги С. А. Зернова в 1913 г. [6] и предопределил все последующие исследования десятиногих ракообразных.

Первые сведения о фауне Чёрного моря относятся к концу 18-го века. В 1784 г. после

присоединения Крыма к Российской империи по приказанию Светлейшего князя Г. А. Потемкина Карл Иванович Габлиц совершил путешествие в Крым для описания полуострова. В своей работе «Физическое описание Таврической области по ея местоположению и по всем трем царствам природы» он сообщил о нахождении в Чёрном море рака-отшельника, одного вида «Caridae» (креветка) и одного «краба» (*Eriphia spinifrons*) [20].

Петр Симон Паллас в работе «Краткое физическое и топографическое описание Таврической области», опубликованной в 1795 г., указал на нахождение у крымских берегов различных видов крабов и морских раков [20]. Однако пальма первенства в изучении собственно десятиногих раков принадлежит Мартину Генриху Ратке (Martin Heinrich Rathke). В 1833 г., изучая морскую фауну в окрестностях Николаева и в Крыму (в районах Севастополя, Алушки, Феодосии, Партенита и Керчи), он пришел к выводу о крайней бедности Чёрного моря беспозвоночными животными. В своей работе «Zur Fauna der Krym: ein Beitrag» М. Г. Ратке отметил для Чёрного моря 15 видов Decapoda, шесть из них он описал как новые [38]. Мнение о видовой бедности черноморской фауны поддержали и другие исследователи того времени, что на некоторое время снизило интерес к изучению региона.

В 1858 г. черноморские берега от Днепровского лимана до Крыма исследовал К. Ф. Кесслер, который изложил результаты своих изысканий в книге «Путешествие съ зоологическою целью, къ северному берегу Чернаго моря и въ Крымъ въ 1858 году». В ней указано 13 видов Decapoda [8], что добавило ещё один вид к списку Ратке. Позже он сделал важные выводы о смешанном средиземноморском и понтотаспийском происхождении фауны Чёрного моря, что вызвало новую волну интереса к его изучению.

В 1863 г. увидела свет монография К. Геллера (Heller) «Crustaceen des sudlichen Europa; Crustacea podopthalmia», в которой для региона указано 15 видов Decapoda [32]. Одна-

ко автор не учёл ещё два вида, найденных к тому времени. Проф. А. Мильн-Эдвардс (Milne-Edwards), получивший коллекцию крабов из Одессы, нашел в ней и описал новый вид *Gelasimus coarctatus* [22]. Проф. К. Ф. Кесслер также обнаружил новый для Чёрного моря вид, который был определён как *Pilumnus spinulosus* [8].

В 1867 г. вышла заметка ординарного профессора Новороссийского Университета в Одессе Ивана Андреевича Маркузена о нахождении в Одесском заливе не отмеченного ранее краба *Planes minutus*. Годом спустя был опубликован его капитальный труд «Записки о фауне Чёрного моря», в котором для этого моря указано 15 видов десятиногих раков. Из них четыре вида описаны как «... въ первый разъ найденныя въ Чёрном море» [13].

В 1872 г. Василий Николаевич Ульянин изложил результаты своей поездки на Чёрное море в работе «Материалы для фауны Чёрного моря», в которой перечислены уже 22 вида Decapoda [20].

В 1874 г. К. Ф. Кесслер, продолжая работы по изучению фауны водосборного бассейна Чёрного моря, описал новый вид рака из Аджарии и Западной Грузии – *Astacus colchicus* [34].

В 1880 г. хранитель Зоологического музея Императорской академии наук в Санкт-Петербурге А. Ф. Брандт описал новый вид краба из Севастопольской бухты – *Macropodia czernjawsckii* [28], а проф. В. К. Совинский (1882) – новый вид креветки *Processa pontica* [18].

Видимо, длительно бытовавшее мнение о значительной бедности фауны Чёрного моря по сравнению с другими морями, после выяснения уникальности черноморской фауны, связанной с её двойственным происхождением, породило и другую крайность, – мнение о большом количестве видов, имеющих местное происхождение. Эта точка зрения обоснована в монографии Владимира Ивановича Чернявского «Прибрежныя десятиногія ракообразныя Понта», где для Чёрного моря отмечено в общей сложности 48 видов Decapoda, из которых

10 видов описывались как новые, и 37 – как новые варианты [22]. Только в 2011 г. была опубликована работа, в которой были пересмотрены виды, описанные В.И. Чернявским из Чёрного моря, и проведено соотнесение их с современными названиями, а также выявлено, насколько сохранился исходный материал в ЗИН РАН [40].

В 1902 г. В. К. Совинский подвёл итоги изучения фауны региона. В своей книге «Введение въ изучение фауны Понто-Каспійско-Аралскаго Морского бассейна, разсматриваемой съ точки зренія самостоятельной зоогеографической провинціи» [19] он перечисляет 48 видов десятиногих раков, а также высказывает сомнения по поводу нахождения в фауне Чёрного моря двух видов – *Gelasimus coarctatus* и *Planes minutus*, ранее отмеченных в списках В. И. Чернявского.

Однако на этом изучение фауны не прекратилось. В 1905 г. выходит труд М. Ф. Калишевского «Матерьялы для карцинологической фауны Одесскаго залива», в котором подробно рассматривается видовой состав Decapoda Одесского залива [7]. Этот же автор после ревизии сборов С. А. Зернова в Севастопольской бухте описывает новые для Чёрного моря род и вид – *Pirimela denticulata*. Поскольку черноморский крабик морфологически отличался от средиземноморских особей, М. Ф. Калишевский описал его как новый вариант – *Pirimela denticulata* var. *Zernovi* [33].

