



**ТРУДЫ
КАРАДАГСКОЙ
НАУЧНОЙ СТАНЦИИ
им. Т.И. ВЯЗЕМСКОГО –
ПРИРОДНОГО
ЗАПОВЕДНИКА РАН**

Выпуск 4(16)

2020

УДК 06 (477.75)

Главный редактор: Р. В. Горбунов, канд. геогр. наук
Заместитель главного редактора: В. И. Мальцев, канд. биол. наук
Технические редакторы: Т. Ю. Горбунова, Л. В. Знаменская

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

П. Н. Баранов, д-р геол.-минерал. наук,
д-р геол. наук
М. М. Бескаравайный, канд. биол. наук
В. А. Боков, д-р геогр. наук
Ю. И. Будашкин, канд. биол. наук
Б. А. Вахрушев, д-р геогр. наук
Ю. В. Глибин
Н. А. Давидович, д-р биол. наук
А. В. Ена, д-р биол. наук
Е. И. Ергина, д-р геогр. наук
С. П. Иванов, д-р биол. наук
В. В. Майко, д-р ист. наук
В. А. Миноранский, д-р с.-х. наук
Е. Л. Неврова, д-р биол. наук

Э. Б. Петрова, д-р ист. наук
Ю. В. Плугатарь, чл.-корр. РАН, д-р с.-х. наук
Е. А. Позаченюк, д-р геогр. наук
М. А. Поляков, канд. биол. наук
В. В. Рожнов, академик РАН, д-р биол. наук
А. А. Родионов, канд. ист. наук
И. И. Руднева, д-р биол. наук
Ю. А. Силкин, канд. биол. наук
Т. Н. Смекалова, д-р ист. наук
А. А. Солдатов, д-р биол. наук
А. В. Фатерыга, канд. биол. наук
В. В. Фатерыга, канд. биол. наук
И. В. Флоринский, д-р техн. наук
А. Л. Чепалыга, д-р геогр. наук

Все материалы, подаваемые в «Труды Карадагской научной станции им. Т.И. Вяземского – природного заповедника РАН», проходят двойное независимое анонимное рецензирование

Учредитель

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Федеральный исследовательский центр
«Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН»
ОГРН 1159204018478

Издатели

Ассоциация по сохранению и восстановлению редких и исчезающих животных
«Живая природа степи»
347511, Ростовская область, Орловский район, пос. Орловский, ул. Пролетарская, д. 34.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Федеральный исследовательский центр
«Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН»
299011, г. Севастополь, пр. Нахимова, д. 2.

Адрес редакции

ул. Науки, 24, пгт Курортное, г. Феодосия, Республика Крым, 298188
Телефон +7 36562 26212
E-mail: karadag.trudy@yandex.ru

Ассоциация по сохранению и восстановлению редких и исчезающих животных
«ЖИВАЯ ПРИРОДА СТЕПИ»

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Федеральный исследовательский центр
«ИНСТИТУТ БИОЛОГИИ ЮЖНЫХ МОРЕЙ имени А.О. КОВАЛЕВСКОГО РАН»
КАРАДАГСКАЯ НАУЧНАЯ СТАНЦИЯ им. Т.И.ВЯЗЕМСКОГО –
ПРИРОДНЫЙ ЗАПОВЕДНИК РАН

ТРУДЫ КАРАДАГСКОЙ НАУЧНОЙ СТАНЦИИ им. Т.И. ВЯЗЕМСКОГО – ПРИРОДНОГО ЗАПОВЕДНИКА РАН

Научный журнал

Основан в мае 2016 г.

Периодическое издание

Выходит 4 раза в год

Выпуск 4 (16)
2020

СОДЕРЖАНИЕ

Изучение биоразнообразия и экологический мониторинг

<i>Белич Т.В., Садогурская С.А., Садогурский С.Е.</i> К вопросу видового разнообразия прибрежных акваторий Южного берега Крыма.	3
<i>Минкина Н.И.</i> Обилие фитопланктона в северной половине Черного моря весной в связи с совместным влиянием гидрологических условий, пула биогенов и уровня загрязнения.	13
<i>Соловьёва О.В.</i> Многолетняя динамика обилия моллюсков-фильтраторов <i>Mytilaster linneatus</i> на гидротехническом сооружении.	30
<i>Царин С.А.</i> Ихтиологические исследования на НИС «Профессор Водяницкий» у побережья Крыма и в районе Филлофорного поля Зернова в осенний период (2010 г.) и некоторые новые сведения об ихтиофауне Чёрного моря.	38
<i>Летухова В.Ю., Потапенко И.Л.</i> Экологическая характеристика степной ценофлоры Карадагского природного заповедника.	49

Экспериментальная гидробиология

<i>Машукова О.В., Силаков М.И.</i> Сравнительная характеристика воздействия нефтепродуктов на биолюминесценцию черноморских гребневиков-вселенцев <i>Mnemiopsis leidyi</i> A.Agassiz, 1865 и <i>Beroe ovata</i> Mayer, 1912.	58
<i>Романов Б.В.</i> Изучение костей нижней челюсти <i>Delphinus delphis</i> как элемента наружного органа слуха.	68

Географические, геологические и палеонтологические исследования

<i>Валов М.В., Колотухин А.Ю., Бармин А.Н., Жаднов Е.Е.</i> Статистический анализ климатических изменений режима атмосферных осадков в дельте р. Волги.	76
--	----

Association for the Conservation and Recovery of Rare and Endangered Animals
«LIVING NATURE OF THE STEPPE»
Federal State Budget Scientific Institution
Federal Research Center
«A.O. KOVALEVSKY INSTITUTE OF BIOLOGY OF THE SOUTHERN SEAS OF RAS»
T.I. VYAZEMSKY KARADAG SCIENTIFIC STATION –
NATURE RESERVE OF THE RAS

PROCEEDINGS OF T.I. VYAZEMSKY KARADAG SCIENTIFIC STATION – NATURE RESERVE OF THE RAS

Scientific Journal

Established in May 2016

Periodical

Issued 4 times a year

Issue 4 (16)
2020

CONTENT

Biodiversity Researches and Environmental Monitoring

<i>Belich T.V., Sadogurskaya S.A., Sadogurskiy S.Ye. To the Question of Species Diversity of Coastal-Marine Areas of the South Coast of Crimea.</i>	3
<i>Minkina N.I. Abundance of Phytoplankton in the Northern Half of the Black Sea During Spring in the Ratio to United Impact of Hydrological Conditions, Pool of Biogens and Level of Contamination</i>	13
<i>Soloveva O.V. Long-Term Dynamics of Ability of Filter-Feeder Molluscs <i>Mytilaster linneatus</i> on a Maritime Works.</i>	30
<i>Tsarin. S.A. Ichthyological Researches on R/V «Professor Vodyanitskiy» of the Crimean Coast and in the Area of Zernov Phillophoric Field in Autumn (2010) and Some New Information about Ichthiofauna of the Black Sea.</i>	38
<i>Letukhova V.Ju., Potapenko I.L. Ecological Characteristics of the Steppe Coenoflora in the Karadag Nature Reserve.</i>	49

Experimental Hydrobiology

<i>Mashukova O.V., Silakov M.I. Comparative Characteristics of the Impact of Oil Products on the Bioluminescence of the Black Sea Invasive Ctenophores <i>Mnemiopsis Leidyi</i> A.Agassiz, 1865 and <i>Beroe Ovata</i> Mayer, 1912.</i>	58
<i>Romanov B.V. Mandible Bones Study of the <i>Delphinus Delphus</i> as an Element of the External Hearing Organ.</i>	68

Geographical, Geological and Paleontological Researches

<i>Valov M.V., Kolotukhin A.Yu., Barmin A.N., Zhadnov E.E. Statistical Analysis of Atmospheric Precipitations Regime Climate Changes in the River Volga Delta.</i>	76
---	----

ИЗУЧЕНИЕ БИОРАЗНООБРАЗИЯ И
ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ

УДК 581.526.323 (477.75)

К ВОПРОСУ ВИДОВОГО РАЗНООБРАЗИЯ ПРИБРЕЖНЫХ
АКВАТОРИЙ ЮЖНОГО БЕРЕГА КРЫМА

Белич Т.В., Садогурская С.А., Садогурский С.Е.

ФГБУН «Ордена Трудового Красного Знамени Никитский ботанический сад –
Национальный научный центр РАН», г. Ялта, Российская Федерация,
e-mail: tbelich@yandex.ru

Представлены сведения о видовом составе и структуре фитобентоса супра- и псевдолиторали в морской акватории в районе Кучук-Ламбатского каменного хаоса (Южный берег Крыма). Идентифицировано 43 вида фитобентоса: Rhodophyta – 10 видов, Chlorophyta – 7, Ochrophyta – 3, Cyanobacteria – 23. Из них в супралиторали – 23 вида. В период наблюдений растительный покров супралиторали формировали исключительно Cyanobacteria, представленные одним классом, 5 порядками, 10 семействами и 15 родами. Отмечено сообщество с доминированием *Calothrix scopulorum*, *Gloeocapsopsis crepidinum* и *Aphanocapsa inserta*. В основном сообщество сформировано типичными бентосными, морскими, космополитными видами. В псевдолиторали отмечено 20 видов водорослей-макрофитов. Rhodophyta представлен одним классом, 5 порядками, 6 семействами, 8 родами. В отделе Ochrophyta один класс, 2 порядка, 3 семейства и 3 рода. Отдел Chlorophyta представлен одним классом, 2 порядками, 3 семействами и 4 родами. В псевдолиторали зарегистрировано сообщество с доминированием *Ulva kylinii* и *U. intestinalis*, которое формируют преимущественно однолетние, морские и солоноватоводно-морские, мезосапробные виды.

Ключевые слова: видовой состав; супралитораль; псевдолитораль; Cyanobacteria; Chlorophyta; Ochrophyta; Rhodophyta

Введение

Южный берег Крыма (ЮБК) обособленная физико-географическая область, расположенная на крайнем юге Крыма, между Главной горной грядой и берегом Черного моря. ЮБК отличается высоким ландшафтным и биологическим разнообразием, вместе с тем влияние антропогенного фактора здесь проявляется интенсивнее, чем где-либо на побережье, т.к. в этом районе сосредоточены крупнейшие рекреационно-туристические центры. В настоящее время на ЮБК берег в основном (65%) забетонирован. Не закреплены фактически только мысовые области (Современное..., 2015). Поэтому участки побережья с прилегающими морскими акваториями, которые не затронула антропогенная трансформация, имеют особую экологическую ценность, одним из таких участков является Кучук-Ламбатский каменный хаос.

Кучук-Ламбатский каменный хаос располагается к юго-западу от г. Кастель и северо-востоку от мыса Плака, спускаясь длинным языком глыбовых развалов к побережью моря (рис. 1). Географическое положение Кучук-Ламбатского каменного хаоса является стратегически важным в сети природно-заповедных объектов этого участка побережья. Памятник служит ядром, вокруг которого происходило формирование и развитие древних культурно-исторических и современных курортно-рекреационных центров (Вахрушев, Амеличев, 2000). Кучук-Ламбатский каменный хаос является ООПТ (геологический памятник природы местного значения), но

прилегающая морская акватория не имеет охранного статуса. Как неоднократно отмечалось (Садогурский, Садогурская, Белич, 2006; Садогурский, Белич, Садогурская, 2009; 2013; 2017), в береговой зоне моря крайне важно, чтобы ООПТ объединяли сухопутные участки и прилегающие морские акватории, т.к. аквальные и сухопутные компоненты неразрывно соединены сетью функциональных связей, формируя единые территориально-аквальные комплексы. Формирование и сохранение биоразнообразия в прибрежной зоне морей в значительной мере определяется процессами в полосе контакта “суша-море”, в зонах “амфибиотической жизни” в супра- и псевдолиторали (Еременко, 1967).

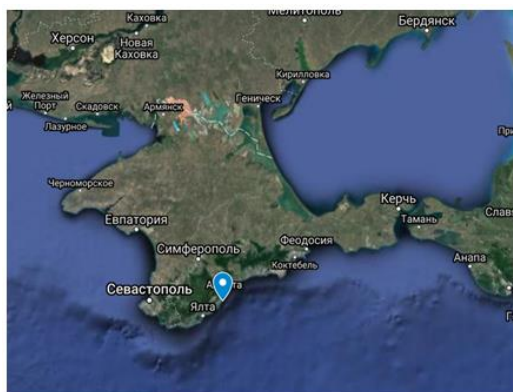


Рис. 1. Побережье Кучук-Ламбатского каменного хаоса

Целью данной работы было выявление видового состава бентосных макроводорослей (*Chlorophyta*, *Ochrophyta*, *Rhodophyta*) и цианобактерий (*Cyanobacteria* / *Cyanoprokaryota*) супра- и псевдолиторальных зон в прибрежной акватории в районе ООПТ Кучук-Ламбатского каменного хаоса.

Материалы и методы

Исследования были выполнены в весенне-летний период 2014 г. в морской акватории в районе Кучук-Ламбатского каменного хаоса (ЮБК). Небольшой по площади участок естественного берега, представляет собой глыбово-валунный навал, сложенный верхнеюрскими известняками (см. рис. 1). Гидробиотические пробы отобраны в границах супра- и псевдолиторали.

Супралитораль – самая верхняя зона бентали. В Чёрном море она расположена выше уровня ветрового нагона воды и лишь увлажняется брызгами прибойных волн.

Псевдолитораль – зона, существование которой обусловлено сгонно-нагонными колебаниями уровня (которые у ЮБК практически полностью маскируются ветроволновыми явлениями), расположена непосредственно в зоне прибоя.

Бентосные макрофиты отбирали по общепринятой гидрботанической методике (Громов, 1973; Калугина, 1969). При количественном учёте фитобентоса в псевдолиторали использована рамка 0,10x0,10 м (в десятикратной повторности). Сообщества в псевдолиторали выделены по аспективным видам с учётом биомассы, в супралиторали доминанты определялись по частоте встречаемости и обилию (Барина и др., 2019; Калугина-Гутник, 1975). Номенклатура и систематическое положение макроводорослей и цианобактерий приведены по AlgaeBase (Guiry, Guiry, 2020), стандартные сокращения имён авторов таксонов даны в соответствии с International Plant Names Index (IPNI, 2018). Дополнительно (в скобках) приведены номенклатурные комбинации по определителям, которые были использованы для идентификации таксонов (Зинова, 1967; Komarek, Anagnostidis, 1999; 2005). Продолжительность вегетации и фитогеографическая характеристика (фитогеографические группы разделили на два комплекса – холодноводный и тепловодный, космополиты и эндемики в эти группы не включены) макрофитов даны по сводке (Калугина-Гутник, 1975), сапробиологическая и галобная характеристики – по неопубликованным данным А.А. Калугиной-Гутник и Т.И. Ерёменко (любезно предоставленным ими И.И. Маслову). Эколого-флористические характеристики макроводорослей даны по (Барина и др., 2006, 2019).

Результаты и обсуждение

В период наблюдений растительный покров супралиторали района исследований формировали исключительно микрофиты, а именно Cyanobacteria. На глыбовом навале отмечено сообщество с доминированием *Calothrix scopulorum*¹, *Gloeocapsopsis crepidinum* и *Aphanocapsa inserta*, в котором можно выделить комплекс ведущих видов: *Entophysalis granulosa*, *Gloeocapsa punctata*, *Chroococcus turgidus*, *Chroococcus varius*, *Lyngbya drouetii*, *Leptolyngbya rivulariarum*, *Pseudophormidium battersii*, *Pseudophormidium golenkinianum*, *Pleurocapsa entophysaloides*. Всего в супралиторали зарегистрировано 23 вида, из которых более половины 57% (13 видов) типичные бентосные (табл. 1). Достаточно характерная картина для супралиторали – преобладание космополитов, в нашем случае они составляют 44% (10 видов), так же отмечена высокая доля тепловодных видов почти 35% (8 видов).

Таблица 1

Видовой и таксономический состав флоры супра- и псевдолиторали морской акватории в районе Кучук-Ламбатского каменного хаоса

Таксон	Эколого-флористическая характеристика			
	продолжительность вегетации	сапробность	фитогеографическая группа	галобность
CHLOROPHYTA				
Ulvophyceae K.R. Mattox et K.D. Stewart				
Cladophorales Haeckel				
Cladophoraceae Wille				
<i>Chaetomorpha</i> Kütz.				
<i>Chaetomorpha aërea</i> (Dillwyn) Kütz.	Од	Ос	Тв	См
<i>Chaetomorpha gracilis</i> Kütz.	Од	Мс	Тв	См
<i>Cladophora</i> Kütz.				

¹ Полные номенклатурные комбинации (включая авторов таксонов) приводятся ниже (табл. 1)

Таксон	Эколого-флористическая характеристика			
	продолжительность вегетации	сапробность	фитогеографическая группа	галобность
<i>Cladophora albida</i> (Nees) Kütz. [<i>Cladophora albida</i> (Huds.) Kütz.]	Од	Мс	Хв	См
<i>Cladophora vadorum</i> (Aresch.) Kütz.	Од	Мс	Хв	См
Boodleaceae Børgesen				
<i>Cladophoropsis</i> Børgesen				
<i>Cladophoropsis membranacea</i> (Bang ex C. Agardh) Børgesen [<i>Cladophoropsis membranacea</i> (C. Agardh) Børgesen]	Сл	Ос	Тв	Мр
Ulvaes Blackman et Tansley				
Ulvaceae J.V. Lamour. ex Dumort.				
<i>Ulva</i> L.				
<i>Ulva intestinalis</i> L. [<i>Enteromorpha intestinalis</i> (L.) Link.]	Од	Пс	Кс	Св
<i>Ulva kylinii</i> (Bliding) Hayden, Blomster, Maggs, P.C.Silva, M.J.Stanhope et J.R.Waaland [<i>Enteromorpha kylinii</i> Bliding]	Од	?	Хв	Мр
OCHROPHYTA				
Phaeophyceae Kjellm.				
Ectocarpales Bessey				
Chordariaceae Grev.				
Myriactula Kuntze				
<i>Myriactula rivulariae</i> (Suhr) Feldmann	Сл	Ос	Хв	Мр
Scytosiphonaceae				
<i>Scytosiphon lomentaria</i> (Lyngb.) Link. [<i>Scytosiphon</i> <i>lomentaria</i> (Lyngb.) J.Ag.]	Сз	Мс	Хв	См
Sphacelariales Mig.				
Sphacelariaceae Decne.				
<i>Sphacelaria</i> Lyngb.				
<i>Sphacelaria cirrhosa</i> (Roth) C. Agardh	Мн	Ос	Хв	Мр
RHODOPHYTA				
Florideophyceae Cronquist				
Acrochaetiales Feldmann				
Acrochaetiaceae Fritsch ex W.R. Taylor				
Acrochaetium Nägeli				
<i>Acrochaetium secundatum</i> (Lyngb.) Nägeli [<i>Kylinia</i> <i>virgatula</i> (Harv.)Papenf.]	Од	Ос	Хв	Мр
Colaconematales J.T. Harper et G.W. Saunders				
Colaconemataceae J.T. Harper et G.W. Saunders				
<i>Colaconema</i> Batters				
<i>Colaconema daviesii</i> (Dillwyn) Stegenga [<i>Acrochaetium</i> <i>daviesii</i> (Dillwyn) Nägeli]	Од	Мс	Хв	Мр
Ceramiiales Nägeli				
Ceramiaceae Dumort.				
<i>Ceramium</i> Roth				
<i>Ceramium ciliatum</i> (J. Ellis) Ducluz.	Сл	Ос	Тв	Мр
<i>Ceramium diaphanum</i> (Lightf.)	Од	Пс	Тв	См

К ВОПРОСУ ВИДОВОГО РАЗНООБРАЗИЯ ПРИБРЕЖНЫХ АКВАТОРИЙ ЮЖНОГО
БЕРЕГА КРЫМА

Таксон	Эколого-флористическая характеристика			
	продолжительность вегетации	сапробность	фитогеографическая группа	глобность
Roth.				
<i>Ceramium virgatum</i> Roth [<i>Ceramium pedicellatum</i> (Duby) J. Agardh nom. illeg.? <i>Ceramium rubrum</i> (Huds.) C. Agardh nom. illeg. ?]	Од	Пс	Кс	См
Pterothamnion Nägeli				
<i>Pterothamnion plumula</i> (J.Ellis) Nägeli [<i>Antithamnion plumula</i> (J.Ellis) Thuret]	Од	Мс	Хв	См
Rhodomelaceae Horan.				
<i>Lophosiphonia</i> Falkenb.				
<i>Lophosiphonia obscura</i> (C. Agardh) Falkenb.	Од	Мс	Тв	Мр
<i>Polysiphonia</i> Grev.				
<i>Polysiphonia denudata</i> (Dillwyn) Grev. ex Harv. [<i>Polysiphonia denudata</i> (Dillwyn) Kütz. nom. illeg. ?]	Од	Мс	Тв	См
Corallinales P.C. Silva et H.W. Johans.				
Corallinaceae J.V. Lamour.				
<i>Jania</i> J.V. Lamour.				
<i>Jania rubens</i> (L.) J.V. Lamour.	Мн	Ос	Тв	Мр
Gelidiales Kylin				
Gelidiaceae Kütz.				
<i>Gelidium</i> J.V. Lamour.				
<i>Gelidium crinale</i> (Hare ex Turner) Gaillon [<i>Gelidium</i> <i>crinale</i> (Turner) J.V. Lamour.]	Мн	Мс	Тв	Мр
CYANOBACTERIA				
Cyanophyceae J.H.Schaffn.				
Synechococcales L.Hoff., Komárek et Kastovsky				
Leptolyngbyaceae (Komárek et Anagn.) Komárek, Kastovsky, J.Mares et J.R.Johans.				
<i>Tapinothrix</i> Sauv.				
<i>Tapinothrix janthina</i> (Bornet et Flahault) Bohunická et J.R. Johans.	В	х-в	Тв	Пв
<i>Leptolyngbya</i> Anagn.				
<i>Leptolyngbya rivulariarum</i> (Gomont) Anagn. et Komárek	В	?	Тв	Пв
<i>Leptolyngbya foveolara</i> (Gomont) Anagn. et Komárek	В, S	?	?	?
Merismopediaceae Elenkin				
<i>Aphanocapsa</i> Nägeli				
<i>Aphanocapsa inserta</i> (Lemmerm.) Cronberg et Komárek	P-B	б	Кс	ПвСв
<i>Aphanocapsa litoralis</i> (Hansg.) Komárek et Anagn.	P-B	?	Кс	?
Chroococcales J.H.Schaffn.				
Chroococcaceae Rabenh.				
<i>Chroococcus</i> Nägeli				
<i>Chroococcus minor</i> (Kütz.) Nägeli	P-B	о-в	Кс	?
<i>Chroococcus turgidus</i> (Kütz.) Nägeli	В, S	Ос	Кс	?
<i>Chroococcus varius</i> A. Braun in	В, S	о-в	Хв	Пв