После выхода в 1913 г. работы Сергея Алексеевича Зернова "Къ вопросу объ изученіи жизни Чернаго моря" начался следующий, экологический, этап изучения фауны данного водоёма [6]. Помимо этого, в изучение Decapoda Чёрного моря большой вклад внесли материалы, привезённые С. А. Зерновым из экспедиций в разные районы моря, которые в настоящее время хранятся в музее Зоологического Института РАН в СПб. В частности, они помогли подтвердить присутствие в Чёрном море одного сомнительного вида – *Liocarcinus* (*Macropipus*) *depurator* [40].

Общая политическая нестабильность в причерноморских государствах в 10 – 20-е годы 20-го столетия на некоторое время остановила фаунистические исследования декапод. Однако в 30 – 40-х годах они продолжились описанием эндемичных видов кавказских пещерных креветок, которые первоначально рассматривались авторами как подвиды известной на то время балканской пещерной креветки *Troglocaris shmidtii*.

В 1930 г. А. А. Садовский обнаружил новый вид креветки из пещерных водоёмов Грузии – *Troglocaris shmidtii kutaissiana* [17]. Я. А. Бирштейн (1939) и С. М. Юзбашьян (1940) описали новые виды креветок *Troglocaris shmidtii ablaskiri*, *Troglocaris shmidtii fagei* [1] и *Troglocaris shmidtii osterloffii* [23] из пещерных водоёмов Абхазии. В 1948 г. Я. А. Бирштейн описал ещё один вид пещерной креветки (*Troglocaris shmidtii jusbaschjani*) из бассейна реки Мацеста в районе Сочи [2].

К этому же периоду относятся и первые находки в регионе чужеродных видов Decapoda. В 1938 г. в Днепровско-Бугском лимане встретился первый вид-вселенец – *Rhithropanopeus harissii tridentata* (голландский краб, его родина – атлантическое побережье Северной Америки) [10], который в настоящее время стал массовым видом в Азовском море и во многих опреснённых участках северо-западной части Чёрного моря.

В 1957 г. был опубликован список гидробионтов, обнаруженных в разное время у берегов Болгарии А. Вълканова («Каталог на нашата Черноморска фауна»), в котором для Чёрного моря указано 33 вида декапод [5].

В 1960 г. Ф. Д. Мордухай-Болтовской впервые опубликовал полный список фауны свободноживущих беспозвоночных Азовского моря. Среди них отмечено 9 видов Decapoda [14].

В 1967 г. в Варненском заливе на глубине 5 – 6 м впервые был обнаружен чужеродный вид *Callinectes sapidus* (голубой краб). Его

родина – атлантическое побережье Северной Америки. В настоящее время вид широко распространён в Средиземном море, где даже приобрёл промысловое значение, и всё чаще встречается в разных районах Чёрного и Азовского морей [16].

Ко второй половине 20-го века накопился огромный материал, который вылился в очередную ревизию видового состава Decapoda Чёрного и Азовского морей. В 1967 г. вышла книга румынского зоолога Михая Бэческу (Mihai Băcescu) «Fauna Republicii Socialiste România», в которой он отметил для фауны Чёрного моря 39 видов десятиногих ракообразных [26]. В 1969 г., через два года после выхода книги Бэческу, вышел трёхтомник «Определитель фауны Чёрного и Азовского морей». Во второй том включена работа З. И. Кобяковой и М. А. Долгопольской, с полной информацией обо всех известных на то время взрослых формах понтийских Decapoda (37 видов), а также впервые даны таблицы для определения их личинок (за исключением крабов) [9].

В 1982 г. в журнале “Crustaceana” опубликована статья турецкого исследователя А. Косатаş о находке у анатолийского побережья Турции нескольких крабиков, которые были определены как *Sirpus zariquieyi* [35]. Однако черноморские экземпляры морфологически отличались от особей того же вида из Эгейского моря. Для уточнения видовой принадлежности один экземпляр краба из Чёрного моря автор статьи отправил доктору Хольтхойсу, который подтвердил, что черноморский экземпляр отличается от *S. zariquieyi* из Средиземного моря. В 1989 г. А. Л. Верещака описал новый для науки вид краба от кавказского побережья Чёрного моря – *Sirpus ponticus* [3]. Вероятно, крабики именно этого вида при раннем нахождении определялись и как *Pirimella denticulata* var. *Zernovi* [33] и как *Sirpus zariquieyi* [35].

К концу XX столетия возникла необходимость очередного обобщения данных по фауне Decapoda Чёрного и Азовского морей. В 1998 г. в университете «Овидиус» (Констанца,

Румыния) был опубликован предварительный список видового разнообразия Чёрного моря: “Black Sea ecological diversity – Workbook, Preliminary checklist of species”, в котором отмечено 49 видов Decapoda [27].

Мысль о возможности скорого появления китайского мохнаторукого краба *Eriocheir sinensis* в Азово-Черноморском бассейне была высказана в 1967 г. [26]. Начиная с 1998 г., единичные экземпляры этого вида время от времени встречаются в лиманах Чёрного и Азовского морей [15].

В 2000 г. в журнале “Crustaceana” вышла работа, которая восполнила отсутствующие определительные таблицы для личинок черноморских крабов [24]. Основой для этой работы послужило описание личинок крабов, сделанных Ю.Н. Макаровым в 1976 г. [11], и наши планктонные пробы, собранные в районе Севастополя.

В 2004 г. была опубликована книга Юрия Николаевича Макарова – «Фауна Украины. Т.26. Десятиногие ракообразные». В ней он отметил для Чёрного моря 37 видов Decapoda, за исключением раков из рода *Astacus* [12].

В начале XXI века в Чёрном море увеличилось грузовое сообщение с другими районами земного шара, что, в свою очередь, привело к появлению новых чужеродных видов в его бассейне. Можно сказать, что процесс медитерранизации Чёрного моря, начавшийся с последнего открытия Босфора около 10 тыс. лет назад, в XX веке перешёл в процесс глобализации, и в начале XXI века значительно ускорился. Если с 1938 по 1998 гг. (за 60 лет) было найдено только 3 вида-вселенца [10, 15, 16], то с 2005 по 2009 гг. (за 4 года) в разных районах Чёрного моря обнаружены ещё 5 чужеродных видов Decapoda:

В июле 2005 г. в районе Синопского полуострова отловлен новый для Чёрного моря вид креветки – *Palaemon longirostris* [37]. Этот вид широко распространён во всех морях Европы. Несмотря на то, что вид с таким назва-

нием для черноморской фауны был указан В. И. Чернявским ещё в 1884 г., на самом деле в Чёрном море он раньше никем не отмечался.

В октябре 2005 г. в районе поселка Лазаревское (кавказское побережье, Большой Сочи) в улове ставного невода были обнаружены 8 особей зеленой тигровой креветки *Penaeus semisulcatus* [21]. Этот вид, широко распространенный в Индийском океане, когда-то через Суэцкий канал проник в Средиземное море (Лессепсовский мигрант), где довольно быстро стал массовым видом.

В августе 2008 г. на побережье рядом с бухтой Констанцы (Румыния) найден новый для Чёрного моря вид – японский прибрежный краб *Hemigrapsus sanguineus* [30], широко распространённый на побережье юго-восточной Азии, в Корее и Японии.

В сентябре 2009 г. на побережье Румынии в районе Констанцы отмечен новый для Чёрного моря вид – азиатская креветка *Palaeomon macrrodactylus* [29]. Родина этой креветки – побережье Японии и Кореи. К моменту её обнаружения креветка успела образовать популяцию на довольно большой акватории у берегов Румынии и Болгарии [39].

В сентябре 2009 г. в бухте Констанцы (Румыния) найден новый для Чёрного моря вид краба *Dyspanopeus sayi* [31]. Его родина – атлантическое побережье Северной Америки от Новой Шотландии (Nova Scotia) до Флорида Кис (Florida Keys). В настоящее время этот вид активно распространяется по всем водоёмам земного шара.

И наконец, в 2003 г. впервые опубликован список декапод турецкого побережья Чёрного моря. В нем отмечено 23 вида [36].

Столь богатая, а местами и сложная, история изучения не могла пройти гладко. В результате выполненных ревизий видового состава наличие отдельных видов, отмеченных

в Чёрном море некоторыми исследователями, поставлено под сомнение другими исследователями. Таким образом, в списке видового состава десятиногих ракообразных Чёрного моря можно выделить категорию «сомнительных и спорных видов». По итогам своеобразной ревизии, произошедшей в конце 20-го [27] и начале 21-го веков [12], в нее попало 8 видов, по поводу которых исследователи не сошлись во мнениях, или тех видов, которые были упомянуты по ошибке.

В 2012 г. на международной конференции CSSM 2012 сделан доклад по ревизии современного видового состава Decapoda в Азово-Черноморском бассейне [25]. После исключения синонимов и определения современного статуса для сомнительных видов установлено, что в настоящее время фауна Азовского и Чёрного морей, включая их водосборные бассейны, состоит из 52 видов Decapoda, из числа которых 9 видов встречаются только в пресноводных водоёмах, 28 видов являются только морскими и 15 видов встречаются в воде с разной солёностью, т.е. являются эвригалинными.

За время изучения фауны Чёрного и Азовского морей в литературе было упомянуто в общей сложности 172 названия Decapoda, найденных в этих морях и их водосборных бассейнах. Из них 108 названий являются синонимами 52 видов, нахождение которых в Чёрном море точно установлено в результате последней ревизии [25]. И, наконец, 12 названий в настоящее время практически невозможно идентифицировать с какими-либо современными обитателями Чёрного моря и их, вероятно, следует считать ошибочными.

В общей сложности из Чёрного моря и его водосборного бассейна были описаны 27 видов, как новые для науки, и 12 из них действительно таковыми и являются.