Таксон	Эколого-флористическая характеристика			
	продолжительность вегетации	сапробность	фитогеографическая группа	галобность
Rabenh.				
<i>Gloeocapsopsis</i> Geitler ex Komárek				
<i>Gloeocapsopsis crepidinum</i> (Thur.) Geitler ex Komárek	B	?	Кс	Мр
<i>Gloeocapsopsis magma</i> (Bréb.) Komárek et Anagn. ex Komárek	B, S	?	Кс	?
Entophysalidaceae Geitler				
<i>Entophysalis</i> Kütz.				
<i>Entophysalis granulosa</i> Kütz.	B	?	Кс	Мр
Microcystaceae Elenkin				
<i>Gloeocapsa</i> Kütz.				
<i>Gloeocapsa punctata</i> Nägeli	B, S	?	Кс	Мр
Oscillatoriophyceae				
Oscillatoriales J.H.Schaffn.				
Oscillatoriaceae Engl.				
<i>Lyngbya</i> C.Agardh ex Gomont				
<i>Lyngbya drouetii</i> G.De Toni	B	?	Тв	Мр
Microcoleaceae O.Strunecky, J.R.Johans. et Komárek				
<i>Pseudophormidium</i> (Forti) Anagn. et Komárek				
<i>Pseudophormidium battersii</i> (Gomont) Anagn.	B, S	?	Хв	Пв
<i>Pseudophormidium golenkinianum</i> (Gomont) Anagn.	B	?	Тв	Мр
Pleurocapsales Geitler				
Hyellaceae Borzi				
<i>Hyella</i> Bornet et Flahault				
<i>Hyella caespitosa</i> Bornet et Flahault	B	?	Тв	См
<i>Pleurocapsa</i> Thuret				
<i>Pleurocapsa entophysaloides</i> Setch. et N.L. Gardner	B	?	Хв	Мр
Nostocales Borzi				
Nostocaceae Eichler				
<i>Nostoc</i> Vauch. ex Bornet et Flahault				
<i>Nostoc commune</i> Vauch. ex Bornet et Flahault	B, S	?	Кс	?
Rivulariaceae Bornet et Flahault				
<i>Rivularia</i> C.Agardh ex Bornet et Flahault				
<i>Rivularia polyotis</i> Roth ex Bornet et Flahault	B	?	Тв	Мр
<i>Rivularia bullata</i> Berk. ex Bornet et Flahault	B	?	Хв	Мр
<i>Dichothrix</i> Zanardini ex Bornet et Flahault				
<i>Dichothrix gypsophila</i> (Kütz.) Bornet et Flahault	B	х	Хв	ПвСв
<i>Calothrix</i> C.Agardh ex Bornet et Flahault				
<i>Calothrix fusca</i> Bornet et Flahault	B	Ос	Кс	См
<i>Calothrix scopulorum</i> C. Agardh ex Bornet et Flahault	B	?	Тв	Мр

Примечание. Сапробиологические группировки: Ос – олигосапробы, Мс – мезосапробы, Пс – полисапробы, х – ксеносапробионт, х-в – ксено-бета-мезосапробионт, о-в – олиго-бета-мезосапробионт, в – бета-мезосапробионт. Группировки по продолжительности вегетации: Од – однолетние, Сл – сезонные летние, Мн – многолетние. Галобность: Мр – морские, См – солоноватоводно-морские, Св – солоноватоводные, Пв – пресноводные, ПвСв – пресноводно- солоноватоводные. Фитогеографический состав: Хв – холодноводные, Тв – тепловодные, Кс – космополиты. Приуроченность к биотопу (приведены только для Cyanobacteria): В – бентосный, S – почвенный, наземные субстраты, Р-В – планктонно-бентосный. ? – нет данных.

Среди супралиторальных видов, найдены типичные представители различных галообных групп. Полигалобы, населяющие воды большей с соленостью, чем морская (*Leptolyngbya rivulariarum* и *Pseudophormidium battersii*); галофилы, обитают в пресных водах, но небольшое повышение солености стимулирует увеличение их биомассы (*Chroococcus turgidus*, *Gloeocapsa punctata*, *Gloeocapsopsis crepidinum*); индифференты, типичные обитатели пресных вод, имеют большую биомассу, могут обитать в водах с низким уровнем солености, (*Gloeocapsopsis magma*, *Aphanocapsa incerta*). Преобладающее значение имеет группа морских видов 44% (10 видов), доля пресноводных значительно ниже 17% (4 вида), остальные виды относятся к переходным комплексам, солоноватоводно-морским и пресноводно-солоноватоводным.

Для большинства найденных видов Cyanobacteria сапробность не известна, но тем не менее отмечены виды, являющиеся индикаторами зон самоочищения поверхностных вод: ксеносапробионт (*Dichothrix gypsophila*), ксено-бета-мезосапробионт (*Tapinothrix janthina*), олигосапробионты (*Calothrix fusca* и *Chroococcus turgidus*), олиго-бетамезосапробионты (*Chroococcus minor* и *Chroococcus varius*) и бетамезосапробионт (*Aphanocapsa inserta*). Высокая доля ксено-бета-мезосапробионтов, олигосапробионтов и олиго-бета-мезосапробионтов 21,7% (5 видов). Невысокий вклад ксеносапробионтов и бетамезосапробионтов по 4,3% (по 1 виду), являющихся индикаторами как очень чистых (ксеносапробных) вод, так и вод удовлетворительной чистоты (бета-мезосапробных), скорее показывает специфику супралиторальной зоны, с разнообразными условиями, чем реальную трофность воды. На основании индексов сапробности видов рассчитан индекс сапробности данного водорослевого сообщества, $S = 1,37$.

К категории редких и нуждающихся в охране относятся 7 видов Cyanobacteria: *Aphanocapsa litoralis*, *Chroococcus varius*, *Dichothrix gypsophila*, *Entophysalis granulosa*, *Gloeocapsa punctata*, *Lyngbya drouetii*, *Rivularia bullata*.

В псевдолиторали развивается сообщество с доминированием *Ulva kylinii* и *Ulva intestinalis*. Ярусная структура в сообществе не выражена, при ПП 70–80% и биомассе около 1,4 кг/м² в нём зарегистрировано 20 видов макроводорослей. 10 видов представители отдела Rhodophyta, 3 вида - Ochrophyta и 7 видов Chlorophyta. В 2000 г *U. kylinii* впервые была отмечена на ЮБК (Белич, 2007; Белич, Садогурский, Садогурская, 2006) и в других районах моря (Милячакова, 2002; Ткаченко, Маслов, 2002). В настоящее время можем наблюдать, что вид вошел в доминанты псевдолиторальных сообществ поздневесеннего – раннелетнего периода на ЮБК (Садогурский, Белич, Садогурская, 2019).

В целом, на долю Chlorophyta приходится более 90% общей биомассы сообщества. Следует отметить, что в псевдолиторали группировки с доминированием представителей Chlorophyta часто имеют сезонный характер.

Более 80% (17 видов) зарегистрированных в сообществе видов являются коротковегетирующими, в основном – однолетниками (65%). Среди сапробиологических группировок по общему количеству видов доминируют мезосапробы – 45% (9 видов), группа олигосапробов включает 7 видов (35%), полисапробов – 3 вида (15%). В соотношении галообных группировок солоноватоводно-морские и морские виды распределены практически поровну – 9 и 10 видов (45 и 50% соответственно). Тепловодные и холодноводные виды также представлены в равной мере (по 45%) группа космополитов составляет 10% (2 вида) видового состава. В сообществе зарегистрировано 2 вида, относящихся к категории редких и нуждающихся в охране, *Cladophoropsis membranacea* и *Cladophora vadorum*.

В целом, альгофлора супра- и псевдолиторали морской акватории в районе Кучук-Ламбатского каменного хаоса включает 43 вида фитобентоса: Rhodophyta – 10 видов, Chlorophyta – 7, Ochrophyta – 3, Cyanobacteria – 23 вида. Самый

многочисленный отдел Cyanobacteria представлен одним классом, 5 порядками, 10 семействами и 15 родами. Rhodophyta представлен одним классом, 5 порядками, 6 семействами, 8 родами. В отделе Ochrophyta один класс, 2 порядка, 3 семейства и 3 рода. Отдел Chlorophyta представлен одним классом, 2 порядками, 3 семействами и 4 родами.

Выводы

В супра- и псевдолиторали морской акватории в районе Кучук-Ламбатского каменного хаоса в весенне-летний период отмечено 43 видов фитобентоса, представители четырех отделов, четырех классов, 14 порядков, 22 семейств и 30 родов. В супралиторали развивается сообщество с доминированием *Calothrix scopulorum*, *Gloeocapsopsis crepidinum*, *Aphanocapsa inserta*. В основном сообщество сформировано типичными бентосными, морскими и солоноватоводными, космополитными видами. Отмечены виды-индикаторы зон самоочищения, подсчитан индекс сапробности супралиторального водорослевого сообщества ($S = 1,37$). В псевдолиторали зарегистрировано сообщество с доминированием *Ulva kylinii* и *Ulva intestinalis*. Сообщество преимущественно формируют однолетние, морские и солоноватоводно-морские, мезосапробные виды. Во флоре обследованного участка отмечено два вида макрофитов, относящихся к категории редких и нуждающихся в охране и определён комплекс раритетных таксонов Cyanobacteria, включающий 7 видов.

Кучук-Ламбатский каменный хаос уникален не только в геологическом, историческом, но и флористическом отношении. Результаты исследования свидетельствуют о созологической ценности аквального компонента береговой зоны Кучук-Ламбатского каменного хаоса, что определяет необходимость придания охранного статуса целостному территориально-аквальному комплексу.

Список литературы

1. Баринова С.С., Белоус Е.П. Царенко П.М. Альгоиндикация водных объектов Украины: методы и перспективы. – Хайфа, Киев: University of Haifa Publisher, 2019. – 367 с.
2. Баринова С.С., Медведева Л.А., Анисимова О.В. Биоразнообразие водорослей – индикаторов окружающей среды. – Тель-Авив: Pilies Studio, 2006. – 498 с.
3. Белич Т.В., Садогурский С.Е., Садогурская С.С. Новые для природного заповедника "Мыс Мартьян" виды макрофитобентоса // Заповідна справа в Україні. – 2006. – Т. 12, вип 2. – С. 21-23.
4. Вахрушев Б.А., Амеличев Г.Н. Геологический памятник природы – Кучук-Ламбатский каменный хаос, как элемент оползневой, сейсмогравитационной и карстовой морфоскульптуры рельефа Южного берега Крыма // Культура народов Причерноморья. – 2000. № 15. – С. 12-17.
5. Громов В.В. Методика подводных фитоценологических исследований // Гидробиологические исследования северо-восточной части Черного моря. – Издательство Ростовского университета. – 1973. – С. 69 – 72.
6. Еременко Т.И. Макрофитобентос // Биология северо-западной части Черного моря. – Киев: Наукова думка, 1967. – С. 126-143.
7. Зинова А.Д. Определитель зеленых, бурых и красных водорослей Южных морей СССР. – М.; Л.: Наука, 1967. – 400 с.
8. Калугина А.А. Исследование донной растительности Чёрного моря с применением легководолазной техники // Морские подводные исследования. – М.: Наука, 1969. – С. 105–113.

9. Калугина-Гутник А.А. Фитобентос Чёрного моря. – Киев: Наукова думка, 1975. – 248 с.
10. Мильчакова Н.А. О новых видах флоры макрофитов Черного моря // Экология моря. – 2002. – Вып. 62. – С. 19-24.
11. Садогурский С.Е., Белич Т.В., Садогурская С.А. К вопросу выделения территориально-аквальных элементов региональной экосети в Крыму // Мат-лы V Международной научно-практической конференции "Заповедники Крыма. Теория, практика и перспективы заповедного дела в Черноморском регионе". (Симферополь, 22-24 октября 2009 г.). – Симферополь, 2009. – С. 134–139.
12. Садогурский С.Е., Белич Т.В., Садогурская С.А. Некоторые аспекты формирования территориально-аквальных компонентов региональной и локальных экологических сетей в Крыму // Природа Восточного Крыма. Оценка биоразнообразия и разработка проекта локальной экологической сети /отв. ред. д.б.н. С.П. Иванов. – К., 2013. – С. 79-85.
13. Садогурський С.Ю., Беліч Т.В., Садогурська С.О. Про деякі аспекти виділення структурно-функціональних елементів екомереж в береговій зоні моря. // Мережа НАТУРА 2000 як інноваційна система охорони рідкісних видів та оселищ в Україні: Мат. наук.-практ. семінару (15.02.2017 Київ, Україна). Серія: Conservation Biology in Ukraine. 1. Київ, 2017. – С. 208–209.
14. Садогурский С.Е., Белич Т.В., Садогурская С.А. К изучению фитобентоса заповедной акватории у мыса Мартьян (Южный берег Крыма, Чёрное море) // Экосистемы. – 2019. – Вып. 19. – С. 27-37. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.14498.79040>
15. Садогурский С.Е., Садогурская С.А., Белич Т.В. О стратегии охраны территориально-аквальных комплексов // Междунар. научн. конф. "Проблемы биологической океанографии XXI века", посв. 135-летию ИнБЮМ (19-21 сентября 2006 г., Севастополь). – Севастополь, 2006. – С. 81.
16. Садогурская С.А., Рыфф Л.Э., Садогурский С.Е., Белич Т.В. Предварительные данные о флоре территориально-аквального комплекса мыса Троицы (АР Крым) // Инвентаризация биоразнообразия в границах природно-заповедного фонда. Труды Никит. ботан. сада. – 2013. – Т. 135. – С. 121-131.
17. Современное состояние береговой зоны Крыма / под ред. Горячкина Ю.Н. Морской гидрофизический институт. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2015. – 252 с.
18. Ткаченко Ф.П., Маслов И.И. Морской макрофитобентос Черноморского биосферного заповедника // Экология моря. – 2002. – Вып. 62. – С. 34-40.
19. Guiry, M.D., Guiry, G.M. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. 2020. Accessed at: <http://www.algaebase.org>. Retrieved: 13.02.2020.
20. Komarek J., Anagnostidis K. Cyanoprokaryota. 1. Teil Chroococcales. Susswasserflora von Mitteleuropa. – Jena.: Gustav Fisher Verlad., 1999. – 548 p.
21. Komarek J., Anagnostidis K. Cyanoprokaryota. II. Oscillatoriales. Susswasserflora von Mitteleuropa. Bd 19 (2) – Jena - Stuttgart - Lubek -Ulm: Gustav Fisher, 2005. – 759 p.

**TO THE QUESTION OF SPECIES DIVERSITY OF COASTAL-MARINE AREAS OF
THE SOUTH COAST OF CRIMEA**

Belich T.V., Sadogurskaya S.A., Sadogurskiy S.Ye.

The Order of the Red Banner of Labor Nikitsky Botanical Garden – National Scientific Center of RAS
e-mail: tbelich@yandex.ru

Information about the species composition and the structure of phytobenthos of the supra - and pseudolittoral zones in the marine area of the Kuchuk-Lambatsky stone chaos is presented. In total 43 species of phytobenthos have been identified: Rhodophyta – 10 species, Chlorophyta-7, Ochrophyta-3, Cyanobacteria-23. Altogether 23 species were found in the supralittoral zone. During the observation period, the vegetation cover of the supralittoral zone was formed exclusively by Cyanobacteria, represented by one class, 5 orders, 10 families and 15 genera. The community, dominated by *Calothrix scopulorum*, *Gloeocapsopsis crepidinum* and *Aphanocapsa inserta* was found. The community is mainly formed by typical benthic, marine, and cosmopolitan species. In total 20 species of macrophyte algae were observed in the pseudolittoral zone. The Rhodophyta division is represented by one class, 5 orders, 6 families, and 8 genera. The Ochrophyta division has one class, 2 orders, 3 families, and 3 genera. The division Chlorophyta is represented by one class, 2 orders, 3 families, and 4 genera. In the pseudolittoral zone the community dominated by *Ulva kylinii* and *U. intestinalis* has been registered. It is formed mainly by annual, marine and brackish-marine, mesosaprobic species.

Key words: pseudolittoral zone; species composition; supralittoral zone; Cyanobacteria; Chlorophyta; Ochrophyta; Rhodophyta

Белич Татьяна Викторовна Кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, старший научный сотрудник сектора экомониторинга и гидробиологических исследований отдела природных экосистем, ФГБУН «Ордена Трудового Красного Знамени Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН», e-mail: tbelich@yandex.ru

Садогурская Светлана Александровна Кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, старший научный сотрудник сектора экомониторинга и гидробиологических исследований отдела природных экосистем, ФГБУН «Ордена Трудового Красного Знамени Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН», e-mail: sadogurska@yandex.ru

Садогурский Сергей Ефимович Кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, ведущий научный сотрудник сектора экомониторинга и гидробиологических исследований отдела охраны природы, природный заповедник «Мыс Мартьян, ФГБУН «Ордена Трудового Красного Знамени Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН», e-mail: ssadogurskij@yandex.ru

Поступила в редакцию 03.07.2020 г.

УДК 556:628.19:581.526.225(262.5)

ОБИЛИЕ ФИТОПЛАНКТОНА В СЕВЕРНОЙ ПОЛОВИНЕ ЧЕРНОГО МОРЯ ВЕСНОЙ В СВЯЗИ С СОВМЕСТНЫМ ВЛИЯНИЕМ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ, ПУЛА БИОГЕНОВ И УРОВНЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ*

Минкина Н.И.

ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН»,
г Севастополь, Российская Федерация,
e-mail: niminkina@yandex.ru

По ретроспективным данным с помощью факторного анализа оценено совместное влияние абиотических, антропогенных и биотических параметров среды на обилие фитопланктона в основных слоях пелагиали северной половины Черного моря в весенний период (март, май) 1992 г. Результатами факторного анализа подтверждается известная негативная реакция сообщества фитопланктона на распреснение поверхностных вод в мае из-за паводка крупных рек: Дуная, Днепра, Днестра, Буга. В марте обилие батипланктона под термоклином положительно коррелировало с биомассой водорослей. В мае в поверхностных слоях такая связь проявилась с обилием эпи- и желетелого планктона. Выявлено синэргическое позитивное воздействие превалирующих поллютантов (Fe, Cr и Cu) на биомассу микроводорослей. Показано, что влияние комплексного загрязнения моря на функционирование сообщества фитопланктона в пределах временного интервала исследований порядка месяца может быть более значимым, чем воздействие гидрологических и гидрохимических параметров.

Ключевые слова: Черное море, обилие фитопланктона, весна, абиотические и биотические параметры среды, биогены, загрязнение, факторный анализ, совместное влияние.

Введение

Планктонные водоросли, продукция которых лежит в основе функционирования всей пелагической пищевой цепи, обладают высокой скоростью воспроизводства и, быстро реагируя на изменения в экосистеме, могут служить чувствительным индикатором действия на неё различных факторов. К таковым относятся: изменчивость гидрометеорологической обстановки, трофические взаимовлияния, а также антропогенное воздействие.

Исследованию пространственно-временной изменчивости обилия фитопланктона в Черном море посвящено большое количество работ. Известно, что численность и биомасса фитопланктона в разные годы и сезоны значительно варьируют в акватории Черного моря (Белогорская, Кондратьева, 1965, Георгиева, 1993, Mikaelyan et al., 2013). Анализ внутригодовой изменчивости проводился для районов северо-западной части (Брянцева, 2000; Кривенко, Пархоменко, 2010), северо-восточной (Арашкевич и др., 2015), а также в районе Карадага (Сеничева, 2004) и в Севастопольской бухте (Стельмах и др., 2009). Межгодовая изменчивость биомассы фитопланктона оценена в работах (Маштакова, Самышев, 1986; Грузов и др., 1994; Кривенко, Пархоменко, 2010; Mikaelyan et al., 2013). При анализе изменения структуры планктонных сообществ в северо-западной и восточной частях Черного моря с 1960 по 1983 гг. был сделан вывод о том, что эти изменения связаны с эвтрофикацией водоема, вызванной в свою очередь изменениями в гидроструктуре моря, а также возрастанием биогенного стока с суши (Маштакова, Самышев, 1986). Бурное развитие фитопланктона в северо-западной части Черного моря связано с мощной подпиткой поверхностных слоев моря фосфатами, нитратами и силикатами вследствие поднятия

* Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ ИнБЮМ по теме АААА-А18-118021490093-4 «Функциональные, метаболические и токсикологические аспекты существования гидробионтов и их популяций в биотопах с различным физико-химическим режимом».

глубинных вод (Зайцев, 2006). На рост обилия фитопланктона в Черном море также оказывает влияние вертикальная циркуляция вод, возникающая в прибрежных районах при сгонно-нагонных процессах и в открытой части моря в результате «экмановской накачки» за счет неоднородности поля ветра (Брянцева и др., 1996; Kubryakov et al., 2016; Крашенинникова и др., 2019).

Сообщества черноморского планктона подвержены влиянию загрязнителей. Целостное представление о токсикологическом поле вод северной половины Черного моря в 90-гг. прошлого столетия и его сезонной и пространственной изменчивости впервые было получено в ходе уникального эксперимента, выполненного сотрудниками Украинского научно-исследовательского центра экологии моря Министерства охраны окружающей природной среды (УкрНЦЭМ, г. Одесса) при участии специалистов Института биологии южных морей в рамках проекта ЭКОМОНОК Государственной программы «Глобальные изменения природной среды и климата» ГКНТ СССР (Исследования экосистемы ..., 1994; Деньга и др., 1994; Мединец и др., 1994; Дзицкий и др., 2011, Dzitsky et al., 2012).

При действии различных экологических факторов и антропогенных загрязнений в первую очередь изменяются фотосинтетическая активность и численность клеток водорослей. Не представляется возможным экспериментально оценить влияния всего спектра поллютантов на сообщество фитопланктона. Специфика ответных реакций на действие различных концентраций токсикантов зависит от систематического положения микроводорослей, их физиологического состояния, активности ферментов, времени воздействия и т.д. Для быстрой диагностики состояния сообщества фитопланктона в природных условиях развиваются современные экспресс-методы регистрации флуоресценции хлорофилла, которые позволяют получать информацию о количестве и активности фототрофных организмов, а также по характеристикам состояния фотосинтетического аппарата оценивать физиологическое состояние клеток и судить о качестве водной среды. Важным преимуществом этих методов является их высокая чувствительность, что позволяет быстро диагностировать состояние фитопланктона непосредственно в среде его обитания *in situ* в режиме реального времени (Осипов, 2006). Этот метод не позволяет выявить основные факторы, влияющие на состояние сообщества микроводорослей.

В результате целого ряда исследований господствующим стало представление об антропогенной природе механизма усиления вегетации водорослей в 70-х - начале 80-х гг., а естественная составляющая (физические и биотические факторы) оказалась выпавшей из рассмотрения. Вместе с тем с середины 80-х годов отмечена четкая тенденция снижения биомассы фитопланктона, как на западе, так и на востоке моря, что не согласуется с антропогенной гипотезой. Сопоставление многолетних изменений в планктоне Черного моря дали основание предположить их и природную (климатическую) причину (Грузов и др., 1994). Очевидно, что многолетние изменения в фитопланктоне вод Черного моря обусловлены совместным воздействием как природных, так и антропогенных факторов.

Проблема заключается в том, что практически невозможно разделить воздействия как непосредственные (прямое загрязнение), так и опосредованные, влияющие на фоне широкой амплитуды природной изменчивости климатических и гидробиологических процессов. Кроме того, сообщество черноморского фитопланктона подвержено влиянию целого ряда различающихся по своей природе поллютантов, состав и концентрация которых определяются как объемом их поступления в экосистему в различные сезоны, так и гидроструктурой вод (Маштакова, Самышев, 1986; Oguz, 2005; Crain et al., 2008; Дзицкий и др., 2011, Dzitsky et al., 2012; Крашенинникова и др., 2019).

Необходимо выявить синэргические (совместные) реакции сообщества микроводорослей на стрессоры, т.е. такие реакции, когда суммирующий эффект взаимодействия нескольких факторов существенно превосходит эффект каждого отдельного параметра в виде их простой суммы (Crain et al., 2009; Смоляков, Жигула, 2001; Совга, 2005; Смоляков и др., 2010).

Синэргические реакции можно пытаться количественно и качественно описать с помощью одного из методов многомерной статистики – факторного анализа. Основным смыслом факторного анализа заключается в выделении из всей совокупности переменных только небольшого числа латентных, независимых друг от друга группировок, внутри которых переменные связаны сильнее, чем переменные, относящиеся к разным группировкам. Факторный анализ позволяет решить две важные проблемы исследователя: описать объект измерения всесторонне и в то же время компактно (Буреева, 2007).

Количественное описание синэргических реакций популяций и сообществ гидробионтов остаются «белым пятном» в океанологических исследованиях. Отсюда следует **актуальность проблемы**, решаемой в данной работе: количественная оценка совместного влияния гидрологических параметров, обеспеченности биогенами и комплексного загрязнения вод Черного моря на функционирование сообщества фитопланктона в весенний период. **Задачей** данного исследования является выявление по ретроспективным данным основных факторов, влиявших в 90-е годы прошлого столетия на трофический статус вод северной половины Черного моря по биомассе фитопланктона, их вкладу и направленности в весенний период. Выбор для такого анализа именно весеннего периода обусловлен наиболее высоким уровнем загрязненности пелагиали весной (март, май), связанным с паводком рек (Демидов, 2008; Дзицкий и др., 2011, Dzitsky et al., 2012).

На основе регрессионного анализа нами была сделана попытка оценить связи превалирующих поллютантов и биомассы фитопланктона в Черном море с использованием этого же массива данных. Биомасса водорослей положительно коррелировала с концентрацией Cu, Cr, Fe, хотя коэффициенты корреляции были невелики и изменялись в пределах 0,1–0,18 (Крашенинникова и др., 2019). Этот статистический метод является скорее разведочным, чем позволяет количественно оценить совместное влияние параметров среды и биотических факторов на функционирование сообщества фитопланктона.

Многомерные статистические методы среди множества возможных вероятностно-статистических моделей позволяют обоснованно выбрать ту, которая наилучшим образом соответствует исходным статистическим данным, характеризующим реальное поведение исследуемой совокупности объектов, а также позволяет оценить надежность и точность выводов, сделанных на основании ограниченного статистического материала. В данной работе сделана попытка интерпретировать результаты факторного анализа, выполненного с целью оценки совместного влияния гидрологических, гидрохимических, биотических параметров и загрязнения на функционирование сообщества фитопланктона, определяемое изменчивостью биомассы микроводорослей.

Материалы и методы

Для исследования пространственно-временной изменчивости фитопланктона северной половины Черного моря использовали данные, полученные в шести научно-исследовательских рейсах на судах УкрНЦЭМ с участием сотрудников ИнБЮМ им. А.О. Ковалевского. Регулярные комплексные съемки обширной акватории северной части моря (в пределах экономзон СНГ – 42°20' – 46°30' N и 30°00' – 41°00' E) продолжительностью 20–25 суток каждая были выполнены по единой сетке станций в

марте-начале апреля и в мае 1992 г. (60-й и 61-й рейсы НИС Г. Ушаков) (Исследования экосистемы ..., 1994). В период съемок на станциях I разряда, выполнявшихся ежедневно с 8 до 14 часов астрономического времени, осуществлялся комплекс стандартных наблюдений – метеорологических, гидрологических, гидрохимических и гидробиологических. Пробы фитопланктона собирались 30-литровым пластиковым батометром “Niskin” с горизонтов, соответствующих освещенности 100, 46, 25, 10 и 1 %. Дополнительно отбирали пробы фитопланктона с учетом стратификации вод (над термоклинном, в термоклине и под термоклинном. На станциях II-го разряда, выполнявшихся 2–6 раз в течение суток, пробы фитопланктона отбирали на стандартных горизонтах: 0, 10, 25, 50 и 100 м.

Использованы данные о биомассе фитопланктона, полученные сотрудниками УкрНЦЭМ Л.А. Виноградовой, В.Н. Василевой, О.Г. Осетровым, А.Е. Ивлевым и сотрудницей отдела функционирования морских экосистем ИнБЮМ Ю.В. Брянцевой.

Для анализа были использованы сведения о следующих структурных компонентах экосистемы Черного моря:

– абиотические параметры среды (данные УкрНЦЭМ) на всех 108 станциях – средние в основных слоях моря температура, соленость, содержание кислорода; общая глубина на станции, глубина залегания термоклина, толщина основных слоев, глубина залегания изооксигены 1 мл/л (границы слоя сосуществования кислорода и сероводорода), прозрачность воды; среднее содержание биогенов – NO_2 , NO_3 , общего фосфора; антропогенные факторы (на 10 станциях) – средние концентрации поллютантов (тяжелых металлов Hg, Zn, Ni, Cu, Pb, Cr, Cd, Fe, мышьяка и нефтепродуктов (НУВ)) (Мединец и др., 1994; Деньга и др., 1994);

– биотические параметры: средневзвешенные в слоях значения биомассы фитопланктона (на 18 станциях) (Брянцева, 2000), биомассы эпипланктона, батипланктона и желетелых организмов (Грузов и др., 1994).

Абиотические характеристики среды и биомасса зоопланктона приводятся по данным УкрНЦЭМ и переданы нам в порядке обмена по Договору о научном сотрудничестве ИнБЮМ и УкрНЦЭМ.

Основные слои пелагиали – поверхностный микрослой (ПМС), верхний перемешанный слой (ВПС) или, что тоже, верхний квазиоднородный слой, слой термоклина и слой ниже термоклина до 50 м рассматриваются в данной работе как самостоятельные биотопы. Использовались средневзвешенные величины всех параметров в основных слоях пелагиали (Newhose, 1968). Данные о выявленных преобладающих поллютантах, карты и анализ их распределения, поля биомассы микроводорослей и зоопланктона в основных слоях пелагиали приведены в наших работах (Дзицкий и др., 2011, Dzitsky et al., 2012; Крашенинникова и др., 2019).

Для получения факторных моделей был использован стандартный пакет Statistica 22. Параметры для расчетов выбирались на основании наибольших коэффициентов корреляции между ними и значениями биомассы фитопланктона. Отбор числа факторов выполнен с использованием критерия Кайзера, использовано варимаксное вращение системы координат осей-факторов. Факторы описываются линейными уравнениями, слагаемыми которых являются выбранные репрезентативные параметры с некоторыми коэффициентами нагрузки. При интерпретации результатов использовались только параметры, имевшие коэффициенты нагрузки $>0,7$ (Буреева, 2007).

Результаты и их обсуждение

Распределение биомассы фитопланктона весной 1992 г. в основных слоях пелагиали – поверхностном микрослое (ПМС), верхнем перемешанном или квазиоднородном слое (ВПС), слое термоклина и в слое под термоклином до 50 м и их

трофический статус по международной классификации Global International Waters Assessment (Borysova et al., 2005) изображено на рис. 1.

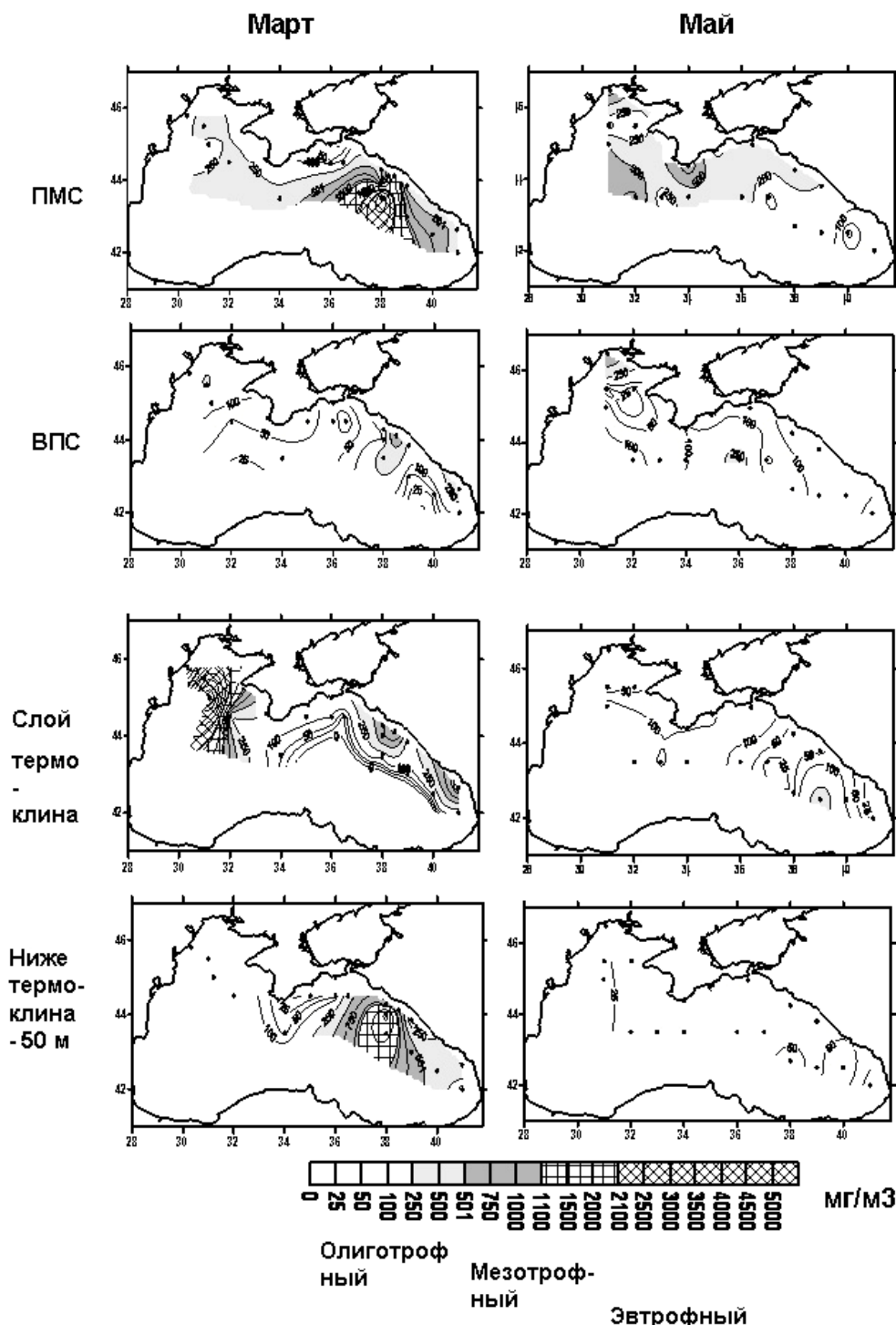


Рис. 1 – Распределение биомассы фитопланктона ($\text{мг}\cdot\text{м}^{-3}$) и трофический статус основных слоев пелагиали весной 1992 г.

Выявлено повышение в марте-начале апреля трофности ПМС в северо-восточной части моря, где максимальная биомасса фитопланктона достигала $10,8 \text{ г}\cdot\text{м}^{-3}$, и на северо-западе в слое термоклина до эвтрофного уровня ($5,3 \text{ г}\cdot\text{м}^{-3}$). В слое ниже термоклина на северо-востоке максимальные величины обилия фитопланктона достигали $2,2 \text{ г}\cdot\text{м}^{-3}$, что характерно для мезотрофных-эвтрофных вод. Такая ситуация согласуется с представлениями о появлении в марте 1992 г. продуктивной зоны вблизи

материкового склона (Грузов и др., 1994). Остальные водные массы в марте и вся акватория в мае характеризовались олиго- и мезотрофным уровнем развития фитопланктона. В выделенных основных слоях пелагиали концентрация водорослей значительно превышала средние величины для всего 100-метрового слоя, которые в марте достигали $1 \text{ г}\cdot\text{м}^{-3}$ на северо-западном шельфе и у восточных берегов Крыма и $0,5 \text{ г}\cdot\text{м}^{-3}$ в центральной и восточных частях моря. В мае биомасса фитопланктона от 1 до $1,5 \text{ г}\cdot\text{м}^{-3}$ была отмечена только на северо-западном шельфе, тогда как в центральной части моря она не превышала $0,1 \text{ г}\cdot\text{м}^{-3}$ и $0,5 \text{ г}\cdot\text{м}^{-3}$ – в восточной.

На фоне многолетних изменений структуры сообщества фитопланктона по данным комплексных съемок УкрНЦЭМ Ю.В. Брянцевой было показано, что уровень развития фитопланктона в 1992–1993 гг. в восточном районе незначительно превосходил среднемноголетние величины, а в северо-западном районе – был сопоставим с ними. Изменчивость в суммарной биомассе водорослей сопровождалась изменениями в отношении биомассы диатомовых к биомассе перидиниевых водорослей (D/P), вклад диатомей в суммарную биомассу фитопланктона с 70-х по 80-е годы на востоке стал возрастать, а на северо-западе – снижаться, затем в обоих районах наблюдалось возрастание доли перидиниевых водорослей. В 1992 г. она достигла максимума относительно предшествующих лет. В восточном районе биомасса перидиней стала почти равной биомассе диатомовых, а индекс D/P снизился относительно среднемноголетнего значения в 6 раз вследствие эвтрофикации моря (Брянцева, 2000). В этой работе автор выполнила оценку вклада климатического и антропогенного факторов на дисперсию биомассы фитопланктона. Ею установлено, что межгодовая изменчивость биомассы водорослей в значительной степени обусловлена изменчивостью атмосферной циркуляции (через воздействие на циркуляцию вод), вклад которой в дисперсию биомассы фитопланктона в открытых водах в 70-е – начале 90-х гг. достигал от 18 до 56%.

Влияние антропогенного фактора на структуру сообщества фитопланктона Ю.В. Брянцевой оценивалось на основании интегрального показателя – объемами отъёма речного стока и связанного с ним его сезонного перераспределения. Такой подход не позволяет выделить как основные поллютанты-стрессоры, так и вклад совместного воздействия климатических, биотических и антропогенных параметров пелагиали на фитопланктон. Эту задачу на основании имеющихся данных мы попытались решить с помощью факторного анализа.

Для факторной модели были рассмотрены 25 исходных параметров. В качестве репрезентативных были отобраны по 9 параметров, имеющих наибольшие парные корреляции с величинами биомасс водорослей для каждого слоя пелагиали (табл. 1, 2) за исключением слоя ниже термоклина в марте, данные для которого были получены только на 9 глубоководных станциях. На основании критерия Кайзера были выделены три фактора. В марте-начале апреля для верхнего перемешанного слоя (ВПС):

$$B = 2,45 F1 + 2,28 F2 + 1,92 F3, \quad (1)$$

$$F1 = -0,872 \text{ Hg} + 0,871 \text{ Cr} + 0,6 \text{ Zn} + 0,51 \text{ NO}_2 - 0,61 \text{ Cu} + 0,251 \text{ Pb} - 0,266 \text{ BG} + 0,284 \text{ H thermocline} + 0,302 \text{ BPL}$$

$$F2 = 0,941 \text{ Cu} + 0,925 \text{ Pb} + 0,572 \text{ Zn}$$

$$F3 = 0,879 \text{ BG} + 0,829 \text{ H thermocline} + 0,551 \text{ BPL},$$

где B – биомасса фитопланктона в ВПС;

F1... F3 – выделенные факторы, значения концентраций металлов в воде;

BG – биомасса желетелого планктона в $\text{мг}\cdot\text{м}^{-3}$;

BPL – биомасса батипланктона в $\text{мг}\cdot\text{м}^{-3}$.

Таблица 1.

Корреляция (R²) гидрологических и гидрохимических характеристик верхнего перемешанного слоя (ВПС) с биомассой фитопланктона весной 1992 г

№ ст.	Глубина термоклина, м	Толщина термоклина, м	Биомасса фитопланктона, мг/м ³	Температура воды Т, °С	Соленость воды S ₀ ‰	Глубина станции Н tot, м	Освещенность по диску Секки, м	Глубина загленин Н взмокниень, м	НВ в ПМС, мг/л	Fe, мг/л		мкг/л							Биогены		
										ПМС	ВПС	Cr	Cu	Pb	Ni	Zn	Hg	As	NO ₂ , мкг/л	NO ₃ , мг/л	P общ., мкг/л
21	14	5	274,44	5,73	15,82	10	6	-	0,05	0,1	0,45	3,8	2,3	5,5	1,2	15,5	0,031	3	0,75	5,5	6,47
23	27	3	44,21	6,99	18,11	1100	9	37	0,05	0,1	0,44	3,8	2,3	5,6	1,3	15,6	0,031	3,0	1,63	11,6	6,94
24	27	3	120,91	6,52	18,11	55	11	-	0,05	0,1	0,2	3,8	2,35	5,6	1,2	14	0,031	3,2	0,83	5,35	3,68
35	8	9	149,99	7,11	18,44	2200	11	47	0,09	0,14	0,05	0,8	2,45	5,4	0,71	2,2	0,038	4,0	0,93	3,58	2,51
39	5	10	162,1	5,56	16,91	17	17	-	0,05	0,1	0,45	4	2	5,7	1,3	16	0,031	3,0	0,88	9,83	13,95
44	38	0	25,9	7,25	17,98	38	9	-	0,15	0,15	0,1	1	2	5	2	7	0,034	5,0	1,15	14,83	4,26
53	11	19	63,24	7,88	18,12	1600	10	124	0,2	0,15	0,06	1,2	1,5	7	2	10	0,0348	4,8	0,84	2,98	2,1
55	17	4	40,63	7,92	18,14	1100	9	125	0,2	0,142	0,15	1,8	4,5	8,8	4,1	11,5	0,033	4,0	1,13	7,26	4,29
65	15	15	17,6	7,84	18,16	655	9	144	0,08	0,15	0,07	0,75	1,2	4	1	7	0,035	6	0,51	5,67	5,76
66а	9	11	540,37	7,17	18,26	2150	11	68	0,08	0,01	0,02	0,6	1,6	3	0,8	2	0,038	6	0,4	0,75	1,53
69	15	5	146,93	7,09	18,05	1800	12	145	0,075	0,06	0,02	0,62	1,65	2,55	0,6	2,45	0,041	6,5	1,10	18,98	2,13
77	12	6	107,37	7,23	18,28	1850	12	92	0,075	0,06	0,02	0,62	1,65	2,55	0,6	2,45	0,04	6,5	0,32	8,03	0,48
81	27	6	39,65	7,16	18,27	2000	12	92	0,075	0,06	0,02	0,62	1,65	2,55	0,67	2,45	0,029	6,5	1,33	5,30	0,00
85	5	5	874,27	7,16	18,18	1395	11	140	0,08	0,06	0,02	0,6	1,6	2,5	0,7	2	0,044	6,3	0,37	6,39	0,15
90	27	6	35,32	7,21	18,21	1780	11	90	0,1	0,13	0,04	0,6	1	3,2	0,7	1,5	0,037	3	0,55	5,01	0,48
93	15	5	164,04	7,36	18,09	750	12	143	0,1	0,134	0,02	0,56	1,75	1,5	1,95	1,05	0,048	6,0	0,83	10,49	0,20
96	18	5	105,39	7,08	18,03	1300	11	119	0,1	0,126	0,04	0,64	1,04	3,2	0,71	1,34	0,04	3,0	0,61	1,78	0
100	5	5	453,54	7,3	17,65	1050	12	148	0,1	0,13	0,04	0,64	1	3,2	0,7	1,5	0,04	3	1,69	11,02	5,67
R ²	-0,583	-0,034	1	-0,13	-0,101	0,129	0,09	-0,19	-0,22	-0,50	-0,15	-0,16	-0,19	-0,344	-0,3	-0,276	0,447	0,189	-0,26	-0,14	-0,126

Март-начало апреля

Продолжение таблицы 1.

№ ст.	Глубина, м	Термклина, м	Толщина, м	Биомасса фитопланктона, мг/м ³	Температура воды, °С	Соленость воды, ‰	Глубина станции Н tot, м	Глубина залегания Н изоксигеня, м	НУВ, мг/л	Fe, мг/л	мкг/л							Биогены		
											Cr	Cu	Pb	Ni	Zn	Hg	As	NO ₂ , мг/л	NO ₃ , мг/л	P общ., мг/л
21	4	3	813,24	13,59	15,35	15	-	0,01	0,25	2	15	7	2,5	120	0,05	4	3,7	0,2	0,71	
23	18	12	6,83	11,78	17,89	35	-	5,27	0,214	1,86	13,96	6,48	2,23	115,14	0,046	3,44	1,02	2,65	1,85	
24	15	10	81,45	12,53	18,01	54	-	0,01	0,19	1,65	9	5,6	2	95	0,046	3	0,35	0,6	1,88	
35	11	4	152,48	14,32	17,96	1850	93	0	0,070	0,91	4,17	1,84	1,09	5,82	0,045	2,0	0,5	1,1	1,88	
39	15	10	18,96	9,5	17,92	33	-	0,01	0,17	1,5	10	5,2	1,9	90	0,048	2	1,3	0,2	0	
44	5	10	51,57	15,32	18,44	2150	62	0,01	0,08	1	5	3	1,3	60	0,048	2	0,63	2	0	
53	10	11	104,30	13,88	17,68	73	-	0,01	0,08	1	6	3,6	1,5	80	0,050	3,3	0,55	2,7	0	
55	11	10	89,84	13,95	18,36	2195	64	0	0,078	0,90	5,00	3,55	1,5	97,35	0,048	2,0	0,25	1,5	2,58	
65	15	10	56,84	12,52	17,46	70	-	0,06	0,08	1	5	3,4	1,4	75	0,052	5	0,8	0,9	0	
66a	10	5	58,72	13,19	17,81	42	-	0,01	0,055	1	5	2,6	1,2	45	0,054	7,7	0,7	0,7	1,88	
69	10	15	337,97	12,63	18,31	2190	47	0	0,06	1	4	2,8	1,25	55	0,048	5,5	0,4	2,5	0,86	
77	5	28	40,28	14,42	18,36	2160	71	0	0,05	1	3,5	2,25	1,2	32,5	0,050	7	0	5	0	
81	6	24	133,31	12,85	17,61	1450	121	0	0,025	0,72	3,22	1,5	0,88	4,53	0,056	10,5	0,8	2,5	0	
85	5	20	69,33	14,78	18,25	2120	72	0	0,06	1,3	4	2,6	1,45	30	0,037	4,5	0,4	1,6	0	
90	6	15	121,23	13,64	18,16	2010	70	0	0,09	1,9	4	3,3	1,7	27,5	0,028	2,5	0,3	3,3	1,17	
93	6	24	153,72	13,9	17,26	1480	121	0	0,020	0,57	2,78	1,5	2,41	5,18	0,040	3,5	0,6	5,1	2,12	
96	5	25	213,15	12,72	17,98	1650	93	0	0,144	2,83	2,62	4,68	1,6	47,74	0,012	1,0	0,1	1,7	2,12	
100	5	24	53,55	13,79	17,91	1375	163	0	0,05	1,4	2	1,5	1	20	0,01	1,0	0,7	2,1	3,29	
R ²	-0,61	-0,26	1	0,08	-0,794	-0,10	-0,24	-0,18	0,419	0,288	0,401	0,382	0,39	0,26	0,06	0,032	0,77	-0,22	-0,038	
Допустимые концентрации по (Коршенко и др., 2009)								0,05	0,05	1,00	5,00	10,00	10,0	50,0	0,100	10,0	-	-	-	-

Примечание: Репрезентативные параметры выделены жирным шрифтом.