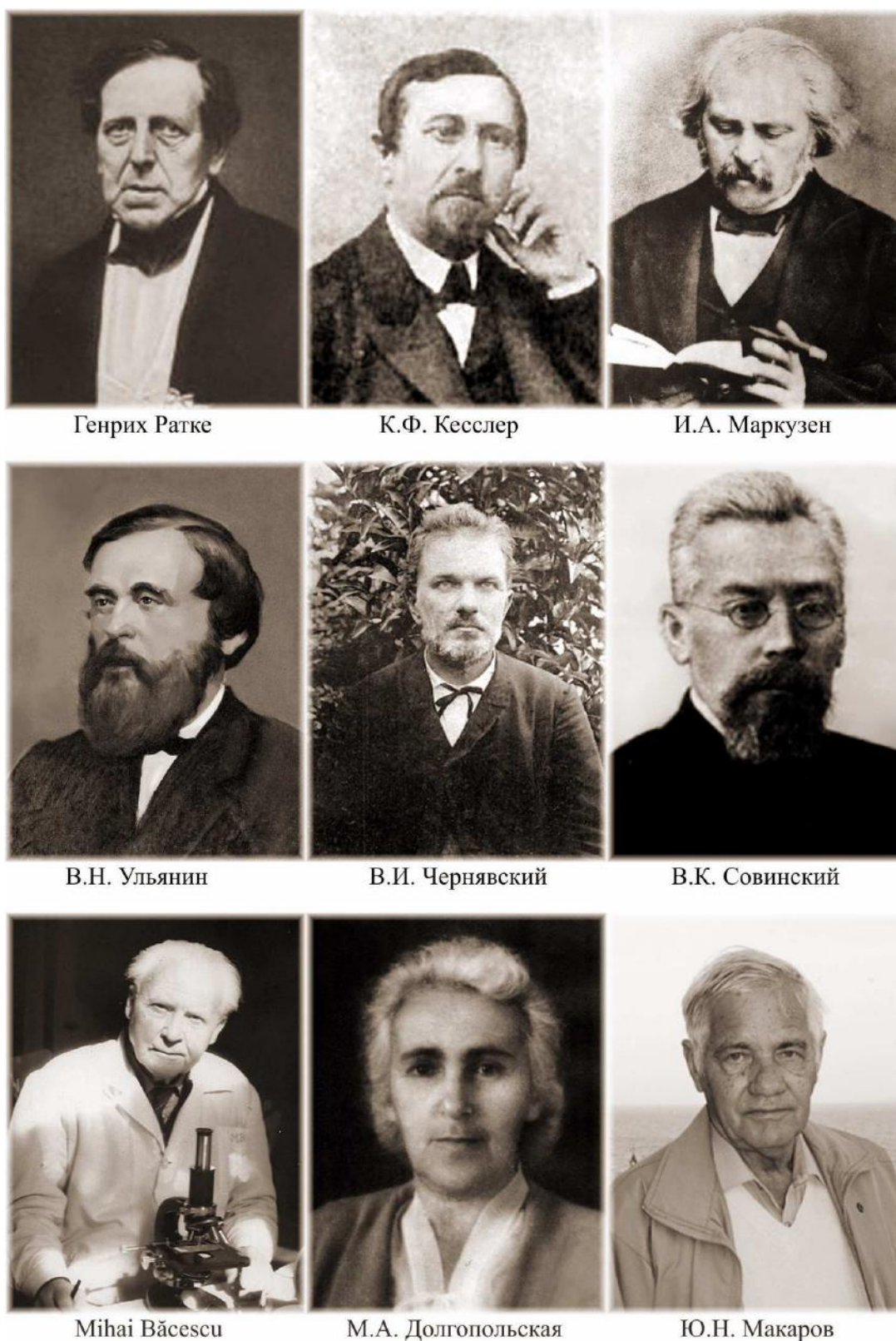


Рис. 1 Исследователи фауны Decapoda Черного и Азовского морей
Fig. 1 Researchers of Decapoda fauna from the Black Sea and the Sea of Azov

1. Бирштейн Я.А. О пещерных креветках Абхазии // *Зоологический журнал*. 1939. Т. 18, вып. 6. С. 960–974. [Birstein J.A. On the cave shrimps of Abkhazia. *Zoologicheskii zhurnal*, 1939, vol. 18, iss. 5, pp. 960–974.]
2. Бирштейн Я.А. Нахождение пещерной креветки Troglacaris в грунтовых водах Мацесты и связанные с этим вопросы // *Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел биологический*. 1948. Т. 53, вып. 3. С. 3–10. [Birstein J.A. Nakhozhdenie peshchernoï krevetki Troglacaris v gruntovykh vodakh Matsesty i svyazannye s etim voprosy. *Byulleten' Moskovskogo obshchestva ispytatelei prirody. Otdel biologicheskii*, 1948, vol. 53, iss. 3, pp. 3–10.]
3. Верещака А.Л. Новый вид краба – *Sirpus ponticus* (Crustacea, Pirimelidae) в Черном море // *Зоологический журнал*. 1989. Т. 68, вып. 8. С. 41–47. [Verestchaka A.L. A new crab species *Sirpus ponticus* (Crustacea, Pirimelidae) from the Black Sea. *Zoologicheskii zhurnal*, 1989, vol. 68, iss. 8, pp. 41–47.]
4. Виноградов К.А. *Очерки по истории отечественных гидробиологических исследований на Черном море*. Киев : Изд-во. Акад. наук УССР, 1958. 155 с. [Vinogradov K.A. *Ocherki po istorii otechestvennykh gidrobiologicheskikh issledovaniï na Chernom more*. Kiev: Izd-vo. Akad. nauk USSR, 1958, 155 p.]
5. Вълканов А. Каталог на нашата Черноморска фауна // *Трудове на морска биологична станция в Варна*. 1957. Т. 19. С. 3–56. [V"lkanov A. Katalog na nashata Chernomorska fauna. *Trudove na morskā biologichna stantsiya v Varna*, 1957, vol. 19, pp. 3–56. (in Bulgarian)]
6. Зернов С.А. Къ вопросу объ изученіи жизни Чернаго моря // *Записки императорской академии наукъ*. Санкт-Петербург, 1913. Т. 31. С. 234–241. [Zernov S.A. K" voprosu ob" izuchenii zhizni Chernago morya. In: *Zapiski imperatorskoi akademii nauk*. Sankt-Peterburg, 1913, vol. 31, pp. 234–241.]
7. Калишевский М.Ф. Материалы для карцинологической фауны Одесского залива // *Записки Новороссийского общества естествоиспытателей*. 1906. Т. 29. С. 1–32. [Kalishevskii M.F. Materialy dlya kartsinologicheskoi fauny Odesskogo zaliva. *Zapiski Novorossiiskogo obshchestva estestvoispytatelei*, 1906, vol. 29, pp. 1–32.]
8. Кесслер К.Ф. *Путешествіе съ зоологическою целью, къ северному берегу Чернаго моря и въ Крымъ въ 1858 году*. Киевъ : Въ университетской типографіи, 1860, 246 с. [Kessler K.F. *Puteshestvie s" zoologicheskoyu tsel'yu, k" severnomu beregu Chernago morya i v" Krym" v" 1858 godu*. Kiev": V" universitetskoi tipografii, 1860, 246 p.]
9. Кобякова З.И., Долгопольская М.А. Отряд десятиногие Decapoda // *Определитель фауны Черного и Азовского морей*. Киев : Наукова думка, 1969. Т. 2. С. 270–362. [Kobyakova Z.I., Dolgopol'skaya M.A. Otryad desyatinogie Decapoda. In: *Opredelitel' fauny Chernogo i Azovskogo morei*. Kiev: Naukova dumka, 1969, vol. 2, pp. 270–362.]
10. Макаров А.К. О некоторых новых элементах в составе фауны черноморских лиманов в связи с судоходством // *Доклады Академии наук СССР*. 1939. Т. 23, № 8. С. 819–822. [Makarov A.K. O nekotorykh novykh elementakh v sostave fauny chernomorskikh limanov v svyazi s sudokhodstvom. *Doklady Akademii nauk SSSR*, 1939, vol. 23, no. 8, pp. 819–822.]
11. Макаров Ю.Н. Систематическая характеристика и распределение личинок Brachyura (Decapoda) в нейстоне Черного моря // *Зоологический журнал*. 1976. Т. 55, вып. 3. С. 363–370. [Makarov Yu.N. Systematic characteristics and distribution of larvae of Brachyura (Decapoda) in the Black Sea neiston. *Zoologicheskii zhurnal*, 1976, vol. 55, iss. 3, pp. 363–370. (in Russ.)]
12. Макаров Ю.Н. *Фауна Украины. Десятиногие ракообразные*. Киев : Наукова думка, 2004. Т. 26. 427 с. [Makarov Yu.N. *Fauna Ukrainy. Desyatinogie rakoobraznye*. Kiev: Naukova dumka, 2004, vol. 26, 427 p.]
13. Маркузен И.А. Заметки о фауне Чернаго моря // *Труды перваго сѣзда русскихъ естествоиспытателей происходившаго съ 28-го декабря 1867 по 4 января 1868 г.* Санкт-Петербург, 1868. С. 176–179. [Markuzen I.A. Zametki o faune Chernago morya. In: *Trudy pervago s"ezda russkikh" estestvoispytatelei proiskhodivshago s" 28-go dekabrya 1867 po 4 yanvary 1868*. Sankt-Peterburg, 1868, pp. 176–179.]
14. Мордухай-Болтовской Ф.Д. Каталог фауны свободноживущих беспозвоночных Азовского моря // *Зоологический журнал*. 1960. Т. 39, вып. 10. С. 1454–1466. [Mordukhai-Boltovskoi F.D. Katalog fauny svobodnozhivushchikh bespozvonochnykh Azovskogo morya. *Zoologicheskii zhurnal*, 1960, vol. 39, iss. 10, pp. 1454–1466.]
15. Мурина В.В., Антоновский А.Г. Китайский краб *Eriocheir sinensis* - экзотический вселенец в бассейне Азовского моря // *Экология моря*. 2001. Вып. 55. С. 37–39. [Murina V.V., Antonovsky A.G. Chinese crab *Eriocheir sinensis* is an invader into the basic of the Sea of Azov. *Ecologiya morya*, 2001, iss. 55, pp. 37–39. (in Russ.)]