Таблица 2.

Корреляция биотических характеристик верхнего перемешанного слоя с биомассой фитопланктона весной 1992 г.

№ ст.	Долгота	Широта	Биомасса фитопланктона, мг/м ³	Биомасса зоопланктона, мг/м ³			Биомасса фитопланктона, мг/м ³	Биомасса зоопланктона, мг/м ³		
				Эпи-	Бати-	Желе-образный		Эпи-	Бати-	Желе-образный
				Март				Май		
21	31	45,5	274,44	71,3	115,7	26,14	813,24	-	-	129,29
23	32,00	44,50	44,21	2,94	18,49	2,93	6,83	8,36	28,35	692,97
24	31,2	45	120,91	30,6	95,95	87,18	81,45	86,5	13,45	704,06
35	34,00	43,50	149,99	-	-	-	152,48	0,22	21,77	2596,19
39	30,33	45,8	162,1	15,03	37,53	0	18,96	98,47	41,13	1488,66
44	36	45	25,9	38,58	85,56	3068,49	51,57	0,23	0,49	5791,86
53	35	44,5	63,24	0,12	1,8	104,43	104,30	137,05	154,86	5996,03
55	36,00	44,50	40,63	0,00	70,89	98,98	89,84	1,98	7,32	373,25
65	36,5	44,5	17,6	0,05	83,22	452,98	56,84	207,28	11,28	958
66а	38	43,5	540,37	0,15	0,65	0	58,72	33,52	6,47	1024,56
69	38	44,28	146,93	0,71	96,86	788,95	337,97	0,8	0,22	1057,85
77	38	44	107,37	0,05	8,95	60	40,28	0,02	0,3	2542,47
81	39,00	43,00	39,65	0,32	26,02	206,83	133,31	0	13,22	12772,5
85	38,5	44,12	874,27	0,05	2,98	186,16	69,33	0,4	0,49	687,26
90	40	42,5	35,32	0,07	8,99	371,42	121,23	0	0,08	1022,97
93	39,00	43,85	164,04	0,29	44,49	1053,96	153,72	0,03	28,07	351,45
96	41,00	42,00	105,39	1,19	96,4	553,69	213,15	0,35	8,74	449,48
100	40,98	42,65	453,54	0	4,89	123,65	53,55	0	23,9	129,29
Коэффициент парной корреляции R ² с биомассой фитопланктона			1	-0,045	-0,36	-0,236	1	0,745	-0,113	-0,16

Примечание: Репрезентативные параметры выделены жирным шрифтом.

Жирным шрифтом выделены значимые нагрузки параметров. Совокупная дисперсия, объясненная этой факторной моделью, приведена в табл. 3. Распределение значимых параметров в факторном пространстве для верхнего перемешанного слоя весной 1992 г. изображено на рис. 2.

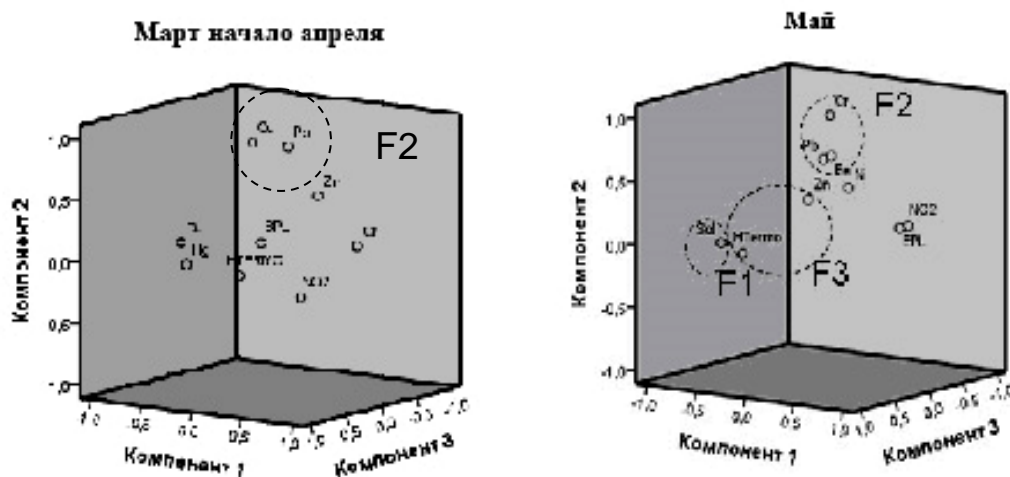


Рис. 2. Распределение значимых параметров в факторном пространстве для верхнего перемешанного слоя весной 1992 г.

Из табл. 3 и уравнений (1) следует, что воздействие концентраций ртути и хрома на дисперсию биомассы фитопланктона в ВПС в марте составило по 13,5%, но имело противоположную направленность. При этом следует отметить, что ртуть не была преобладающим поллютантом во всех слоях пелагиали (табл. 4) и ее содержание в воде нигде не превышало допустимую концентрацию (табл. 1). Медь и свинец в составе второго фактора в марте вносят еще по 12,5% в дисперсию биомассы фитопланктона в ВПС.

Таблица 3.

Объясненная факторными моделями совокупная дисперсия

Фактор	Процент объясненной дисперсии		Процент дисперсии после варимаксного вращения	
	Март-начало апреля	Май	Март-начало апреля	Май
1	38,16	57,63	27,20	37,59
2	19,00	20	25,31	29,02
3	16,66	11,53	21,30	22,55
Сумма	73,82	89,16	73,82	89,16

Таблица 4.

Преобладающие загрязнители в толще вод северной половины Черного весной 1992 г. и превышение их содержания допустимых концентраций по (Дзицкий и др., 2011, Dzitsky et al., 2012)

Март-апрель			Май			
Поверхностный микрослой (ПМС)						
Среднее, %	Fe	НУВ	Cr	Cr	Fe	НУВ
	231,0	205,0	72,5	390,0	377,3	205,0
Максимум, %	284,0	400,0	100,0	890,0	764,0	400,0
Верхний перемешанный слой (ВПС)						
Среднее, %	Fe	Cr	Cu	Fe	Cr	Zn
	241,7	137,0	45,6	109,3	104,5	83,8
Максимум, %	880,0	380,0	90,0	254,0	233,0	209,1
Слой термоклина						
Среднее, %	Fe	Pb	Cu	Fe	Cr	Cu
	164,0	108,0	164,0	191,3	104,5	57,0
Максимум, %	164,0	108,0	164,0	606,0	200,0	110,0
Слой от нижней границы термоклина до 100 м						
Среднее, %	Fe	Cu	Cr	Fe	Cr	Cu
	153,2	145,4	74,8	124,3	112,8	49,3
Максимум, %	482,0	547,0	123,0	334,0	180,0	78,0

Третий фактор определяется глубиной залегания термоклина, который ограничивает верхний перемешанный слой. Чем ниже он залегает, тем толще основной продуктивный слой ВПС и выше биомасса водорослей. Отсутствие в составе этого фактора биомассы рачкового планктона, по-видимому, объясняется активным его выеданием желетельми. На долю этих параметров приходится по 10,5% суммарной дисперсии биомассы фитопланктона. То есть, в марте мы наблюдали, что вклад антропогенного загрязнения в дисперсию биомассы микроводорослей составил в ВПС около 52,5%, на долю абиотических параметров приходится около 10,5 % и вклад биоты – еще 10,5%.

Ситуация в ВПС в мае описывается следующей факторной моделью:

$$B = 3,38 F_1 + 2,61 F_2 + 2,03 F_3, \quad (2)$$

$$F1 = -0,963 \text{ Sol} + 0,934 \text{ NO}_2 + 0,916 \text{ EPL} + 0,5 \text{ Ni} + 0,032 \text{ Cr} + 0,422 \text{ Fe} + 0,394 \text{ Pb} - 0,141 \text{ H Termo} + 0,374 \text{ Zn}$$

$$F2 = 0,969 \text{ Cr} + 0,761 \text{ Fe} + 0,742 \text{ Pb}$$

$$F3 = 0,941 \text{ H Termo} - 0,722 \text{ Zn} + 0,53 \text{ Pb},$$

где Sol – соленость воды в ВПС в ‰;
 NO₂ – концентрация нитритов в мкг·л⁻¹;
 EPL – биомасса эпипланктона в мг·м⁻³;
 H Termo – глубина залегания термоклина, м.

Из уравнений (2) и табл. 3 следует, что основными параметрами главного фактора, определяющего биомассу фитопланктона в ВПС в мае, являлись соленость воды и содержание в ней нитритов. Известна негативная реакция сообщества фитопланктона на распреснение поверхностных вод в мае из-за паводка крупных рек – Дуная, Днепра, Днестра, Буга. Повышенное содержание нитритов в мае по сравнению с мартом–началом апреля (табл. 1) объясняется выносом биогенов в море с этим паводком. Негативный эффект распреснения поверхностных вод на рост водорослей компенсировался возрастанием концентрации биогенов, но ограничивался, по-видимому, активным выеданием растительных клеток активно размножающимся в этот сезон эпипланктоном. Вклад солености, концентраций нитритов и эпипланктона оказался примерно равным – около 13% объясненной дисперсии биомассы фитопланктона (табл. 3).

Воздействие превалирующих загрязнителей – хрома и железа – проявилось в дополнительном втором факторе и оказалось сопоставимым с таковым свинца. Их суммарный вклад составил 23%.

Третий фактор определялся как глубиной залегания термоклина, так и негативным воздействием на биомассу водорослей (около 7%) еще одного превалирующего в ВПС металла – цинка (табл. 4).

Таким образом, на долю загрязнения ВПС в мае приходилось около 40% суммарной объясненной дисперсии биомассы фитопланктона, на абиотические параметры (соленость и глубина залегания термоклина) – в сумме около 23%, на пул биогенов (нитриты) – 13% и на биотические параметры (биомасса эпипланктона) – еще 13%.

Оценка вклада различных экологических факторов в суммарную дисперсию биомассы фитопланктона, рассчитанного на основании полученных многомерных статистических моделей, дана в табл. 5.

Таблица 5.

Оценка вклада экологических факторов различной природы в дисперсию биомассы фитопланктона северной половины Черного моря весной 1992 г.

Слой	Март-начало апреля 1992 г.				Суммарная объясненная дисперсия
	Антропогенный	Абиотический	Пул биогенов	Биота	
ПМС	49%	11%	19%	-	79,2%
ВПС	52,5%	10,5%	-	10,5%	73,82%
Термоклин	13%	40%	-	22%	74,97%
Ниже-50 м	22%	21%	-	20%	63,13%
Май 1992 г.					
ПМС	36%	26%	8%	7%	77,48%
ВПС	40%	23%	13%	13%	89,16%
Термоклин	35%	24%	17%	-	76,48%
Ниже-50 м	46%	34%	-	-	80,72%

Направленность совместного воздействия комплекса использованных параметров на обилие фитопланктона во всех основных слоях пелагиали северной части Черного моря весной 1992 г. по результатам факторного анализа представлена в табл. 6. Классификация загрязнения в таблице приводится по методике ГОИН (Коршенко и др., 2009) на основании оценки индекса загрязнения воды (ИЗВ) по результатам наших предыдущих работ (Дзицкий и др., 2011, Dzitsky et al., 2012).

Наиболее сильное антропогенное воздействие на сообщество фитопланктона, наблюдавшееся в марте-начале апреля (табл. 5), объясняется выносом как биогенов, так и поллютантов в деятельный слой пелагиали в результате зимней конвекции. Уровень развития ракообразного зоопланктона ранней весной еще невысок (табл. 2), выедание им микроводорослей в модели не было выявлено. Но, по-видимому, перезимовавшие популяции желетелых активно потребляли рачков во всех основных слоях пелагиали (уравнения 1, табл. 3, 6).

Ранее показано, что интенсивность биоседimentации в фотическом слое Черного моря на протяжении всего годового цикла 1992 г. в мае была максимальной (Самышев, 2009; Samyshev, Minkina, 2017). Поэтому эффект антропогенного загрязнения в этом месяце, несмотря на паводок рек, в верхних слоях пелагиали снижается из-за активного выведения поллютантов отмирающим фито- и бурно развившимся эпипланктоном (табл. 2). Эта ситуация нашла отражение и в появлении в составе главного фактора, действовавшего в поверхностных слоях моря, параметра биомассы эпипланктона, активно потреблявшего клетки водорослей.

Выводы

Основные слои пелагиали – поверхностный микрослой (ПМС), верхний перемешанный слой (ВПС), слой термоклина и слой ниже термоклина до 50 м – рассматриваются в данной работе как самостоятельные биотопы. Хотя по литературным данным уровень развития фитопланктона в 1992 г. в восточном районе незначительно превосходил среднегодулетние величины, а в северо-западном районе – был сопоставим с ними, выявлено повышение трофности ПМС в северо-восточной части моря и на северо-западе в слое термоклина до эвтрофного уровня в марте-начале апреля 1992 г. Слой пелагиали ниже термоклина до 50 м на северо-востоке можно охарактеризовать как мезотрофный-эвтрофный. Остальные водные массы в марте и вся акватория в мае характеризовались олиго- и мезотрофным уровнем развития фитопланктона.

Использование многомерного факторного анализа позволило оценить совместное влияние целого ряда стрессоров различной природы на сообщество микроводорослей. Показано чередование основных стрессоров в различные месяцы года. В марте таковыми являлись превалирующие в воде тяжелые металлы, в мае – понижение солености из-за распреснения поверхностных вод, связанных с паводком крупных рек – Дуная, Днепра, Днестра, Буга.

Результатами факторного анализа подтверждается известная негативная реакция сообщества фитопланктона в поверхностном микрослое (ПМС) и в верхнем перемешанном слое (ВПС) на распреснение поверхностных вод в мае из-за паводка крупных рек. Одновременно показана позитивная реакция на содержание в воде нитритов, смываемых в море с паводком.

Впервые выявлено синэргическое позитивное воздействие превалирующих в Черном море поллютантов – железа, хрома и меди на сообщество микроводорослей. Обнаружены негативная реакция сообщества фитопланктона на содержание в воде ртути в ВПС в марте и цинка в слое термоклина в мае. В марте обилие батиопланктона под термоклинном положительно коррелировало с обилием водорослей.

Таблица 6.
Направленность совместного воздействия комплекса использованных параметров на обилие фитопланктона в северной части Черного моря весной 1992 г. по результатам факторного анализа

Месяц	Слой моря	Класс загрязнения вод по (Дзицкий и др., 2011)	Fe	Cr	Cu	Pb	Ni	Zn	Hg	As	NO ₂	NO ₃	h ст.	h термо-клина	Толщина термо-клина	h H ₂ S	hO ₂	t°C	Sol	O ₂	BP _L	EP _L	BG
Март-начало апреля	ПМС	IV «Загрязненная»	+	+	(+)		+					(+)	-										
	ВПС	III «Умеренно загрязненная»		+	(+)	(+)			-				(+)	(+)									(+)
	Термо-клин	-											+	(+)	(+)	+						(+)	(+)
Май	Ниже термо-клина	III								+								-			+		(+)
	ПМС	V «Очень грязная»	+	(+)	+				(+)		+									-			+
	ВПС	III	(+)	(+)				(-)			+			(+)						-			+
	Термо-клин	III			+			-		(+)		(+)											
	Ниже термо-клина	III	+	+				+	+	(-)										(+)	(+)		

Примечания: “+” или “-” – направленность реакции сообщества фитопланктона; в скобках выделено направление воздействия, выявленных в составе дополнительных факторов; h ст – глубина станции; h термо-клина – глубина залегания термоклина; h H₂S – граница сероводородного слоя; hO₂ – глубина изоксигены 1 мл/л; t°C – средневзвешенная температура в слое; Sol – средневзвешенная солёность в слое; O₂ – средневзвешенная концентрация кислорода в слое; BP_L, EP_L, BG – средневзвешенные биомассы бати-эпи-желтелого планктона в слое соответственно.

В мае в поверхностных слоях такая связь проявилась с обилием эпи- и желетелого планктона.

Впервые выполнена оценка суммарного вклада экологических факторов различной природы – абиотических, антропогенных, пула биогенов и биотических – на состояние сообщества фитопланктона. Наиболее сильное антропогенное воздействие на сообщество фитопланктона, наблюдавшееся в марте-начале апреля, связано с выносом биогенов и поллютантов в деятельный слой пелагиали в результате зимней конвекции. В мае эффект антропогенного загрязнения снижался в верхних слоях пелагиали из-за активного выведения поллютантов отмирающим фито- и эпиланктоном.

Влияние комплексного загрязнения моря на функционирование сообщества фитопланктона в пределах временного интервала исследований порядка месяца может быть более значимым, чем воздействие гидрологических и гидрохимических параметров. Поэтому в комплексных гидробиологических исследованиях необходимо планировать измерения параметров загрязнения морской среды и гидробионтов.

Список литературы

1. Арашкевич Е.Г., Луптова Н.Е., Никишина А.Б., Паутова Л.А., Часовников В.К., Дриц А.В., Подымов О.И., Романова Н.Д., Станичная Р.Р., Зацепин А.Г., Куклев С.Б., Флинт М.В. Судовой экологический мониторинг в шельфовой зоне Черного моря: оценка современного состояния пелагической экосистемы // *Океанология*. – 2015. – Т. 55(6). – С. 964–970.
2. Белогорская Е.В., Кондратьева Т.М. Распределение фитопланктона в Черном море. – Киев: Наукова думка, 1965. С. 36–68.
3. Брянцева Ю.В. Изменчивость структурных характеристик фитопланктона в Черном море: дисс. ... канд. биол. наук. Спец. 03.00.17 – Гидробиология. – Севастополь: Ин-т биологии южных морей им. А.О. Ковалевского НАН Украины, 2000. – 171 с. (Рукописн.).
4. Брянец В.А., Брянцева Ю.В. Многолетние изменения в фитопланктоне глубоководной части Черного моря в связи с естественным и антропогенным факторами // *Экология моря*. – 1999. – № 49. – С. 24–28.
5. Брянцева Ю.В., Брянец В.А., Ковальчук Л.А., Самышев Э.З. К вопросу о долгосрочных изменениях биомассы диатомовых и перидиниевых водорослей Черного моря в связи с атмосферным переносом // *Экология моря*. – 1996. – Вып. 45. – С. 13–18.
6. Бурева Н.Н. Многомерный статистический анализ с использованием ППП “STATISTICA”. – Нижний Новгород, 2007. – С. 46–60.
7. Георгиева Л.В. Видовой состав и динамика фитоценоза // *Планктон Черного моря / Отв. ред. А.В. Ковалев, З.З. Финенко*. – Киев: Наукова думка, 1993. – С. 31–55.
8. Грузов Л.Н., Люмкис П.В., Нападковский Г.В. Исследования пространственно-временной структуры планктонных полей северной половины Черного моря в 1992–93 гг. / *Исследование экосистемы Черного моря: Сб. науч.тр.* (Министерство охраны окружающей природной среды Украины, Укр. науч. Центр экологии моря). – Вып.1. – Одесса, 1994. – С. 94–127. *Исследование экосистемы Черного моря: Сб. науч.тр.* (Министерство охраны окружающей природной среды Украины, Укр. науч. Центр экологии моря). – Вып.1. – Одесса, 1994. – С. 94–127.
9. Денга Ю.М., Зарубин Ю.В., Трескунов Б.О. Загрязнение морской среды и приповерхностной атмосферы Черного моря нефтью и нефтепродуктами / *Исследование экосистемы Черного моря: Сб. науч.тр.* (Министерство охраны окружающей природной среды Украины, Укр. науч. Центр экологии моря). – Вып.1. – Одесса, 1994. – С. 24 – 29.