16. Пашков А.Н., Решетников С.И., Бондарев К.Б. Поимка голубого краба (*Callinectes sapidus*, Decapoda, Crustacea) в Российском секторе Черного моря // *Российский журнал биологических инвазий*. 2011. № 4. С. 33–42. [Pashkov A.N., Reshetnikov S.I., Bondarev K.B. The capture of blue crab (*Callinectes sapidus*, Decapoda, Crustacea) in the Russian sector of the Black Sea. *Russian Journal of Biological Invasions*, 2011, no. 4, pp. 33–42. (in Russ.)]
17. Садовский А.А. *Xiphocaridinella kutaissiana* nov. gen. et sp. (Fam. Atyidae) из подземной пещеры под Кутаисом // *Закавказский краеведческий сборник научно исследовательского краеведческого кабинета университета в Тифлисе*. 1930. Т. 1. С. 93–104. [Sadovskii A.A. *Xiphocaridinella kutaissiana* nov. gen. et sp. (Fam. Atyidae) iz podzemnoi peshchery pod Kutaisom. In: *Zakavkazskii kraevedcheskii sbornik nauchno issledovatel'skogo kraevedcheskogo kabineta universiteta v Tiflise*, 1930, vol. 1, pp. 93–104.]
18. Совинский В.К. К фауне ракообразных Черного моря. О некоторых представителях из сем. Caridae // *Записки Киевского общества естествоиспытателей*. 1893. Т. 6, вып. 2. С. 220–254. [Sovinskii V.K. K faune rakoobraznykh Chernogo morya. O nekotorykh predstavitelyakh iz sem. Caridae. *Zapiski Kievskogo obshchestva estestvoispytatelei*, 1893, vol. 6, iss. 2, pp. 220–254.]
19. Совинский В.К. Введение в изучение фауны Понто-Каспийско-Аральского морского бассейна, рассматриваемой с точки зрения самостоятельной зоо-географической провинции // *Записки Киевского общества естествоиспытателей*. 1904. Т. 18. С. I–XIII, 1–487. [Sovinskii V.K. Vvedenie v izuchenie fauny Ponto-Kaspiisko-Aral'skogo morskogo basseina, rassmatrivaemoi s tochki zreniya samostoyatel'noi zoo-geograficheskoi provintsii. *Zapiski Kievskogo obshchestva estestvoispytatelei*, 1904, vol. 18, pp. I–XIII, 1–487.]
20. Ульянин В.Н. Материалы для фауны Черного моря. Отчет о поездках к берегам Черного моря, совершенных по поручению Императорского Общества Любителей Естествознания, Антропологии и Этнографии в летние месяцы 1868 и 1869 годов // *Известия Императорского общества любителей естествознания, антропологии и этнографии при Московском университете*. 1872. Т. 9. С. 5–113. [Ul'yanin V.N. Materialy dlya fauny Chernago morya. Otchet "o poezdках" k" beregam Chernago morya, sovershennykh" po porucheniyu Imperatorskogo Obshchestva Lyubitelei Estestvoznaniya, Antropologii i Etnografii v" lētnie mēsyatsy 1868 i 1869 godov". *Izvestiya Imperatorskogo obshchestva lyubitelei estestvoznaniya, antropologii i etnografii pri Moskovskom universitete*, 1872, vol. 9, pp. 5–113.]
21. Хворов С.А., Болтачев А.Р., Решетников С.И., Пашков А.Н. Первая находка зеленой тигровой креветки *Penaeus semisulcatus* (Penaeidae, Decapoda) в Черном море // *Экология моря*. 2006. Вып. 72. С. 65–69. [Khvorov S.A., Boltachev A.R., Reshetnikov S.I., Pashkov A.N. First records of the green tiger prawn *Penaeus semisulcatus* (Penaeidae, Decapoda) in the Black Sea. *Ekologiya morya*, 2006, iss. 72, pp. 65–69. (in Russ.)]
22. Чернявский В.И. *Прибрежные десятиногие ракообразные Понта*. Харьков : В Унив. Университетской типографии, 1884. С. 3–268. [Chernyavskii V.I. *Pribrezhnyya desyatinogiya rakoobraznyya Ponta*. Khar'kov: V" Universitetskoi tipografii, 1884, pp. 3–268.]
23. Юзбашьян С.М. О шакуранской пещерной креветке // *Труды биологической станции Наркомпроса Грузинской ССР*. 1940. Т. 1. С. 73–86. [Yuzbash'yan S.M. O shakuranskoj peshchernoj krevetke. *Trudy biologicheskoi stantsii Narkomprosa Gruzinskoi SSR*, 1940, vol. 1, pp. 73–86.]
24. Anosov S.E. Keys to the identification of brachyuran larvae of the Black Sea. *Crustaceana*, 2000, vol. 73, no. 10, pp. 1239–1246.
25. Anosov S.E., Spiridonov V.A., Marin I.N. A revised check-list of the Black Sea Decapoda In: *Abstracts of contributions presented at the TCSSM 2012 and the 10th CCDM* (June 3–7, 2012). Athens, Greece, 2012, pp. 124.
26. Băcescu M. *Decapoda. Fauna Republicii Socialiste Romania (Crustacea)*. Bucuresty: Editura Academiei Republicii Socialiste România, 1967, vol. 4, fasc. 5, 351 p.
27. *Black Sea ecological diversity: Workbook, Preliminary checklist of species*. In: *Ovidius University Annals of Biology-Ecology Series*. Constanta, 1998, vol. 2, no. 2, suppl., pp. 129–130.
28. Brandt A. Über mediterrane Crustaceen. *Bulletin de l'Academie Imperial des Sciences de Saint-Petersbourg*, 1880, vol. 25, pp. 395–420.
29. Dragoș M., Niță V. First record of the Asian prawn *Palaemon macrodactylus* Rathbun, 1902 (Caridea: Palaemonoidea: Palaemonidae) from the Black Sea. *Aquatic Invasions*, 2009, vol. 4, iss 4, pp. 597–604.
30. Dragoș M., Niță V., Todorova V. First record of the Japanese shore crab *Hemigrapsus sanguineus* (de Haan, 1835) (Brachyura: Grapsoidea: Varunidae) from the Black Sea. *Aquatic Invasions*, 2010, vol. 5, suppl. 1, pp. 1–4.
31. Dragoș M., Niță V., Todorova V. First record of Say's mud crab *Dyspanopeus sayi* (Brachyura:

- Xanthoidea: Panopeidae) from the Black Sea. *Marine Biodiversity Records*, 2010., vol. 3, e36. Accessible at: <http://www.specii-invazive.ro/system/files/micu-et-al-2010-say-mud-crab.pdf> [accessed 2015.12.24]
32. Heller C. *Die Crustaceen des sudlichen Europa. Crustacea Podophthalmia. Mit einer Übersicht über die horizontale Verbreitung sämtlicher europaischer Arten.* Wien: Wilhelm Braumuller, 1863, 336 p.
33. Kalischewsky M. Une interessante trouvaille carcinogique dans la mer Noire. *Zapiski Novorossiiskogo obshchestva estestvoispytatelei*, 1907, vol. 30, pp. 131–134. (in French).
34. Kessler K. Ein neuer russischer flusskrebs *Astacus colchicus*. *Bulletin de la Societe Imperiale des naturalistes de Moscou*, 1876, vol 50, iss. 1, pp. 1–6.
35. Kocataş A. On the occurrence of *Sirpus zariquieyi* Gordon (Decapoda Brachyura) in the Black Sea and the Sea of Marmara. *Crustaceana*, 1982, vol. 43, no. 2, pp. 177–180.
36. Kocataş A., Katağan T. The Decapod Crustacean fauna of the Turkish Seas. *Zoology in the Middle East*, 2003, vol. 29, iss.1. pp. 63–74.
37. Sezgin M., Aydemir A., Ateş A. On the presence of the non-native estuarine shrimp, *Palaemon longirostris* H.Milne-Edwards, 1837 (Decapoda, Caridea), in the Black Sea. *Aquatic Invasions*, 2007, vol. 2, iss. 4, pp. 464 – 465.
38. Rathke M.H. *Zur Fauna der Krym. Ein Beitrag.* In: *Buchdruckerei der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften. Saint Petersburg*, 1837, 454 p.
39. Raykov V., Lepage M., Pérez-Domínguez R. First record of oriental shrimp, *Palaemon macrodactylus* Rathbun, 1902 in Varna Lake, Bulgaria. *Aquatic Invasions*, 2010, vol. 5, suppl. 1, pp. 91–95.
40. Spiridonov V.A., Petryashov V.V. Type specimens of the Crustacea Decapoda taxa described by Alexaner Brandt and Vladimir Czerniavsky from the Black Sea in the collection of the Zoological Institute of the Russian Academy of Science, St. Petersburg (with notes on type specimens of the decapod species described by Heinrich Rathke from Crimea). *Monografie del Museo Regionale di Scienze Naturali di Torino*, 2011, vol. 40, pp. 259–293.

Поступила 2 ноября 2015 г.