10. Демидов А. Б. Сезонная изменчивость и оценка годовых величин первичной продукции фитопланктона в Черном море // *Океанология*. – 2008. – Т. 48. № 5. – С. 718–733.
11. Дзицкий В.С., Минкина Н.И., Орлова И.Г., Самышев Э.З. Комплексная оценка загрязненности вод Черного моря в 90-е годы прошлого столетия // *Системы контроля окружающей среды. Средства, модели и мониторинг: Сб. науч. тр. / НАН Украины. Морской гидрофизический ин-т*. – Севастополь, 2011. – Вып. 15. – С. 265–273.
12. Зайцев Ю.П. Введение в экологию Черного моря. – Одесса: Эвен, 2006. – 224 с.
13. Исследование экосистемы Черного моря: сб. науч. тр. (Министерство охраны окружающей природной среды Украины, Укр. науч. Центр экологии моря) / ред. В.Н. Мединец. – Вып. 1. – Одесса, 1994. – 158 с.
14. Коршенико А.Н., Матвейчук И.Г., Плотникова Т.И., Удовенко А.В. Качество морских вод по гидрохимическим показателям. – Ежегодник федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. – Обнинск: изд-во ГОИН. – 2009. – 13 с.
15. Крашенинникова С.Б., Минкина Н.И., Самышев Э.З., Шокурова И.Г. Влияние комплекса факторов среды на биомассу фитопланктона и зоопланктона в Черном море в весенний период // *Экология и строительство*. – 2019. – № 4. – С. 14–21.
16. Кривенко О.В., Пархоменко А.В. Пространственная и временная изменчивость биомассы фитопланктона в Чёрном море за период 1948–2001 гг. // *Морской экологический журнал*. – 2010. – Т. 9, № 4. – С. 5 – 24.
17. Маштакова Г.В., Самышев Э.З. Структура планктонных сообществ в Черном море и её изменения в 1960–1983 гг. // *Исследования экосистемы пелагиали Черного моря*. – М.: изд-во ИОАН, 1986. – С. 238–240.
18. Мединец В. И., Колосов А. А., Колосов В. А. Токсичные металлы в морской среде // *Исследование экосистемы Черного моря: Сб. науч. тр. (Министерство охраны окружающей природной среды Украины, Укр. науч. Центр экологии моря)*. 1994. Вып. 1. С. 47–53.
19. Мединец В.И., Грузов Л.Н., Орлова И.Г., Василева В.Н., Попов Ю.И. Исследование годового цикла основных элементов экосистемы северной части Черного моря // *Исследование экосистемы Черного моря: Сб. науч.тр. (Министерство охраны окружающей природной среды Украины, Укр. науч. Центр экологии моря)*. – Вып.1. – Одесса, 1994. – С. 12-16.
20. Минкина Н.И., Самышев Э.З., Минкин С.И. Совместное влияние гидрологических условий, пула биогенов и уровня загрязнения весной на обилие фитопланктона в северной половине Черного моря // *Современные методы и средства океанологических исследований (МСОИ-2019): материалы XVI Межд. научно-техн. конф. (Москва, 15-17 мая 2019 г.)*. Том II. – М.: ИД Академия Жуковского, 2019. – С. 232–235.
21. Осипов В.А. Зависимость флуоресцентных параметров микроводорослей от факторов среды, включая антропогенное загрязнение. – Автореф. дисс. на соиск. уч. степени канд. биол. наук. Спец. 03.00.16 – экология, 03.00.02 – биофизика. – М.: Московский гос. университет им. М.В. Ломоносова, 2006. – 22 с.
22. Самышев Э.З. Содержание взвешенного органического вещества и интенсивность его седиментации в фотическом слое вод Черного моря // *Системы контроля окружающей среды. Средства, информационные технологии и мониторинг: Сб. науч. тр. / НАН Украины. МГИ*: – Севастополь, 2009. – С. 352-359.
23. Сеничева М.И. Сезонная динамика фитопланктона в районе Карадага // *Карадаг. Гидробиологические исследования. Сб. научн. Тр., посвященный 90-летию Карадагской научной станции им. Т.И. Вяземского и 25-летию Карадагского природного заповедника. Книга 2-я*. – Симферополь: СОНАТ, 2004. – С. 55–62.

24. Смоляков Б.С., Жигула М.В. Экологические последствия трансформации химических форм металлов-поллютантов в реальном пресном водоёме //Химия в интересах устойчивого развития. – 2001. – №9. – С. 283–291.
25. Смоляков Б.С., Рыжих А.П., Романов Р.Е. Поведение Сб, Рб и Сd в пресном водоёме: влияние минеральных взвешенных частиц и планктонных организмов // Химия в интересах устойчивого развития. – 2010. - № 18. – С. 603-613.
26. Совга Е.Е. Загрязняющие вещества и их свойства в природной среде. – Морской гидрофиз. ин-т НАНУ, ЧФ МГУ им. М.В. Ломоносова. – Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2005. – 237 с.
27. Стельмах Л.В., Куфтаркова Е.А., Бабич И.И. Сезонная изменчивость скорости роста фитопланктона в прибрежных водах Чёрного моря (район Севастополя) // Морской экологический журнал. 2009. Т. 8, № 1. С. 67 – 80.
28. Borysova O., Kondakov A., Paleari S., Rautalahti-Miettinen E., Stolberg F., Daler D. Eutrophication in the Black Sea region; Impact assessment and causal chain analysis // Global International Waters Assessment (GIWA) / Published by the University of Kalmar with an agreement with the GEF-UNDP Black Sea Ecosystem Recovery Project. – 2005. – Univ. of Kalmar (Sweden). – P.33.
29. Crain C., Halpern B., Kroeker K.J. Interactive and cumulative effects of multiple stressors in marine systems // Ecology Letters. – 2008. – N 11. – P. 1304–1315
30. Dzitsky V.S., Minkina N.I., Orlova I.G., Samyshev E.Z. The seawater pollution survey in the northern Black Sea // Turkish Journal of Fishery and Aquatic Sciences. – 2012. – Vol. 12. – P. 507–522.
31. Kubryakov A.A., Stanichny S., Zatsepin A.G., Kremenetskiy V.V. Long-term variations of the Black Sea dynamics and their impact on the marine ecosystem // Journ. of Marine Systems. – 2016. – Vol. 163. – P. 80–94.
32. Mikaelyan A.S., Zatsepin A.G., Chasovnikov V.K. Long-term changes in nutrient supply of phytoplankton growth in the Black Sea // J. of Mar. Sys. – 2013. – Vol. 117–118. – P. 53–64.
33. Newhose Y. Daily euphotic zone primary productivity «Pionner» cruise of the international Indian Ocean expedition // Arch. Oceanogr. Limnol. – 1968. – Vol. 16. P. 1–43.
34. Oguz T. Black Sea ecosystem response to climatic teleconnections // Oceanography. – 2005. – Vol. 18, N 2. – P. 122–133.
35. Samyshev E.Z., Minkina N.I. The seasonal variability and sedimentation rate of suspended matter in photic layer of the Black Sea // Environment and Ecology Research. – Horizon Res. Publishing, USA, 2017. – V. 5(3). – P. 226-234. doi: 10.13189/eer.2017.050308.

**ABUNDANCE OF PHYTOPLANKTON IN THE NORTHERN HALF OF THE
BLACK SEA DURING SPRING IN THE RATIO TO UNITED IMPACT OF
HYDROLOGICAL CONDITIONS, POOL OF BIOGENS AND LEVEL OF
CONTAMINATION**

Minkina N.I.

*A.O.Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russian Federation,
e-mail: niminkina@yandex.ru*

By retrospective data with use of the factor analysis the combined impact of abiotic, anthropogenous and biotic parameters of environment on the abundance of phytoplankton in the main layers of the north part of the Black sea pelagial in spring (March, May) in 1992 is estimated. The results of factor analysis confirm the known negative response of the community of phytoplankton on superficial waters desalining in May because of the flood of major rivers: Danube, Dnieper, Dniester, Bug. The abundance of bathyplankton under thermocline positively correlated with the biomass of microalgae in March. In May in superficial layers such relation showed up with the abundance of epi- and gelatinous plankton. Synergic positive influence of prevalent pollutants (Fe, Cr and Cu) on the biomass of

phytoplankton is revealed. It is shown that impact of complex contamination of the sea on functioning of community of phytoplankton within the limits of monthly researches can be more meaningful, than influence of hydrological and hydrological parameters.

Keywords: the Black Sea, spring, abundance of phytoplankton, abiotic and biotic parameters of environment, biogens, contamination, the factor analysis, combined impact.

Минкина Наталья Иосифовна Кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, ведущий научный сотрудник отдела функционирования морских экосистем, ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН», e-mail: niminkina@yandex.ru

Поступила в редакцию 15.03.2020 г.

УДК 594.1:627

МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА ОБИЛИЯ МОЛЛЮСКОВ-ФИЛЬТРАТОРОВ *MYTILASTER LINNEATUS* НА ГИДРОТЕХНИЧЕСКОМ СООРУЖЕНИИ*

Соловьёва О.В.

ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН»,
г. Севастополь, Российская Федерация,
e-mail: kozl_ya_oly@mail.ru

Проведено исследование пространственной и временной изменчивости обилия и масс-размерных характеристик поселений моллюска *Mytilaster lineatus* (Gmel., 1790) за период с 2005 по 2018 гг. на примере крупного гидротехнического сооружения прибрежной зоны г. Севастополя. Плотность поселения митилястеров на подводной части набережной Севастопольской бухты в период с 2005 по 2018 гг. варьировала в диапазоне от 293 ± 115 до 51562 ± 7120 экз.·м⁻². Биомасса имела широкий диапазон колебаний и составляла от 9 ± 3 до 3400 ± 3222 г·м⁻². В 2009 г. были отмечены пониженные показатели обилия митилястеров. Исследование достоверности пространственного изменения плотности поселения, и их биомассы не показало значимых изменений исследуемых величин. Обнаруженные в период исследования митилястеры можно отнести к размерным группам от 1 до 30 мм, что может свидетельствовать об относительно благоприятных условиях для обитания данного вида.

Ключевые слова: *Mytilaster lineatus*, гидротехнические сооружения, многолетняя динамика, Чёрное море.

Введение

Митилястер (*Mytilaster lineatus* Gmel., 1790) является массовым обитателем прибрежных зон Чёрного моря. Его поселения имеют максимальную плотность на небольших глубинах. Отдельные экземпляры встречаются на глубине 30–40 м. Эпизодические находки указаны для 50–70 м (Митилиды..., 1990). В публикациях последних лет указывается на доминирование этого вида на твёрдых субстратах как крымского побережья (Макаров, Ковалева, 2017; Ковалёва и др., 2012), так и кавказского (Макаров, Ковалева, 2018). На искусственных субстратах Севастопольской зоны побережья Крымского полуострова также нередко встречается доминирование митилястеров (Соловьёва, 2019). Их преобладание отмечено и на турецком побережье Чёрного моря (Çulha, at al., 2007). Таким образом, в настоящее время на твердых субстратах прибрежной зоны Чёрного моря митилястеры повсеместно образуют массовые поселения. Благодаря своему обилию, этот моллюск-фильтратор создаёт мощный биофильтр, способствующий улучшению качества прибрежных вод.

В литературе указывается на большую стабильность поселений митилястеров, относительно родственного вида – мидии. При этом всё же наблюдаются изменения показателей его обилия (Ковалёва и др., 2012).

В севастопольском регионе митилястеры образуют массовые поселения на гидротехнических сооружениях (Соловьёва, 2019). Вероятно, они, а также связанные с ними биофильтры, также претерпевают временную трансформацию, отмеченную для поселений митилястеров на естественных скалах (Ковалёва и др., 2012). Эти явления могут быть связаны с воздействием ряда факторов абиотической, биотической и антропогенной природы (McQuaid at al., 2015; Говорин, Шаццлло, 2012; Ковалёва и др., 2012).

* Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ ИнБЮМ по теме «Молисмологические и биогеохимические основы гомеостаза морских экосистем» (№ гос. регистрации АААА-А18-118020890090-2).

Целью работы стало исследование пространственной и временной изменчивости обилия и масс-размерных характеристик поселений моллюска *Mytilaster lineatus* (Gmel., 1790) на примере крупного гидротехнического сооружения прибрежной зоны г. Севастополя.

Материалы и методы

Материал собран на семи станциях, расположенных вдоль набережной Севастопольской бухты, между мысами Николаевским и Хрустальным (рис. 1). Пробы были отобраны в результате семи съёмок: в июне 2005, 2009, 2010, 2015, 2016, 2017 и 2018 гг. ручным скребком с глубины 0,5–1 м. В 2010 г. материал отбирался только на ст. 2. В 2005 г. пробоотбор производился на площадке 25×25 см в пяти проворностях, и 16×16 см в трёх повторах – при последующих работах. Таким образом, общее число проб, собранных на семи станциях, составило 143.

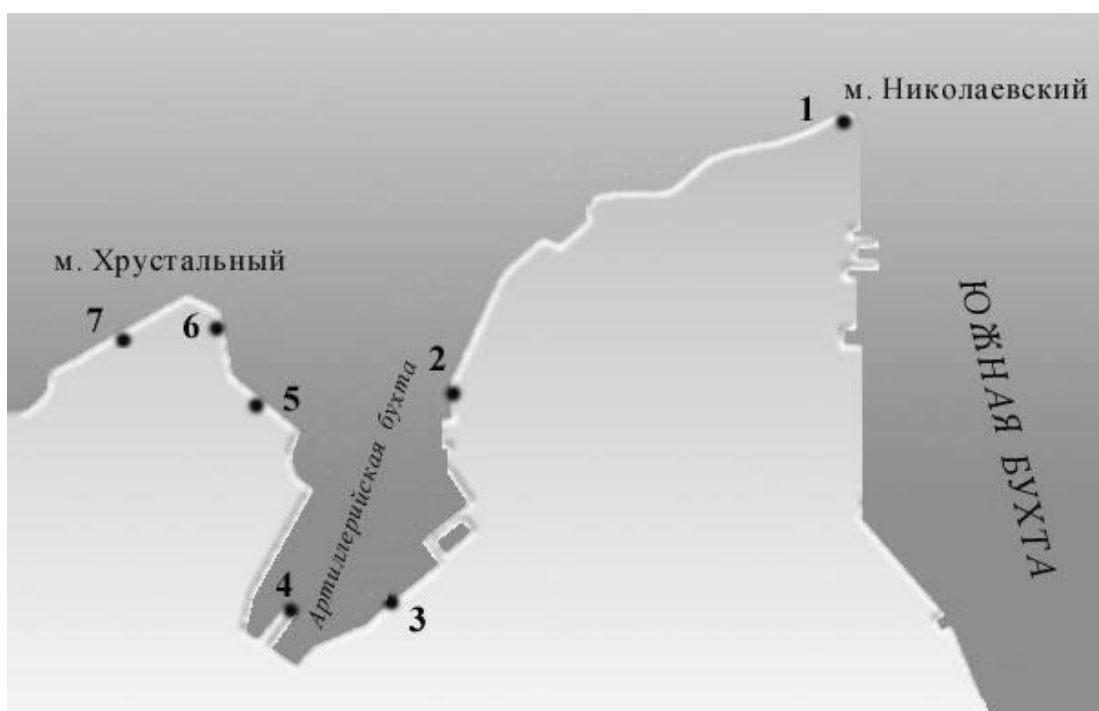


Рис. 1. Схема отбора проб на набережной Севастопольской бухты

Из образцов обрастания, собранных с поверхности набережной Севастопольской бухты, отбирали митилиастеров. Далее их измеряли штангенциркулем (точность 0,1 мм) и разделяли на размерные группы: [1–10), [10–20), [20–30] мм («[» – закрытый интервал; «(» – открытый в интервал). Индивидуальные размеры моллюсков в ходе работ не регистрировали. Особей мельче 1 мм не учитывали. После удаления жидкости из створок моллюсков их взвешивали на весах OHAUS SPX222 (точность 0,01 г).

В качестве показателя варьирования плотности поселения и биомассы митилиастеров использовали ошибку среднего. Проверка нормальности данных показала негауссовский характер распределения исследуемых величин. Для дальнейшей статистической обработки данные нормализовались логарифмированием по основанию 10 (Lg). Для проверки достоверности гипотезы о межгодовой и пространственной изменчивости плотности поселения и биомассы моллюсков использовали двухфакторный дисперсионный анализ ANOVA (factorial main effect ANOVA). Парное сравнение данных о плотности поселения и биомассы митилиастеров в различные годы и на различных участках набережной производили по

критерию достоверно значимой разности Тьюки (Tukey's HSD test). Различия считались статистически достоверными при уровне значимости 0,05. Обработка данных производилась с помощью программных пакетов Microsoft Excel и Statistica 12.

Результаты и обсуждение

Плотность поселения митилястеров варьировала от 293 ± 115 до 56484 ± 7120 экз.·м⁻² (рис. 2). В 2015 г. на отдельных станциях отмечена тенденция к росту данного показателя по сравнению с предыдущими годами. В 2016 г. высокая плотность митилястеров наблюдалась практически на всех станциях. На следующий год следовал тренд к снижению (относительно предыдущего) на 4-х из 7-и исследуемых участков набережной (рис. 2). Таким образом, мы наблюдаем флуктуации плотности поселения митилястеров, которые достигают порядка величин и, вероятно, носят естественный характер. Особенно выражены колебания были на станциях с высокими показателями удельной численности (ст. 4–7). На участках, где моллюсков было мало, изменение плотности их поселений было не столь выраженным.

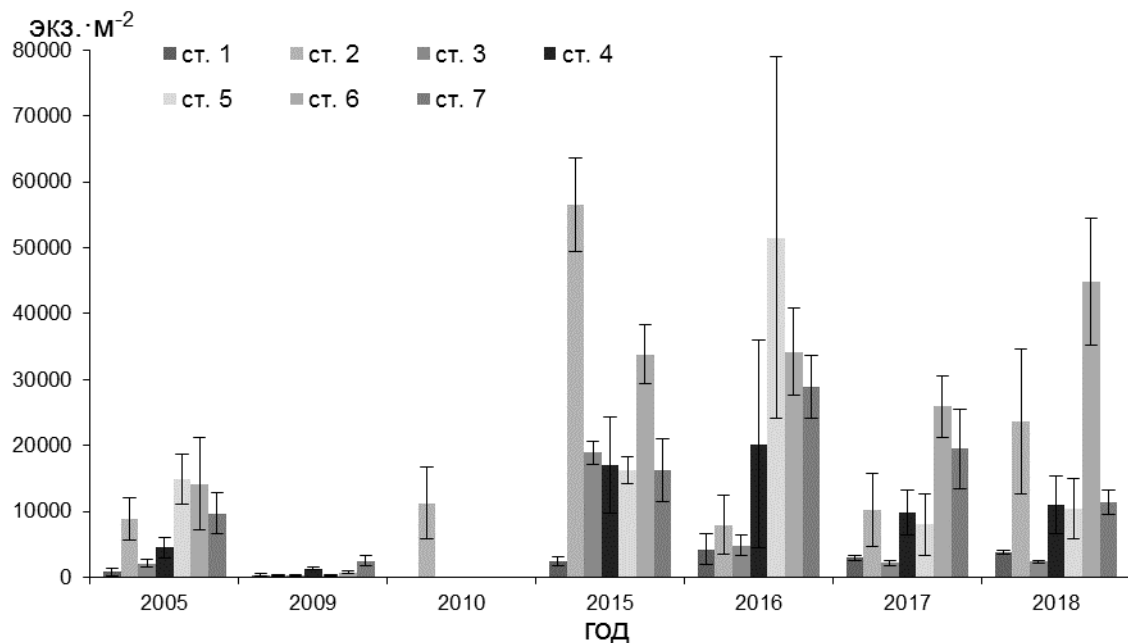


Рис. 2. Плотность поселения митилястеров (с указанием ошибки среднего) на набережной Севастопольской бухты в период 2005–2018 гг. (экз.·м⁻²)

Биомасса митилястеров в период с 2005 по 2018 гг. имела широкий диапазон колебаний и составляла от нескольких граммов до 3,4 кг на единицу площади (рис. 3). В пределах отдельных станций колебания также доходили до 2-х порядков (ст.2, ст. 3, ст.6). Наибольшими показателями выделялись ст. 5–7. Хотя, в отдельные периоды максимум биомассы наблюдался на ст. 2 (2015 г., 3223 ± 777 г·м⁻²) и ст. 3 (2017 г., 3400 ± 3222 г·м⁻²). В целом за период исследования наименьшие показатели обилия наблюдались на ст. 1 (в среднем 242 ± 68 г·м⁻²), не многим больше – на ст. 2.

Митилястеры имели длину от 0 до 30 мм (рис. 4). В 2009 и 2018 гг. особи крупнее 20 мм не выявлены. На протяжении всего периода исследования большая доля приходилась на молодь до 10 мм (от 60 % в 2009 до 91 % в 2005 г.).

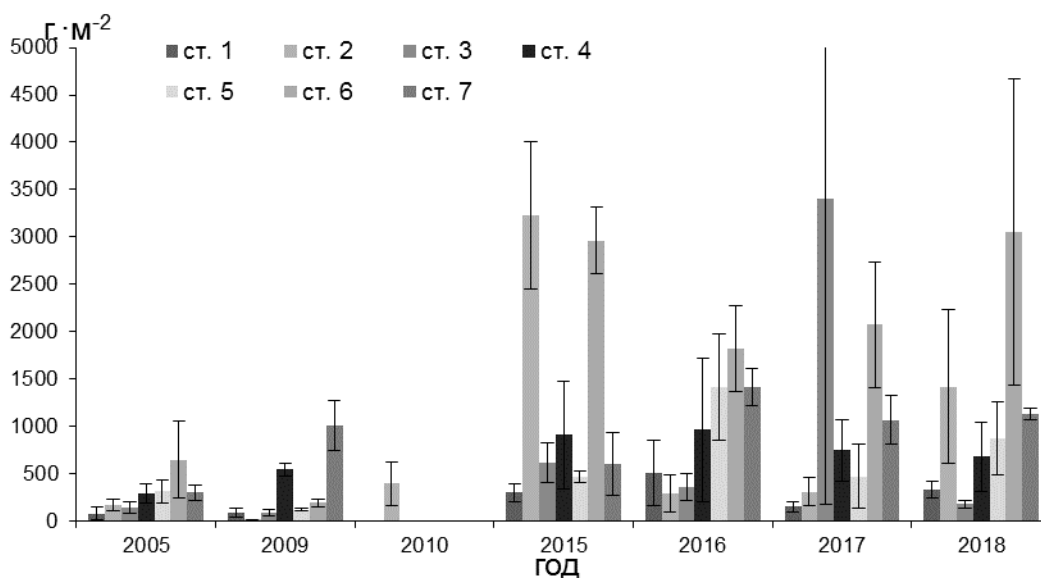


Рис. 3. Биомасса митилястеров (с указанием ошибки среднего) на набережной Севастопольской бухты в период 2005–2018 гг. (г·м⁻²)

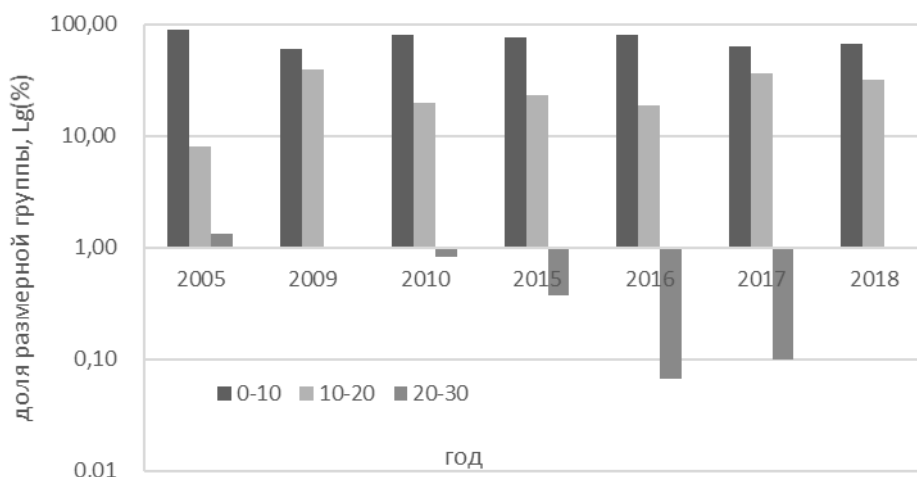


Рис. 4. Усреднённый размерный состав митилястеров на набережной Севастопольской бухты в период 2005 – 2018 гг., %

Плотность поселения моллюсков имела широкий размах, что характерно для поселений митилястеров, которым присуща пятнистость (Митилиды..., 1990). Это зачастую понижает надёжность результата сравнения такого рода данных. Проведённый двухфакторный дисперсионный анализ показал значимое влияние расположения станций и времени пробоотбора (табл. 1) на плотность поселений митилястера на исследуемом объекте. Совместное действие указанных факторов на плотность поселения митилястеров не выявлено, что делает возможным попарное сравнение характеристик поселения моллюсков по каждому из факторов. Такого рода анализ показал отсутствие значимых отличий удельной численности митилястеров на различных участках набережной (рис. 5 А) и наличие её межгодовой динамики (рис. 5 Б). Сравнение плотности поселения моллюсков в различные годы показало, что среди других, пониженными показателями численности митилястеров на единицу поверхности гидротехнического сооружения достоверно выделялся 2009 г.