History of the studying of fauna of Ponticus decapods. S. E. Anosov, S. M. Ignatyev. The history of the decapods crustaceans study in Pontus region over the past two centuries is described by analysis based on the source literary. The description shows how researcher's attitudes at the composition and origin of the fauna of the Black Sea have changed over the time. The contribution of non-native species in biodiversity of decapods region is estimated. The results of the modern revision of the species composition of these crustaceans are made.

Key words: ten-legged Crustacea, Decapoda, fauna, studying history, Black Sea, Sea of Azov



**IX ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ МОЛОДЫХ УЧЁНЫХ
«ПОНТ ЭВКСИНСКИЙ-2015» ПО ПРОБЛЕМАМ ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ,
ПРИУРОЧЕННАЯ К 100-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ ВЛАДИМИРА НИКОЛАЕВИЧА ГРЕЗЕ**

В Институте морских биологических исследований имени А. О. Ковалевского РАН» (Севастополь) 17 – 20 ноября 2015 г. состоялась IX Всероссийская научно-практическая конференция молодых учёных «Понт Эвксинский-2015» по проблемам водных экосистем, приуроченная к 100-летию со дня рождения видного отечественного гидробиолога, доктора биологических наук, профессора, члена-корреспондента АН УССР Владимира Николаевича Грезе.

Конференция проводилась Советом молодых учёных ФГБУН ИМБИ при поддержке ФГБУН «Институт морских биологических исследований имени А.О. Ковалевского РАН», ФГБУ «Российский фонд фундаментальных исследований», ООО «НИО Марикультура», а также при участии ФГБУН Морской гидрофизический институт РАН и Севастопольского филиала МГУ им. М.В. Ломоносова.

В рамках работы конференции прозвучали пленарные доклады ведущих специалистов России в области водных экосистем. Работа конференции проходила в 7 секциях. Освещались проблемы, касающиеся исследований морских и пресноводных экосистем; рационального природопользования; биотехнологии; санитарной и технической гидро-

биологии; физиологии гидробионтов; радиохеми-экологии и экологической безопасности.

В конференции участвовало более 120 молодых учёных, в том числе более 40 иногородних из институтов Керчи, Феодосии, Ростова-на-Дону, Краснодар, Москвы, Санкт-Петербурга, Архангельска, Красноярска, Калининграда, Борка, Владивостока, Мурманска, Петрозаводска, Республики Адыгея, Абхазии, Молдовы и Украины.

По итогам проведения конференции принято решение:

- отметить актуальность исследований водных экосистем, их важное государственное значение;
- осветить итоги проведения конференции в СМИ;
- провести X Всероссийскую научно-практическую конференцию молодых учёных «Понт Эвксинский-2017» в г. Севастополе в сентябре 2017 г.

Родина Е. А., м. н. с.,
ФГБУН «Институт морских биологических исследований имени А. О. Ковалевского РАН»,
Севастополь, РФ



**НАУЧНЫЕ ЧТЕНИЯ «БИОРАЗНООБРАЗИЕ И ПРОДУКТИВНОСТЬ ЭКОСИСТЕМ»,
ПОСВЯЩЁННЫЕ 100-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ
ИЗВЕСТНОГО ГИДРОБИОЛОГА В. Н. ГРЕЗЕ**

В Институте морских биологических исследований имени А. О. Ковалевского РАН (ФГБУН ИМБИ), г. Севастополь, 16–18 декабря 2015 г. состоялись Научные чтения «Биоразнообразие и продуктивность водных экосистем», посвященные 100-летию со дня рождения известного гидробиолога, члена-корреспондента АН УССР Владимира Николаевича Грезе. Изучение пресноводных озёр и рек и морской пелагиали – два раздела экологии водоёмов и два этапа в научной биографии Владимира Николаевича. Полученные им данные по обоим направлениям используются и сейчас, его работы продолжают цитировать, высказанные идеи развиваются, исследования, начатые им на Енисее и северо-сибирских озёрах, продолжаются. В. Н. Грезе был организатором и заведующим отдела планктона, в который при становлении Института биологии южных морей им. А. О. Ковалевского АН УССР (ИнБЮМ) вошли лаборатории микробиологии, фитопланктона, зоопланктона и ихтиопланктона, существовавшие на Севастопольской биостанции. С 1968 по 1976 гг. Владимир Николаевич был директором ИнБЮМ. В отделе планктона в настоящее время продолжают трудиться ученики и сотрудники Владимира Николаевича. В первую очередь, их усилиями и стараниями Елены Владимировны Грезе, дочери В. Н., были организованы и успешно проведены Чтения. Организаторами чтений выступили ФГБУН ИМБИ и Крымское отделение Гидробиологического общества (ГБО) при РАН. К началу Чтений были подготовлены и изданы брошюра о В. Н. Грезе (автор Е. В. Грезе) и Биобиблиографический указатель научных работ В. Н. Грезе (подготовлен научной библиотекой ФГБУН ИМБИ). В указатель включены публикации 1942–1989 гг., из-

данные на русском, испанском и английском языках в Советском Союзе и за его пределами.

Многогранность вклада Владимира Николаевича в пресноводную и морскую гидробиологию привлекла к участию в чтениях учёных, изучающих континентальные и морские водоёмы в разных регионах России. В Севастополь приехали исследователи из Санкт-Петербурга, Иркутска, Калининграда, Красноярска, Барнаула, Новосибирска, Краснодара, Вологды, Симферополя и Феодосии. К сожалению, не все приславшие заявки исследователи смогли приехать. Всего был сделан 41 доклад (17 докладов участников из других городов, 24 – севастопольцев) и показано два научно-популярных фильма.