Таблица 1.

Результаты дисперсионного двухфакторного анализа влияния места и времени сбора на плотность поселения и биомассу митилястера.

фактор	SS	dF	MS	F	p
Станция пробоотбора	2,8594	6	0,4766	3,398	0,011193
Год пробоотбора	4,2448	5	0,8490	6,052	0,000549
Станция пробоотбора*год пробоотбора	4,2080	30	0,1403	1,000	0,500000
				плотность поселения	
Станция пробоотбора	4,3019	6	0,7170	10,499	0,000003
Год пробоотбора	9,8255	5	1,9651	28,775	0,000000
Станция пробоотбора*год пробоотбора	2,0488	30	0,0683	1,000	0,500000

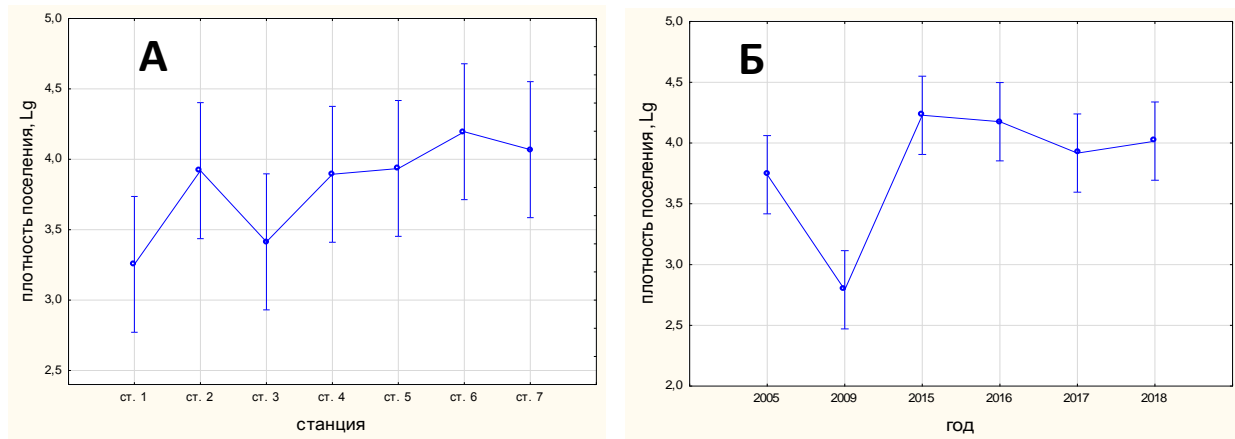


Рис. 5. Скорректированные средние геометрические логарифмы плотностей поселений митилястеров (в качестве показателя варьирования признака указан доверительный интервал при $p=0,95$) на набережной Севастопольской бухты в период 2005–2018 гг. (А – пространственная изменчивость; Б – временная изменчивость)

Отмечено значимое влияние расположения станций и времени пробоотбора (табл. 1) на биомассу митилястеров. Оценка совместного действия исследуемых факторов на плотность поселения данного вида моллюсков, показала отсутствие достоверного взаимодействия действия этих параметров, что делает возможным попарное сравнение исследуемых параметров по каждому из факторов. Это сравнение не позволило получить данные о наличии пространственной изменчивости биомассы (рис. 6 А). Биомасса моллюсков на протяжении периода исследования не имела достоверных колебаний. Исключением был 2009 г., когда она была достоверно ниже таковой в 2015–2018 г. (рис. 6 Б).

Таким образом, в 2009 г. были отмечены пониженные показатели обилия митилястеров. Одним из объяснений этого факта могут быть разрушительные последствия катастрофического шторма, случившегося в ноябре 2007 г., в результате которого набережная была повреждена, а макрообрастание на её поверхности практически уничтожено (Соловьёва, 2015). Из рис. 6 видно, что в 2009 г отсутствовали моллюски, крупнее 20 мм, отмеченные ранее, и в последствии обнаруженные в 2015 г. Возможно, что к 2009 г. поселение митилястеров, уничтоженное в 2007 г., не завершило своё восстановление.

В благоприятных местообитаниях митилястеры образуют многолетние поселения [Митилиды..., 1990]. Поэтому, наличие особей, переживших первый год жизни, можно полагать признаком благополучно функционирующего поселения данного вида.

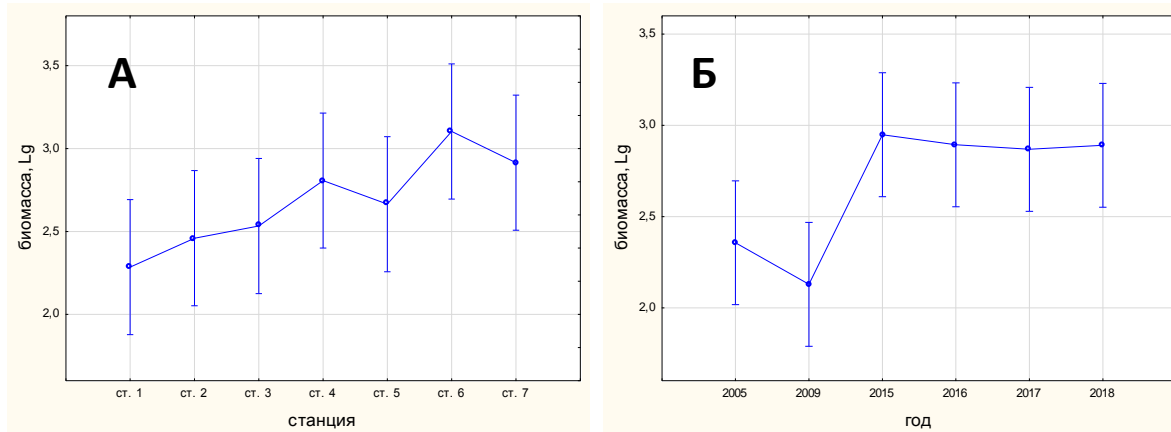


Рис. 6. Средние геометрические логарифмы биомасс митилястеров (в качестве показателя варьирования признака указан доверительный интервал при $p=0,95$) на набережной Севастопольской бухты в период 2005-2018 гг. (А – пространственная изменчивость; Б – временная изменчивость).

Как указано в работе [Митилиды..., 1990], у митилястера регистрирующие структуры раковины не являются надёжными для установления возраста. Поэтому, для его определения авторы нередко используют размерную структуру популяции. По ней, зачастую, можно судить о благополучии поселения. Известно, что в условиях прибрежных акваторий Чёрного моря данный вид достигает длины 10 мм в возрасте около 1–2-х лет. По данным (Ревков, 1984; Ревков, 1989) в севастопольских бухтах при достижении моллюсками 10 мм происходит полное созревание гонад. Поэтому, можно предполагать, что наличие митилястеров крупнее 10 мм говорит о функционировании многолетнего размножающегося поселения митилястеров. Следует отметить, что по нашим наблюдениям, особи длиной более 20 мм редко встречаются в условиях бухт Севастополя, и их наличие также должно демонстрировать позитивность условий обитания для данного вида. Судя по размерам, на подводной части набережной Севастопольской бухты возраст отдельных особей превышал 1–2 года, что свидетельствует о достаточно благоприятных условиях для обитания митилястеров.

Сравнение данных о показателях обилия митилястеров на набережной Севастопольской бухты со скалами открытых участков побережья Крыма показало, что поселения митилястеров на искусственном субстрате в условиях Севастопольской бухты были в целом менее обильными, чем на скалах заповедного побережья Карадага. В районе Карадага в 2009–2012 гг. биомасса митилястеров составляла порядка $1043\text{--}2054 \text{ г}\cdot\text{м}^{-2}$, при плотности поселения $14575 \text{ экз}\cdot\text{м}^{-2}$ (Ковалёва и др., 2012). На исследуемом гидротехническом сооружении в указанный период средние показатели численности колебались от 862 ± 313 до $11285\pm 5487 \text{ экз}\cdot\text{м}^{-2}$, а биомасса составляла от 151 ± 76 до $394\pm 512 \text{ г}\cdot\text{м}^{-2}$. Таким образом, имеет место тенденция, заключающаяся в том, что в условиях Севастопольской бухты на искусственном субстрате поселения митилястера не столь обильны как в открытой части побережья на скалах Карадагского заповедника.

Выводы

1. Плотность поселения митилястеров на подводной части набережной Севастопольской бухты в период с 2005 по 2018 гг. варьировала в диапазоне от 293 ± 115 до $56484\pm 7120 \text{ экз}\cdot\text{м}^{-2}$. Однако статистически значимых межгодовых различий в плотности поселения митилястеров обнаружено не было. Исключением был 2009 г., когда зафиксирована пониженная плотность поселения исследуемого вида. Различия в

плотности поселения моллюсков на различных участках исследуемого сооружения не были подтверждены статистически.

2. Биомасса митилястеров в период с 2005 по 2018 гг. имела широкий диапазон колебаний и составляла от 9 ± 3 до 3400 ± 3222 г·м⁻². Статистически достоверных данных о наличии пространственной и межгодовой (за исключением 2009 г) изменчивости биомассы митилястеров в поверхностном горизонте подводной части набережной не получено. При этом, как и для плотности поселения 2009 г выделялся низкими значениями данного параметра.

3. Обнаруженные в период исследования митилястеры можно отнести к размерным группам от 1 до 30 мм. Судя по размерам, возраст отдельных особей превышал 1–2 год, что может свидетельствовать об относительно благоприятных условиях для обитания данного вида.

Список литературы

1. Говорин И.А., Шаццло Е.И. Перифитонные поселения мидий *Mytilus galloprovincialis* (Lamarck, 1819) и митилястера *Mytilaster lineatus* (Gmelin, 1791) в условиях аномально высокой температуры прибрежных морских вод // *Ruthenica*. 2012. vol. 22. No. 2. С. 101–110.
2. Заика В.Е., Валовая Н.А., Повчун А.С. и др. Митилиды Чёрного моря. Киев: Наук. Думка. 1990. 208 с.
3. Ковалёва М.А., Болтачёва Н.А., Костенко Н.С. Многолетняя динамика состояния поселения *Mytilidae* скалах Карадага (Чёрное море) // *Морской экологический журнал*. No 2. Т. XI. 2012. С. 39–43.
4. Макаров М.В., Ковалева М.А. Структура таксоценоза Mollusca на естественных твёрдых субстратах в акваториях охраняемых районов Крыма // *Экосистемы*. 2017. Вып. 9. С. 20–24.
5. Макаров М.В., Ковалева М.А. Таксоценоз Mollusca обрастаний естественных твердых субстратов в акватории государственного природного заповедника Утриш (Черное море) // *Биологическое разнообразие Кавказа и юга России: материалы XX юб. междунар. науч. конф.* / Махачкала, 6-8 ноября, 2018 г. Махачкала: Тип. ИПЭ РД. 2018. С. 594-596.
6. Ревков Н.К. Рост и размножение *Mytilaster lineatus* у Крымского побережья Черного моря // *Рациональное использование ресурсов моря – важный вклад в реализацию продовольственной программы* / Севастополь, 1984: ИнБЮМ АН УССР. – Ч. 2. – С. 268-275. – Деп. в ВИНТИ 16.04.85, № 2556-85 Деп.
7. Ревков Н.К. Рост, размножение и структура популяций *Mitilaster lineatus* (Gmel.) и *Modiolus phaseolinus* (Phil.) в Черном море: Автореф. дис. ... канд. биол. Наук. Севастополь, 1989. 25 с.
8. Соловьёва О.В. Восстановление митилидного обрастания гидротехнического сооружения в условиях Севастопольской бухты (Чёрное море) // *Вестник Удмуртского университета*. 2015. Т. 25. № 3. С. 70.
9. Соловьёва О.В. Митилидное обрастание отдельных гидротехнических сооружений в прибрежных акваториях Севастополя (Крым, Черное море) // *Экология и строительство*. 2019. № 2. С. 27–34. doi: 10.35688/2413-8452-2019-02-004.
10. Çulha M., Bat L., Türk-Çulha S., Yeşim-Çelik M. Benthic mollusk composition of some facies in the upper-infralittoral zone of the southern Black Sea, Turkey // *Turk. J. Zool*. 2010; 34: 523–32.
11. McQuaid C.D., Porri F., Nicastro K.R. and oth. Simple, scale-dependent patterns emerge from very complex effects – an example from the intertidal mussels *Mytilus*

Galloprovincialis and *Perna Perna* // Oceanography and Marine Biology: An Annual Review. 2015. 53. 127–156.

**LONG-TERM DYNAMICS OF ABILITY OF FILTER-FEEDER MOLLUSCS
MYTILASTER LINNEATUS ON A MARITIME WORKS**

Soloveva O. V.

*A.O.Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russian Federation,
e-mail: kozl_ya_oly@mail.ru*

The spatial and temporal variability of abundance and mass-size characteristic of the mollusk *Mytilaster lineatus* (Gmel., 1790) settlements for the period from 2005 to 2018 was studied. The work was carried out on the example of a large maritime work (vertical face quay) of the coastal zone of the city of Sevastopol. The number of mytilasters on the underwater part of the embankment of the Sevastopol Bay in the period from 2005 to 2018 ranged from 293 ± 115 to 51562 ± 7120 ind. \cdot m⁻². Biomass had a wide range of fluctuations and ranged from 9 ± 3 to 3400 ± 3222 g per area unit. In 2009, decreased indicators of the abundance of mytilasters were noted. The study of the it's of spatial changes in abundance and biomass did not show significant changes in the studied values. The length of mytilasters found during the study was from 1 to 30 mm, which may indicate favorable conditions for the habitat of this species. The settlements of mytilasters on an artificial substrate in the conditions of the Sevastopol Bay were generally less abundant than on the rocks of the nature-protected coast of Karadag.

Key words: *Mytilaster lineatus*, maritime works, long-term dynamics, Black Sea

Соловьева Кандидат биологических наук, старший научный сотрудник отдела
Ольга морской санитарной гидробиологии, ФГБУН ФИЦ «Институт биологии
Викторовна южных морей имени А.О. Ковалевского РАН»,
e-mail: kozl_ya_oly@mail.ru

Поступила в редакцию 25.02.2020 г.

УДК 597.2/.5(262.5)

ИХТИОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НА НИС «ПРОФЕССОР ВОДЯНИЦКИЙ» У ПОБЕРЕЖЬЯ КРЫМА И В РАЙОНЕ ФИЛЛОФОРНОГО ПОЛЯ ЗЕРНОВА В ОСЕННИЙ ПЕРИОД (2010 г.) И НЕКОТОРЫЕ НОВЫЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ИХТИОФАУНЕ ЧЁРНОГО МОРЯ*

Царин С.А.

ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН»,
г Севастополь, Российская Федерация,
e-mail: tsarin@mail.ru

После длительного периода отсутствия ихтиологических исследований на научно-исследовательских судах Института биологии южных морей имени А.О. Ковалевского в Чёрном море (за исключением ихтиопланктонных съёмок и прибрежных ловов на фелюге) они были проведены в 68-м рейсе НИС «Профессор Водяницкий» осенью 2010 г. Особый интерес представляют ихтиологические наблюдения в районе ботанического заказника Филлофорного поля Зернова, где аналогичные работы не проводились уже несколько десятков лет. В исследованиях были использованы учебные ловы, визуальные наблюдения и случайные поимки рыб. Впервые в этом Филлофорном поле поймана присоска пятнистая *Diplecogaster bimaculata* (Bonnatere, 1788) на столь далеком расстоянии от берега, но при этом на глубине обычной для обитания вида. По современному видовому составу рыб Филлофорное поле Зернова можно охарактеризовать как относительно бедный район северо-западной части Чёрного моря. Трофическая цепь рыб представлена следующим образом: шпрот *Sprattus sprattus* (Linnaeus, 1758)→мерланг *Merlangius merlangus* (Linnaeus, 1758)→катран *Squalus acanthias* Linnaeus, 1758. В ихтиоцен поля Зернова входят как стайные пелагические виды – ставрида *Trachurus mediterraneus* (Steindachner, 1868), шпрот, так и придонные – мерланг, присоска. По сборам в этом районе уточнены максимальные размеры самцов черноморского мерланга – 18,8 см в эконом зонах бывшего СССР. В районе Батилимана отмечена самая глубоководная поимка морского конька *Hippocampus hippocampus* (Linnaeus, 1758) в Чёрном море

Ключевые слова: Чёрное море; Филлофорное поле Зернова; учебный лов; ихтиофауна; пелагические виды; придонные виды

Введение

Последний полноценный ихтиологический рейс состоялся на НИС «Профессор Водяницкий» (30 рейс) в 1990 г. в районе Аравийского моря. Долгое время в крайне редких морских экспедициях судна ихтиологический материал по взрослым рыбам не собирался вообще.

После длительного перерыва, связанного с общим экономическим кризисом на территории стран СНГ в связи с распадом СССР, ФИЦ ИнБЮМ в 2010 г. возобновил комплексные исследования Чёрного моря на НИС «Профессор Водяницкий». Судя по многочисленным экспедициям 2010–2020 гг., можно сказать, что подобные исследования стали регулярными. В связи с тем, что осуществлять траления в районе исследования не представлялось возможным, для проведения ихтиологических исследований использовались данные учебных ловов. Особенно важны эти исследования для района украинского ботанического заказника общегосударственного значения Е – «Филлофорного поля Зернова» в северо-западной части Чёрного моря (СЗЧМ), где ихтиологические съёмки не проводились в течение нескольких десятилетий. На данные учебных ловов влияют многие факторы, которые необходимо

* Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ ИнБЮМ по теме «Структурно-функциональная организация, продуктивность и устойчивость морских пелагических экосистем» (№ гос. регистрации АААА-А18-118020790229-7).

учитывать, поэтому они не всегда могут чётко отображать картину количественного распределения рыб. Клёв сильно зависит от погодных условий, от времени года и суток, от биологического состояния рыб, от приманки (в тех случаях, когда она необходима) и, наконец, просто от навыков самого рыбака. Однако даже эти сведения могут принести определенную пользу, тем более что донные траления в Чёрном море полностью запрещены, а в заповедной зоне Филлофорного поля Зернова запрещены не только любые траления, но даже и проход судов (рис. 1).

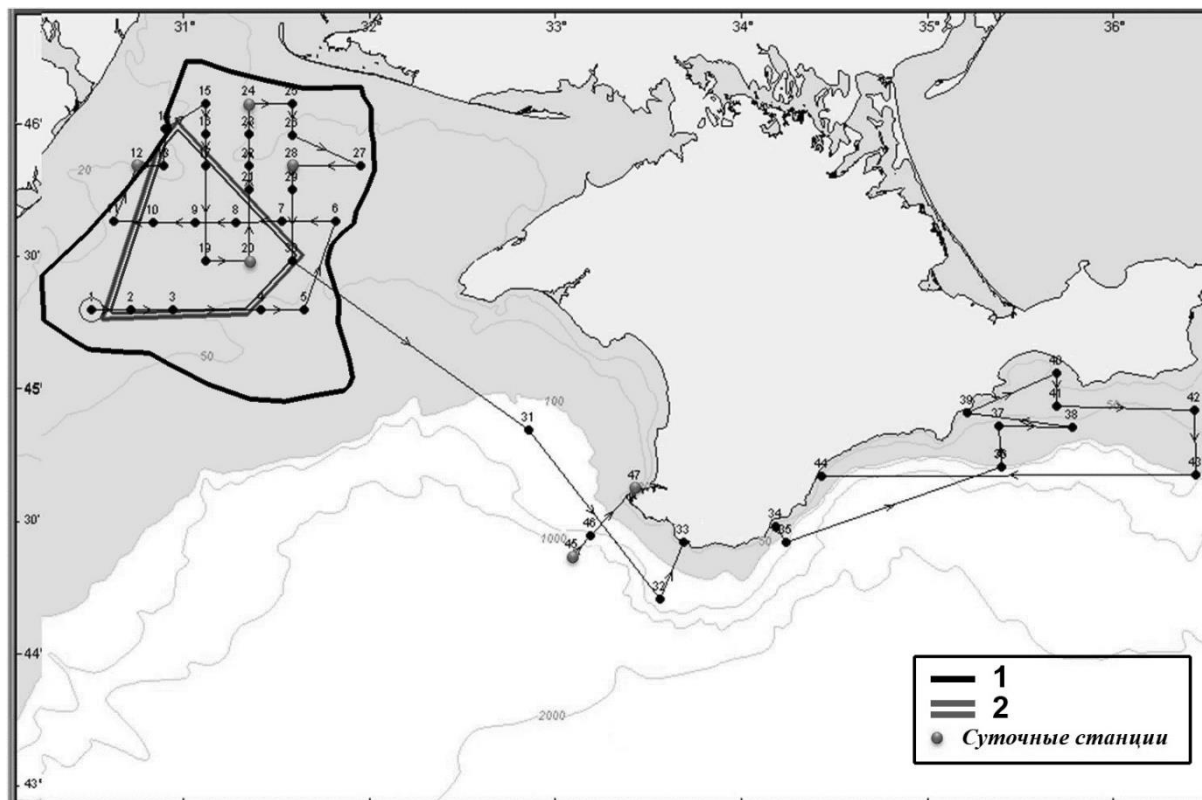


Рис. 1. Маршрут и схема расположения станций 68-го экспедиционного рейса НИС «Профессор Водяницкий» (29.10. – 13.11. 2010 г.): 1 – границы Филлофорного поля по Зернову (1908 г.); 2 – границы ботанического заказника общегосударственного значения «Филлофорное поле Зернова» (указ Президента Украины № 1064/2008 от 21.10.2008 г.).

Целью настоящей работы являлось изучение видового состава рыб и биологического состояния ключевых видов у черноморского побережья Крыма и в районе Филлофорного поля Зернова.

Материалы и методы

Для исследования взрослой части ихтиофауны в 68-м рейсе НИС «Профессор Водяницкий» (27.10. – 13.11.2010 г.) (рис. 1) использовались данные учебных ловов, а также визуальные подводные исследования, выполненные водолазом Т.П. Гетьманом, визуальные наблюдения с борта судна и случайные поимки рыб (1 экз. шпрота оказался на судне при выборке якорной цепи, 3 рыбы были в дночерпателе и 1 рыба – в планктонной сети). Рыбы были пойманы на 12 станциях. Биологический анализ включал промеры стандартной и абсолютной длины, определение пола и стадий зрелости, у мерланга брались отоциты для определения возраста, у мерланга и катрана вскрывались желудки. Всего выполнен биологический анализ 464 экз. рыб (402 экз. мерланга *Merlangius merlangus* (Linnaeus, 1758), 54 экз. ставриды *Trachurus*

mediterraneus (Steindachner, 1868), 3 экз. присоски пятнистой *Diplecogaster bimaculata* (Bonnaterre, 1788), 1 экз. султанки *Mullus barbatus ponticus* Essipov, 1927, 1 экз. смариды *Spicara smaridis* (Linnaeus, 1758), 1 экз. морского конька *Hippocampus hippocampus* (Linnaeus, 1758), 1 экз. катрана *Squalus acanthias* Linnaeus, 1758, 1 экз. шпрота *Sprattus sprattus* (Linnaeus, 1758). Часть материала была проанализирована непосредственно в рейсе, а часть материала – помещена в Коллекцию гидробионтов Мирового океана ИнБИОМ. Она была проанализирована позже.

Результаты и обсуждение

По данным разных исследователей в районе Филлофорного поля Зернова отмечалось от 17, 27 (Хуторной, 2004) до 47 видов рыб (Виноградов, 1967) в конце шестидесятых годов прошлого века (табл. 1). Несмотря на то, что многие виды рыб на удочку практически не ловятся, все-таки примерную оценку видового состава рыб по районам исследований можно сделать с учётом визуальных подводных наблюдений и видеосъёмки.

В период наших исследований Филлофорное поле Зернова характеризуется относительно бедным видовым составом рыб. В уловах были отмечены мерланг, ставрида, присоска пятнистая и катран, а по визуальным наблюдениям – шпрот и морские собачки сем. *Blenniidae* (очевидно длинощупальцевая морская собачка *Parablennius tentacularis* (Brünnich, 1768)). Совершенно не было в уловах бычков (сем. *Gobiidae*) – самого многовидового семейства рыб в Чёрном море. Виды этого семейства хорошо ловятся на удочку. По литературным данным в этом регионе отмечено 7 видов бычков, однако в коллекции Зоологического музея Украины (г. Киев) есть только один вид и то из сборов 1969 г. (Манило, 2008-2009).

В этот ихтиоцен входят как стайные пелагические виды – ставрида, шпрот, так и придонные – мерланг, присоска. На Филлофорном поле Зернова были обнаружены только пелагические рыбы, совершающие миграции, часто довольно протяженные, и придонные виды, которые также мигрируют вдоль грунта. Видов, у которых все стадии жизненного цикла протекают (т.е. постоянно обитающих) на Филлофорном поле, нами отмечено не было. Возможно, это связано с периодически возникающими в последние годы заморными явлениями из-за эвтрофикации вод (в основном связанной с дунайскими водами) и сильного взмучивания вод из-за интенсивного судоходства при небольших глубинах даже после прекращения добычи филлофоры в районе Филлофорного поля Зернова (Северо-западная часть..., 2006) и в какой-то степени с особенностями сбора материала. Ряд авторов характеризовали по видовому составу рыб Филлофорное поле Зернова как отдельный район СЗЧМ (Виноградов, 1967, Манило, 2008-2009). Ихтиофауна носила смешанный характер и состояла из видов, в той или иной связанных с водной растительностью, видов песчаных и песчано-ракушечниковых грунтов и типично пелагических. Если ранее это Филлофорное поле было своеобразным инкубатором молоди рыб, в том числе и осетровых, и широко использовалось многими видами для нагула и для нереста (Северо-западная часть, 2006), то сейчас поля как такового просто нет, есть отдельные кусты красной водоросли на значительном расстоянии друг от друга, многочисленные скопления пустых створок мидий.

Несмотря на сложность сравнения видового состава рыб по разным причинам (большой временной промежуток между исследованиями, глобальные изменения в биоценозе самого поля, методы получения данных, кратковременность, сезонность и единоразовость нашей съёмки и т.д.) по ихтиофауне получилась картина, также удручающая. Нами не отмечено ни одного вида рыб, связанных с песчаным и песчано-ракушечниковым грунтом, в том числе и представителей сем. Бычковых, а также султанки *Mullus barbatus ponticus*, камбалы-калкан *Scophthalmus maeoticus*, глоссы

Platichthys flesus, пескарки *Gymnamodytes cicerellus*, дракончика *Trachinus draco* и звездочета *Uranoscopus scaber*, многочисленных по данным предыдущих исследований.

Таблица 1.

Виды рыб, наблюдаемые в районе Филлофорного поля Зернова

№ п/п	Данные по К.А. Виноградов, 1967	Наши данные (2010 г.)	
	Виды рыб	Пойманные на удочку (или другими орудиями лова)	Подводные наблюдения водолаза
1	<i>Squalus acanthias</i> Linnaeus	+	
2	<i>Raja clavata</i> Linnaeus		
3	<i>Dasyatis pastinaca</i> (Linnaeus)		
4	<i>Huso huso</i> (Linnaeus)		
5	<i>Acipenser guldenstaedtii</i> Brandt & Ratzeburg		
6	<i>Sprattus sprattus</i> (Linnaeus)		+
7	<i>Alosa immaculata</i> Bennett		
8	<i>Engraulis encrasicolus</i> (Linnaeus)		
9	<i>Belone euxini</i> Gunther		
10	<i>Gaidropsarus mediterraneus</i> (Linnaeus)		
11	<i>Merlangius merlangus</i> (Linnaeus)	+	
12	<i>Syngnathus tenuirostris</i> Rathke		
13	<i>S. typhle</i> Pallas		
14	<i>Hippocampus hippocampus</i> (Linnaeus)		
15	<i>Mugil cephalus</i> Linnaeus		
16	<i>Chelon auratus</i> Risso		
17	<i>Ch. saliens</i> Risso		
18	<i>Atherina boyeri</i> Risso		
19	<i>Trachurus ponticus</i> Aleev	+	
20	<i>Mullus barbatus ponticus</i> Essipov		
21	<i>Ctenolabrus rupestris</i> (Linnaeus)		
22	<i>Symphodus cinereus</i> (Bonnaterre)		
23	<i>S. ocellatus</i> (Linnaeus)		
24	<i>S. roissali</i> (Risso)		
25	<i>Trachinus draco</i> Linnaeus		
26	<i>Uranoscopus scaber</i> Linnaeus		
27	<i>Aidablennius sphyinx</i> Valenciennes		
28	<i>Coryphoblennius galerita</i> (Linnaeus)		
29	<i>Parablennius sanguinolentus</i> Pallas		
30	<i>P. tentacularis</i> (Brünnich)		+
31	<i>Ophidion rochei</i> Müller		
32	<i>Gymnamodytes cicerellus</i> (Rafinesque)		
33	<i>Callionymus risso</i> Lesueur		
34	<i>Scomber scombrus</i> Linnaeus		
35	<i>Sarda sarda</i> (Bloch)		
36	<i>Thunnus thunnus</i> (Linnaeus)		
36	<i>Aphya minuta</i> (Risso)		
38	<i>Gobius niger</i> Linnaeus		
39	<i>Mesogobius batrachocephalus</i> (Pallas)		
40	<i>Neogobius fluviatilis</i> (Pallas)		
41	<i>N. melanostomus</i> (Pallas)		
42	<i>Pomatoschistus marmoratus</i> (Nordmann)		
43	<i>P. pictus</i> (Malm)		
44	<i>Scorpaena porcus</i> Linnaeus		
45	<i>Scophthalmus maeoticus</i> (Pallas)		
46	<i>Platichthys flesus</i> (Linnaeus)		
47	<i>Diplecogaster bimaculatus</i> (Bonnaterre)	+	

Очевидно, практически нет и рыб, обитающих именно в зарослях водорослей (кроме присоски пятнистой и морских собачек). Не было игловых (сем. Syngnathidae), губановых (сем. Labridae) рыб, морского налима *Gaidropsarus mediterraneus*, скорпены *Scorpaena porcus*, саргана *Belone euxini*, который в этот период наблюдался на поверхности ночью в других регионах в больших количествах. И если некоторые пелагические виды могли отсутствовать просто в силу их редкости в Чёрном море: тунец *Thunnus thunnus*, скумбрия *Scomber scombrus* или могли быть не обнаружены ввиду периодичности их миграций: хамса *Engraulis encrasicolus*, сельдь *Alosa immaculata* (хотя не факт, что именно по этой причине), то другие виды, вероятно, уже не мигрируют сюда ни для нагула ни для нереста: пелагида *Sarda sarda*, бланкет *Aphyia minuta*, атерина *Atherina boyeri*, кефалевые рыбы (сем. Mugilidae). Тоже можно сказать и об осетровых рыбах (сем. Acipenseridae).

В районе Филлофорного поля была поймана присоска пятнистая *Diplecogaster bimaculata* (Bonnaterre, 1788) с использованием дночерпателя «Океан 50» (2 экз. по 3,1 см SL) и сети Джели (1 экз. 1,2 см SL) (рис. 2). Некоторые исследователи выделяют в составе вида три подвида, два из них *D. bimaculata bimaculata* (Bonnaterre, 1788) и *D. bimaculata euxinica* Murgosi, 1964 были описаны из Чёрного моря (Eschmeyer, 1999, Muus, Nielsen, 1999), но это вопрос спорный, и в наиболее полную электронную базу данных по рыбам (Fishbase, 2020) эти подвиды не внесены как валидные. Поэтому мы остановимся на виде. Этот вид включен в Красную книгу Украины в 2009 г. (Червона книга..., 2009), 1 экз. из дночерпателя был выпущен в море, а 2 взяты в Коллекцию гидробионтов Мирового океана ИнБИОМ, ранее особей этих рыб в Коллекции не было. Рыбы пойманы на станции № 29 (45°45' с.ш. и 31°35' в.д. на глубине 33 м, 07.11.2010 г., 6⁵⁰–7¹³ – дночерпателем и в слое 25–0 м 06.11.2010 г., 22⁵⁵–23⁰⁸ – сеткой Джели). Вид не является новым для Филлофорного поля Зернова, но оказалось, что это наиболее удаленные от берегов точки поимки данного прибрежного вида, которые известны в Чёрном море (рис. 3). Присоска была поймана на расстоянии около 53 км до острова Тендровская коса (Херсонская область, Украина) и около 59 км до берега материковой части (по прямой).

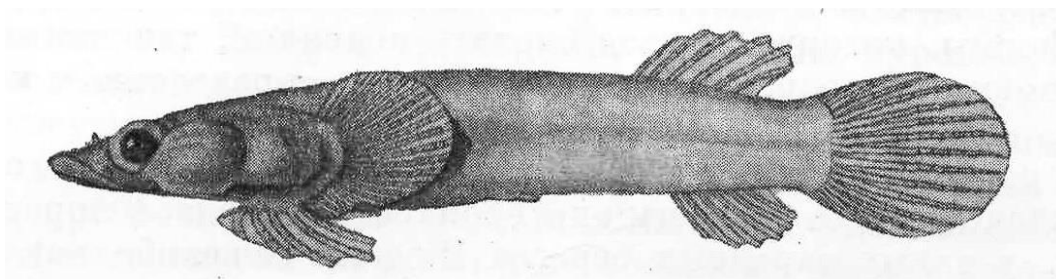


Рис. 2. Присоска пятнистая (по Световидов, 1964)

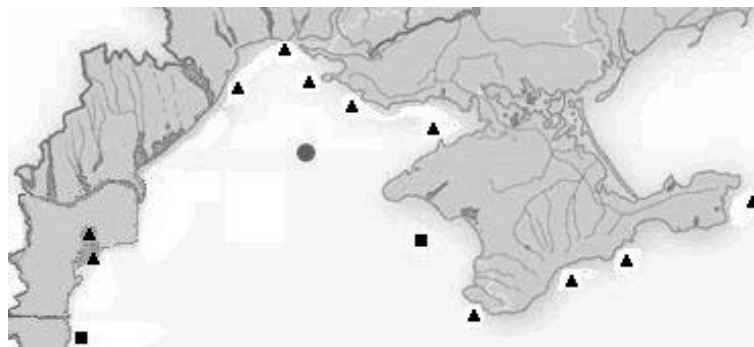


Рис. 3. Точки ловов присоски пятнистой в Чёрном море по оригинальным и литературным данным (● – данные ИнБИОМ; ■ – данные Fish Base, 2020; ▲ – данные по Красной Книге Украины, 2009)

Окраска тела этих рыб – красная или красноватая, с бледно-желтыми полосами и пятнами. Значительное количество видов рыб с красноватой окраской и ранее отмечено для Филлофорного поля Зернова: 3 вида зеленушек, султанка, скорпена, бычок бланкет, присоска пятнистая, красноперые сельдь и скумбрия (с красными лучами в плавниках) (Виноградов, 1967; Северо-западная часть..., 2006), а в наших исследованиях присоска пятнистая – это единственный вид рыб с подобной окраской. В длину эти рыбки достигают 5, изредка 7 см. Личинки ведут пелагический образ жизни. Взрослые особи обычно локализуются на глубинах от почти уреза воды до 30 м. Но этот вид держится на гораздо больших глубинах, чем другие присоски: в Средиземном море его ловили на глубинах 80–100 м (Световидов, 1964), а в Атлантическом океане известна даже одна поимка на глубине 490 м.

Взрослые рыбы обитают (используя присоску) на прибрежных скалах, камнях и на плитняке, заросшем цистозирой, на ракушечнике, на песчаных грунтах и в ножках таллома бентосных водорослей. Так что грунт в Филлофорном поле (Строгонов, Гордеева, 2000) вполне подходит для этих рыб. Они и ранее известны из района поля Зернова, куда обычно мигрируют в середине октября (только ближе к берегу). В мае-июне рыбы держатся в прибрежных районах.

Все экземпляры мерланга в рейсе были пойманы в районе Филлофорного поля на глубинах от 37 до 49 м. В целом, по исследуемой акватории, стандартная длина (SL) мерланга находилась в пределах 9,8–24,5 см (средний размер – 14,4 см, модальную группу составили особи длиной 14,1–15,5 см) (рис. 4, рис. 5). У побережья юго-западной части Крыма в период с 1998 по 2001 гг. максимальное значение стандартной длины (SL) было отмечено у самки мерланга и составляло 23,5 см. Согласно литературным сведениям максимальные размеры черноморского мерланга составляют: по данным А.Н. Световидова около 45,2 см (Световидов, 1948), по данным А.Н. Пробатова и И.В. Уральской – 24,4 см (Пробатов, Уральская, 1957), по данным Ю.Г. Алеева – 41,6 см (Алев, 1958), по данным С.В. Володина – 27,5 см (Володин, 1995), а по данным В.Д. Бурдак – 40,7 см (Бурдак 1964) (в необходимых случаях с пересчетом на SL при коэффициенте 1,106). Однако не исключено, что размеры мерланга в Чёрном море могут быть больше (Болтачев, Карпова, 2012). По сведениям В.Д. Бурдак средний размер особей мерланга больше в осенний период, а в северо-западной части моря, куда входит и Филлофорное поле, его размеры крупнее (Бурдак 1964). В то же время в северной части ареала (Атлантика) для мерланга указана длина до 91,5 см TL (Fishbase, 2002). В нашей работе, в основном, мерланг был представлен особями 2–3-летнего возраста, но встречались экземпляры 4–5 лет размером около 20–25 см, а также одна особь 6-летнего возраста (в настоящее время в Чёрном море особи мерланга возраста свыше четырех лет чрезвычайно редки). Около 35 % особей мерланга были зрелыми (IV-V стадии зрелости), а наиболее крупные особи практически все были на V стадии зрелости. В литературе не было описано случаев поимки в Чёрном море в водах эконом зон бывшего СССР самцов мерланга длиной более 17 см SL (Световидов, 1948). Однако в прибрежных водах Турции были пойманы и более крупные самцы длиной от 17,6 (Yidiz, Karakulak, 2019), 20,4 (Bilgin et al., 2012), 20,7 (Samsun, 2005), 21,1 (Kalayci et al., 2007) и даже 27,6 см SL (Genç et al., 1998). Нами в районе исследований был пойман самец длиной 18,8 см SL. В желудках мерланга в основном был шпрот и в незначительной степени двустворчатые моллюски.

В этом районе поймано 9 экз. ставриды. Это были мелкие особи возрастом 1–2 года. Размер ставриды колебался от 8,0 до 13,0 см (в среднем 9,7 см, модальный класс составляли особи 10,6–11,0 см). Так же был пойман катран длиной 114 см TL (станция № 24 46°04' с.ш. и 31°21' в.д., глубина 20 м, 06.11.2010 г., 7⁰⁰), максимально известная длина вида 208 см TL, обычно до 160 см (Болтачев, Карпова, 2017), хотя и особи длиной более 1 метра в Чёрном море встречаются редко. По нашим данным

трофическую цепь рыб в этом регионе можно представить следующим образом. Шпрот типичный зоопланктофаг, им питается мерланг, а мерлангом – катран.

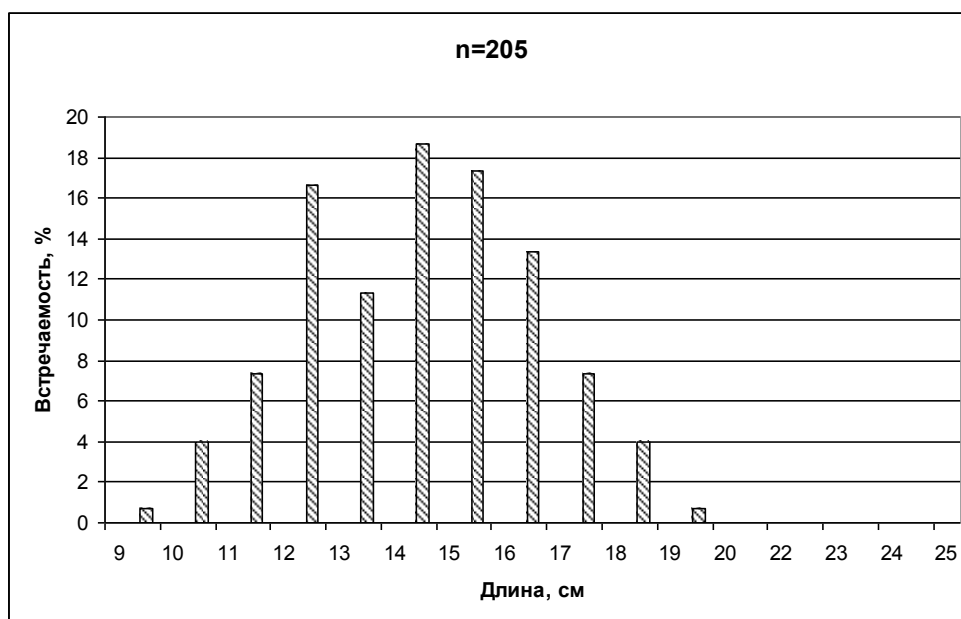


Рис. 4. Размерный состав мерланга на станции № 20 (45°28' с.ш. и 31°35' в.д., глубина 48–49 м, 04.11.2010 г., 12⁰⁵–14⁵⁵)

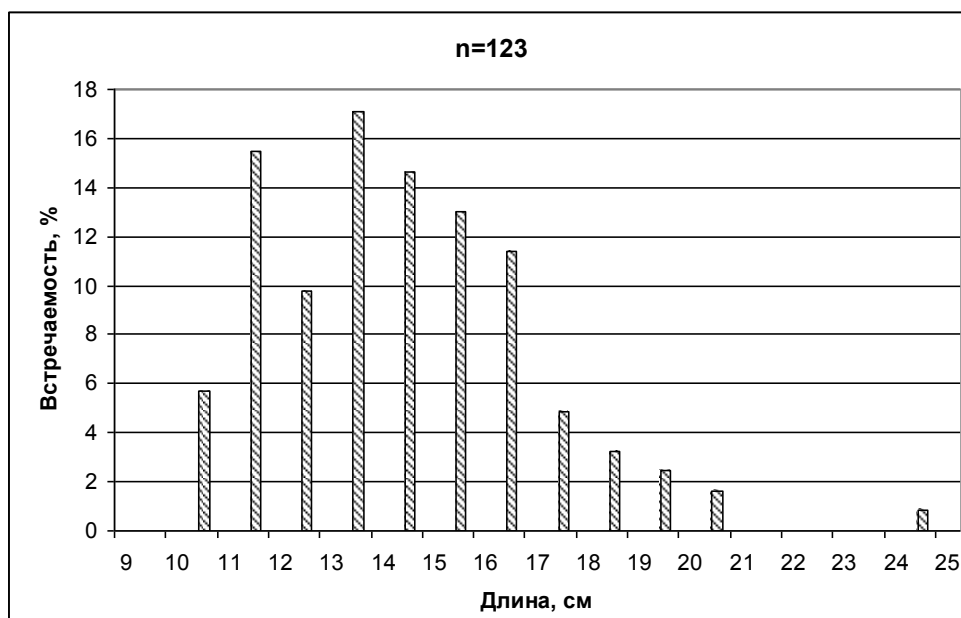


Рис. 5. Размерный состав мерланга на станции № 30 (45°28'–45°29' с.ш. и 31°35' в.д., глубина 49 м, 07.11.2010 г., 9³⁵–11²⁵)

В районе у Карадага на двух станциях поймано только 6 экземпляров ставриды размером 8,0–12,6 см SL (Ср. – 9,8 см) (станция № 38: 44°50' с.ш. и 35°47'–35°17' в.д., глубина 24 м, 09.11.2010 г., 12¹⁵–14²⁰; станция № 39: 44°54' с.ш. и 35°12' в.д., глубина 24 м, 09.11.2010 г., 15¹⁵–16³⁵).