С краткими приветствиями выступили вр.и.о. директора ФГБУН ИМБИ С. Б. Гулин и Учёный секретарь ГБО при РАН Н. А. Березина. Первое заседание было посвящено жизни В. Н. Грезе и его вкладу в науку. Сопредседатель оргкомитета Чтений Ю. Н. Токарев (Севастополь), в своём докладе раскрыл вклад В. Н. Грезе в развитие представлений о биологической продуктивности водоёмов. Г. Е. Шульман (Севастополь) рассказал о славных традициях Харьковского университета, который заканчивал В. Н. О детстве, юности и становлении учёного, а также его участии в боях Великой Отечественной войны поведала дочь Владимира Николаевича Е. В. Грезе (Севастополь). Л. Д. Миrach (Красноярск) рассказала о сибирском периоде деятельности В. Н. (1939-1957 гг., прерванном войной). Особенно интересным был её рассказ о героической экспедиции на озеро Таймыр, когда караван из 125 упряжек оленей с двумя учёными и четырьмя рабочими, преодолев около

1500 км, достиг совсем неизученного тогда озера Таймыр. Здесь в тяжелейших условиях исследователи зимовали, проводя комплексные исследования озера. Рассказ иллюстрировался выдержками из дневников участников. Полученные ими тогда данные и сейчас востребованы исследователями этого уникального озера. Таймыр является самым северным в мире настоящим крупным озером - его крайняя северная точка находится к северу от 75° с. ш. Закончил эту сессию доклад Н. В. Шадрин (Севастополь) о вкладе В. Н. Грезе в изучение и понимание природных ритмов.

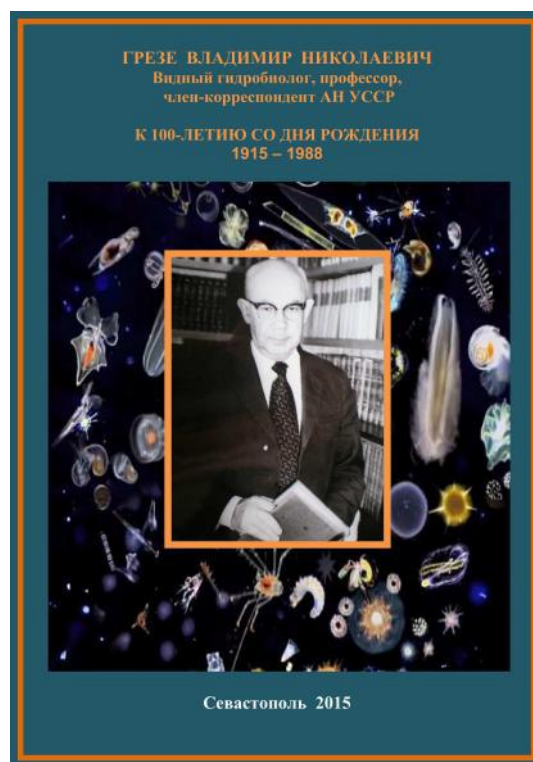
Вторая секция была посвящена экосистемам рек и озёр. Открыла её Н. Ю. Мирзоева с соавторами (Севастополь), рассказав о стронции-90 в экосистемах солёных озёр Крыма. Затем последовало много интересных докладов учёных из разных городов. Среди сделанных сообщений хочется особо отметить доклады В. В. Тахтеева с соавторами (Иркутск) о ночном миграционном комплексе в прибрежной зоне различных районов озера Байкал, Л. В. Яныгиной (Барнаул) об особенностях многолетней динамики зообентоса на зарегулированном участке р. Обь, Ю. С. Аликина с соавторами (Новосибирск) о возможности создания нового поколения кормов для аквакультуры на основе введения биологически активных веществ (БАВ) в цисты артемий. Впрочем, познавательными и информативными были все доклады. В завершение работы первого дня был показан фильм «В краях Саянских», представленный В. В. Тахтеевым.

Второй день был посвящён морским экосистемам, и в нем также стоит отметить заслуживающие внимания доклады: Н. А. Березиной (Санкт-Петербург) «Роль амфипод в сообществах Финского залива Балтийского моря», А. Р. Болтачева (Севастополь) «Разнообразие основных ихтиоценов морской прибрежной зоны Крымского полуострова на современном этапе», А. А. Максимова (Санкт-Петербург) «Биогеографические и экологические последствия инвазии арктических полихет *Marenzelleria arctica* в Финский залив Балтийского моря», С. В. Александрова (Калининград) «Влияние климатических изменений и вселения моллюска на первичную продукцию в лагунах Балтийского моря».

Доклады, посвященные морским экосистемам, продолжились и на третий день: И. Ю. Прусова (Севастополь) «Таксономическое разнообразие морских планктонных копепоид. Основные этапы и

перспективы исследований», К. И. Шоренко с соавторами (Карадаг) «Морфометрические характеристики клонов диатомовой водоросли *Nitzschia ventricosa* Kitton из удалённых акваторий, полученных в лабораторных условиях», Н. И. Копытина (Вологда) «Морская микобиота Крымского полуострова» и многие другие. Особенно хочется отметить доклад молодой исследовательницы Е. А. Галаговец (Севастополь) об опухолеподобных аномалиях планктонных копепоид в прибрежных водах Крыма, феномене практически неизвестном в Чёрном море. В этот день участники также смогли посмотреть научно-популярный фильм «Развитие медузы *Aurelia aurita* в Чёрном море» (авторы: А. В. Пиркова, Н. В. Караванцева, Л. В. Ладыгина, Е. В. Лисицкая).

Научные чтения удались, было принято решение о проведении подобных мероприятий каждые пять лет. В заключение считаем своим долгом поблагодарить всех, кто участвовал в подготовке и проведении чтений, а также всех, кто приехал, сделав чтения всероссийскими.



Н. В. Шадрин,

канд. биол. наук, с. н. с., сопредседатель оргкомитета,

Е. В. Ануфриева,

канд. биол. наук, м. н. с., ученый секретарь оргкомитета,

ФГБУН «Институт морских биологических

Исследований имени А. О. Ковалевского РАН»,

Севастополь, РФ