В районе Батилимана был пойман дночерпателем только один морской конек *H. hippocampus* на станции № 33 (44°25' с.ш. и 33°41'7' в.д., 08.11.2010 г., 8⁵³–9⁰⁵) на глубине 45 м. Согласно литературным данным, обычная глубина обитания этого вида – 5–7 м на мелководье, встречается до 12 м, редко до 15–20 м, однако в Чёрном море был

отмечен и на глубине 30 м (Болтачев, Карпова, 2017, Васильева, 2007, Фауна Украины, 1988). Таким образом, нами зафиксирована наибольшая глубина поимки морского конька из ранее известных в Чёрном море. А вообще в пределах всего ареала вида, включая Средиземное море и Северную Атлантику, известны поимки – на максимальной глубине 60 м (Foster, Vincent, 2004) и даже – 77 м (Garrick-Maidment, 1998). В научной литературе разными авторами приводились разные названия морского конька в Чёрном море. Он был описан и как *H. guttulatus* Cuvier, 1829 и как *H. ramulosus* Leach, 1814 (последний вид сейчас не считается валидным), по современным данным в Чёрном море обитает только один вид и это – *H. hippocampus* (Васильева, 2007). Этот вид входит в Красные книги Крыма, Севастополя, Краснодарского края, Украины (Красная книга..., 2015, Красная книга..., 2017, Червона книга, 2009), а также в Международную Красную книгу Чёрного моря (Black Sea..., 1999) и Красную книгу Болгарии (Red Data..., 2015)

В районе Алушты (станция № 44: 44°40' с.ш. и 34°26' в.д., глубина 40 м, 11.11.2010 г., 7³⁵–8³⁵) поймано 39 экз. ставриды длиной 10,0–13,0 см (в среднем 9,8 см, модальный класс составляли особи 9,1–9,5 см), 1 экз. султанки 11,6 см SL и 1 экз. смариды 9,0 см.

При ночных работах с сетями в глубоководном районе на траверзе Севастопольской бухты (станция № 45: 44°21' с.ш. и 33°05' в.д., 11.11.2010 г.) с 22¹⁵ до полуночи на поверхности воды наблюдались многочисленные особи саргана *Belone euxini* Günther, 1866, по визуальным данным длиной примерно 20–25 см.

Экземпляр шпрота длиной 4,6 см был пойман в Феодосийской бухте.

Выводы

По сравнению с предыдущими литературными данными (Виноградов, 1967) в районе Филлофорного поля Зернова отмечен относительно бедный видовой состав рыб. Если за предыдущие годы исследований в регионе встречено 47 видов рыб, то в наших исследованиях фигурирует всего 6 видов. Полностью отсутствуют представители песчаных и песчано-ракушечниковых грунтов (бычковых рыб, султанки, дракончика и др.), кроме прироски пятнистой и морской собачки нет рыб, связанных с водной растительностью (игловых, Губановых рыб, саргана и др.). Не зарегистрирован и ряд типичных для региона пелагических рыб (хамса, пеламида, кефалевые и др.).

Отмечена самая удалённая от берега точка поимки присоски пятнистой *Diplecogaster bimaculata* в Чёрном море. Минимальное расстояние до о. Тендровская коса было около 53 км, а до берега материковой части – 59 км.

Зафиксирована самая глубоководная поимка морского конька *Hippocampus hippocampus* в Чёрном море (45 м).

Благодарности

Автор выражает глубокую благодарность водолазу Тарасу Гетьману за детальное описание подводных наблюдений и членам экипажа НИС «Профессор Водяницкий» за помощь в поимке рыб.

Список литературы

1. Алеев Ю.Г. Об изменении относительной величины плавников у рыб в онтогенезе и филогенезе // Доклады АН СССР. – 1958. – Т. 120. – № 1. С. 204–207.
2. Болтачев А.Р., Карпова Е.П. Морские рыбы Крымского полуострова. – Симферополь: Бизнес-Информ, 2012. – 224 с.

3. Болтачев А.Р., Карпова Е.П. Морские рыбы Крымского полуострова. 2-е изд. – Симферополь: Бизнес-Информ, 2017. – 376 с.
4. Бурдак В.Д. Биология черноморского мерланга (*Odonthogadus merlangus euxinus* (Nordmann)) // Труды Севастопольской биологической станции. – 1964. – Т. 15. – С. 196–278.
5. Васильева Е.Д. Рыбы Черного моря. Определитель морских, солоноватоводных, эвригаллиных и проходных видов с цветными иллюстрациями, собранными С.В. Богородским. – М.: ВНИРО, 2007, – 238 с.
6. Виноградов К.А. Ихтиофауна Филлофорного поля Зернова / Биология северо-западной части Черного моря. – Киев, 1967. – С. 232–234.
7. Володин С.В. Популяционная структура и некоторые особенности биологии черноморского мерланга *Merlangus merlangus euxinus* Nordmann (Teleostei: Gadidae): автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Севастополь, 1995. – 24 с.
8. Емтыль М.Х., Иваненко А.М. Рыбы юго-запада России: Учеб. пособие. – Краснодар: Кубанский гос. ун-т, 2002. – 340 с.
9. Красная книга Краснодарского края. Животные. III издание / Отв. ред. А.С. Замотайлов, Ю.В. Лохман, Б.И. Вольфов. – Краснодар: Адм. Краснодар. края, 2017. – 720 с.
10. Красная книга Республики Крым. Животные / Отв. ред. д. б. н., проф. С.П. Иванов и к.б.н. А.В. Фатерыга. – Симферополь: ООО «ИТ «АРИАЛ», 2015. – 440 с.
11. Манило Л. Бычковые рыбы (Gobiidae, Perciformes) северо-западной части Черного моря и прилегающих лиманных экосистем // Збірник праць Зоологічного музею. 2008–2009. – № 40. – С. 19-46.
12. Пробатов А.Н., Уральская И.В. Материалы по биологии черноморского мерланга *Odonthogadus merlangus euxinus* Nordmann // Ученые записки Ростовского государственного университета. – Ростов на Дону, 1957. – Т. 57, вып. 1. – С. 99-116.
13. Световидов А.Н. Фауна СССР. Рыбы. Трескообразные. – М.–Л.: АН СССР, 1948. – Т. IX. – Вып.4. – 222 с.
14. Световидов А.Н. Рыбы Черного моря. – М., Л.: Наука, 1964, – 552 с.
15. Северо-западная часть Черного моря: биология и экология. Проект Наукова книга / Зайцев Ю.П., Александров Б.Г., Миничева Г.Г. (ответственные редакторы). – Киев: Наукова думка, 2006. – 700 с.
16. Строгонов А.А., Гордеева И.К. Изучение биоценоза *Phyllophora nervosa* на Филлофорном поле Зернова с помощью подводного обитаемого аппарата // Экология моря. – 2000. – Вып. 50. – С. 40–44.
17. Фауна Украины. В 40 т. Т. 8. Рыбы. Вып. 3. Вьюновые, сомовые, икталуровые, пресноводные угри, конгеровые, саргановые, тресковые, колюшковые, игловые, гамбузиные, зеусовые, сфиреновые, кефалевые, атериновые, ошибневые / Мовчан Ю.В. – Киев: Наукова думка, 1988. – 368 с.
18. Хуторной С.А. История изучения ихтиофауны Северо-Западной части Черного моря в пределах территориальных вод Украины и ее изменение под воздействием антропогенного пресса // Экология моря. – 2004. – Вып. 65. – С. 87–93.
19. Червона книга України. Тваринний світ/ за ред. І.А. Акімова. – К.: Глобалконсалтинг, 2009. – 600 с.
20. Bilgin S., Ba, H., Taşci B. Length Based Growth Estimates and Reproduction Biology of Whiting, *Merlangius merlangus euxinus* (Nordman, 1840) in the Southeast Black Sea // Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Science. – 2012. – 12. – P. – 871–881.
21. Black Sea Red Data Book. Edited by Henri J. Dumont (Ghent, Belgium), Website Editor: V.O. Mamaev (Istanbul, Turkey), Scientific Coordinator: Y.P. Zaitsev (Odessa, Ukraine), 1999. – 413 p.

22. *Eschmeyer W.N.*, (Ed.) Catalog of fishes. Updated database version of November 1999. Catalog databases as made available to FishBase in November 1999. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://research.calacademy.org/ichthyology/catalog>
23. *Fishbase*, 2020 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.fishbase.org/>
24. *Foster S.J., A.C.J. Vincent*. Life history and ecology of seahorses: implications for conservation and management // *Journal Fish Biology*. – 2004. – 65(1). – P. 1–61.
25. *Garrick-Maidment, N.* A note on the status of indigenous species of seahorse // *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*. – 1998. – Vol. 78. – P. 691–692.
26. *Genç Y., Zengin M., Başar S., Tabak İ., Ceylan B., Çiftçi Y., Üstiindağ Y., Akbulu, B., Şahin T.* Research project of economic aquatic products. TAGEM/IY/96/17/3/001, Final Report, Central Fisheries Research Institute. – 1998. – 157 pp.
27. *Kalayci, F., Samsun, N., Bilgin, S. & Samsun, O.* Length-weight relationship of 10 fish species caught by bottom trawl and midwater trawl from the middle Black Sea, Turkey // *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. – 2007. – 7. – P. 33–36.
28. *Muus, B.J. and J.G. Nielsen*. Sea fish. Scandinavian Fishing Year Book, Hedehusene, Denmark, 1999. – 340 pp.
29. *Red Data Book of the Republic of Bulgaria*. Volume 3. Natural habitats. Biserkov, V. et al. (Eds). – Sofia, 2015. – 422 pp.
30. *Samsun, S.* The research on the some reproduction and feeding characteristics of the whiting (*Gadus merlangus euxinus* Nordmann, 1840). PhD. thesis, Ondokuz Mayıs University, Institute of Science. – 2005. – 103 pp.
31. *Yidiz, T., Karakulak, F.S.* Age, Growth and Mortality of Whiting (*Merlangius merlangus* Linnaeus, 1758) from the Western Black Sea, Turkey // Age, Growth and Mortality of Whiting (*Merlangius merlangus* Linnaeus, 1758) from the Western Black Sea, Turkey // *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. – 2019. – 9. – P. 793–804.

ICHTHYOLOGICAL RESEARCHES ON R/V «PROFESSOR VODYANITSKIY» OF THE CRIMEAN COAST AND IN THE AREA OF ZERNOV PHYLLOPHORIC FIELD IN AUTUMN (2010) AND SOME NEW INFORMATION ABOUT ICHTHIOFAUNA OF THE BLACK SEA

Tsarin. S.A.

*A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russian Federation,
e-mail: tsarin@mail.ru*

After long period of absence of ichthyological researches on the R/V of the A.O Kovalevsky Institute of Marine Biological Research in the Black Sea (except for ichthyoplanktonic surveys and off-shore catches on felucca) they were conducted in the 68th cruise of R/V «Professor Vodyanitskiy» in autumn, 2010. Ichthyological supervisions in the region of botanical reserve Zernov phyllophora field are presented special interest, where previous ichthyological works were a few ten years ago. Fishery, visual supervisions and casual catching of fish were used in researches. First *Diplecogaster bimaculata* (Bonnaterre, 1788) is caught in Phyllophora field on so distant distance from shore, but here on a depth usual for habitat of species. According to the modern fish species composition, the Zernov Phyllophore field can be described as a relatively poor area of the North-Western part of the Black sea. The fish trophic chain is presented as follows: *Sprattus sprattus* (Linnaeus, 1758)→*Merlangius merlangus* (Linnaeus, 1758)→*Squalus acanthias* Linnaeus, 1758. Ichthyocoen of Zernov field are included both schooling pelagic species: *Trachurus mediterraneus*, *Sprattus sprattus* and near-bottom: *Squalus acanthias*, *Diplecogaster bimaculata*. The maximal size of males Black Sea *Merlangius merlangus* in the economic zones of the former USSR – 18,8 cm was specified according to collections in this area. The deepest capture of *Hippocampus hippocampus* (Linnaeus, 1758) in the Black Sea was recorded in the Batiliman region.

Keywords: Black Sea, Zernov phyllophora field, fishery, ichthyofauna, pelagic species, near-bottom species.

Царин
Сергей
Анатольевич

Кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, ведущий научный сотрудник, руководитель Научно-образовательного центра коллективного пользования «Коллекция гидробионтов Мирового океана», ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН», e-mail: tsarin@mail.ru

Поступила в редакцию 18.02.2020 г.

УДК 581.526.53(477.75)

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СТЕПНОЙ ЦЕНОФЛОРЫ КАРАДАГСКОГО ПРИРОДНОГО ЗАПОВЕДНИКА

Летухова В.Ю., Потапенко И.Л.

*Карадагская научная станция им. Т. И. Вяземского – природный заповедник РАН – филиал
ФГБУН ФИЦ «Институт биологии Южных морей имени А. О. Ковалевского РАН»,
пгт. Курортное, г. Феодосия, Российская Федерация,
e-mail: letukhova@gmail.com*

На основании анализа собственных и литературных данных дана экологическая характеристика ценофлоры степных сообществ Карадагского заповедника (Крым), в которых отмечено 346 видов сосудистых растений из 200 родов, относящихся к 54 семействам. Преобладающими экологическими группами по отношению к увлажнению являются ксеромезофиты (53,2%) и мезоксерофиты (26,0%). Так как степные сообщества формируются в очень засушливых условиях, к мезофитам относится всего 6,4% видов. Дана эколого-физиологическая классификация ценофлоры по морфолого-анатомическому признаку. Большинство видов имеют те или иные приспособления для перенесения засухи. Из наиболее распространенных отмечены следующие: толстый слой кутикулы, наличие опушения, закупоривание устьичных щелей восковыми и смолистыми веществами, свертывание листьев в трубку, глубокая корневая система. Еще одна группа растений (35,3% видов) избегает засуху благодаря короткому жизненному циклу. Небольшое количество видов (6,6%) предпочитают тенистые места (под кроной деревьев) или северные склоны и большого распространения не получили. В структуре ценофлоры по световому режиму закономерно лидируют гелиофиты (69,1%). По солевому режиму лидируют гликофиты (94,2%), галофиты в основном представлены криногалофитами и галоксерофитами.

Ключевые слова: степи, ценофлора, экологические условия, Карадаг, Крым.

Введение

Карадагский горный массив расположен в восточной части Южного берега Крыма между поселками Коктебель, Щebetовка и Курортное. С 1979 г. его территория охраняется государством – создан Карадагский природный заповедник, который имеет площадь 2065,1 га суши и 809,1 га морской акватории. Однако и до создания заповедника на этой территории проводились научные исследования по изучению флоры и фауны, поскольку с 1914 г. здесь действовала Карадагская биологическая станция, принимавшая ученых, аспирантов и студентов со всего бывшей СССР. В настоящее время заповедник Карадагский отнесен к наивысшей категории приоритетности по сохранению биоразнообразия в Крыму (Biodiversity Support Program, 1999).

Инвентаризация флоры и растительности является одной из первоочередных задач научных исследований в заповедниках. В условиях все увеличивающейся антропогенной нагрузки результаты этих работ будут основой сохранения биоразнообразия, выбора стратегии охраны видов и сообществ, а также мониторинга экосистем. Если флора Карадага изучена давно и достаточно подробно (Миронова, Каменских, 1995; Миронова, Фатерыга, 2015; Каменских, Потапенко, 2012, Фатерыга В.В., Фатерыга А.В., 2019), то работы по растительности малочисленны и фрагментарны (Дидух, Шеляг-Сосонко, 1982; Ландшафтно-экологический стационар..., 1999; Кобечинская, 2009).

Расположение Карадага на границе равнинно-степного и горного Крыма, суши и моря определили здесь высокое разнообразие растительных сообществ, в том числе степных: от 35 до 45% его территории покрыты различными вариантами степей (луговыми, настоящими, петрофитными, полупустынными и саванноидными

сообществами, а также зарослями степных кустарников различной степени покрытия) (Карадаг заповедный, 2011). Большая их часть подвергалась отрицательной антропогенной деятельности в прошлом (до создания заповедника): рубка деревьев, выпас скота, строительство кошар, на территории которых растительность до сих пор находится в стадии восстановительной сукцессии. Главной причиной нарушенности степных сообществ в настоящее время является негативное влияние копытных животных (Антонец, Ярыш, 2015; Ярыш, Иванов, 2017). Под действием этих факторов степная растительность Карадага приобрела высокую мозаичность, которая затрудняет их обследование, и как результат оказалась малоизученной. Ранее нами проведен таксономический, биоморфологический и географический анализ ценофлоры степей Карадага (Летухова, Потапенко, 2019).

Цель настоящей работы – определить видовой состав степей Карадага, провести экологический анализ ценофлоры по отношению к световому, водному и солевому режиму.

Материалы и методы

Район исследования

Карадаг представляет собой систему коротких и сильно расчлененных эрозией низкорослых хребтов общей площадью около 25 км², в плане имеет форму шестиугольника с поперечником 5–6 км. С юга и востока он омывается водами Черного моря. Рельеф образуют так называемые продольные и поперечные хребты, вытянутые соответственно с юго-запада на северо-восток и с юго-востока на северо-запад. Современный карадагский магматический комплекс отличается весьма сложным геологическим строением и представляет собой фрагмент океанической коры, выведенный на дневную поверхность выше современного уровня Черного моря. На небольшой по площади территории выделяются фрагменты структур, сформировавшихся в различные геологические эпохи. Горный массив Карадаг поднимается на относительно небольшую высоту: его высшая точка (г. Святая) достигает 576 м н.у.м. В связи с этим здесь представлена растительность всего лишь двух горных поясов: нижнего и среднего. Степи Карадага распространены в нижнем поясе (рис. 1), средний пояс покрыт дубово-грабовым лесом.



Рис. 1. Типичный вид степных сообществ Карадагского природного заповедника

Климат

Из-за малой высоты гор и наличия в горной цепи многочисленных разрывов этот район сравнительно плохо защищен от вторжения холодных воздушных масс. Поэтому средняя температура воздуха самого холодного месяца (+1.5°C) и абсолютный минимум температур воздуха на Карадаге (-24°C) значительно ниже, чем в западной части Южного берега Крыма. Средняя многолетняя годовая температура воздуха здесь составляет +12.1°C. В целом, климат Карадага можно определить, как переходный от субсредиземноморского к умеренно континентальному умеренно жаркому сухому. Средняя годовая сумма осадков (период с 1920 по 2006 г.) – 388.5 мм. Атмосферные осадки распределяются по сезонам сравнительно равномерно – в холодное и теплое время года Карадаг получает примерно одинаковое количество влаги, в то время как для типично средиземноморского климата характерен заметный перевес осадков в холодное полугодие (Карадаг заповедный, 2011; Зуев и др., 2018). За последние годы происходит значительное отклонение основных климатических показателей от средних многолетних значений. Сохраняется тенденция к повышению температуры воздуха. Увеличились средние годовые температуры воздуха (в среднем на 0,8°C) (Зуев, Летухова, Зуева, 2020).

Методы исследования

Исследования проводились в полевые сезоны 2015–2020 гг. Всего было выполнено 125 геоботанических описаний, расположенных на разных экспозициях и высоте над уровнем моря по всей территории Карадага по стандартной методике (Миркин и др., 2001). Площадь пробных площадей 10x10 м². Номенклатура таксонов приведена по С.К. Черепанову (1995). Характеристику флористического состава степей Карадагского заповедника по отношению к водному, световому и солевому режиму осуществляли с использованием данных «Биологической флоры Крыма» В.Н. Голубева (1996). Проанализирован состав флоры по водному режиму согласно классификации, разработанной П.А. Генкелем (1982). Анализ проведен как для ценофлоры степных сообществ в целом, так и для ее ядра. В ядро вошли виды с высоким постоянством, частота встречаемости которых в геоботанических описаниях выше 20%.

Результаты и обсуждения

Степная растительность из-за особенностей рельефа имеет сложный характер, видовой состав и проективное покрытие неоднородно и варьирует в зависимости от экспозиции склона и каменистости субстрата. В продолжение работы по изучению степей Карадага (Летухова, Потапенко, 2019) список флоры был дополнен 24 видами. В настоящее время в степных сообществах выявлено 346 видов сосудистых растений из 200 родов, относящихся к 54 семействам. Во флористическое ядро вошло 55 видов растений из 45 родов, относящихся к 17 семействам. Видовая насыщенность в описаниях варьировала от 12 до 50 видов на 100 м², и в среднем она составила 35 видов на 100 м².

В таблице 1 представлены результаты анализа ценофлоры по отношению к водному режиму в соответствии с классификацией В.Н. Голубева (1996). Преобладающими экологическими группами по отношению к режиму увлажнения являются ксеромезофиты и мезоксерофиты, соответственно 53.2% и 26.0%, в ядре ценофлоры – 45.5% и 36.3%. К этим группам принадлежат следующие виды: *Achillea nobilis* L., *Agropyron dasyanthum* Ledeb., *Bromopsis cappadocica* (Boiss. et Bal.) Holub, *Centaurea salonitana* Vis., *Dactylis glomerata* L., *Dianthus capitatus* Balb. ex DC., *Erysimum cuspidatum* (M.Bieb.) DC., *Inula oculus-christi* L., *Jurinea sordida* Stev.,

Medicago falcata L., *Phlomis taurica* Hartwiss ex Bunge, *Plantago lanceolata* L., *Salvia tesquicola* Klok. et Pobed., *Stachys velata* Klok., *Teucrium chamaedrys* L., *Teucrium polium* L., *Veronica multifida* L.

Таблица 1.
Структура флористического состава степей Карадагского заповедника по водному режиму

Тип экоморфы	Ценофлора		Ядро ценофлоры	
	Число видов	Доля, %	Число видов	Доля, %
Мезофит	22	6,4	0	0
Ксеромезофит	184	53,2	25	45,5
Мезоксерофит	90	26,0	20	36,3
Эуксерофит	50	14,4	10	18,2
Итого:	346	100	55	100

К настоящим ксерофитам (эуксерофитам) относятся 14,4% – в ценофлоре и 18,2% – в ядре ценофлоры, соответственно. Из наиболее распространенных к таким видам относятся: *Elytrigia maeotica* (Prokud.) Prokud., *Eryngium campestre* L., *Festuca valesiaca* Gaudin, *Galatella villosa* (L.) Rchb.f., *Onosma taurica* Pall. ex Willd., *Seseli tortuosum* L., *Xeranthemum annuum* L.

К настоящим мезофитам принадлежат небольшое количество видов (6,4%): *Bromopsis benekenii* (Lange) Holub, *Cirsium sublaniflorum* Sojak, *Elytrigia repens* (L.) Nevski, *Sonchus asper* (L.) Hill., *Sonchus oleraceus* L., *Viola arvensis* Murr.); в ядро ценофлоры они не входят. Эти растения встречаются преимущественно на склонах северных экспозиций.

Результаты анализа экоморф по эколого-физиологической классификации П.А. Генкеля (1982) представлены в таблице 2.

Таблица 2.
Эколого-физиологическая структура флористического состава степей Карадагского заповедника

Тип экоморфы	Ценофлора		Ядро ценофлоры	
	Число видов	Доля, %	Число видов	Доля, %
Ксерофиты:	192	55.5	40	72.7
Эвксерофиты	143	41.3	28	50.8
Гемиксерофиты	25	7.2	3	5.5
Стипаксерофиты	22	6.4	9	16.4
Суккуленты	2	0.6	0	0
Ксерофитоиды	23	6.6	5	9.1
Псевдоксерофиты:	122	35.3	10	18.2
Эфемеры	86	24.9	7	12.7
Эфемероиды	36	10.4	3	5.5
Мезофиты	9	2.6	0	0

Поскольку, согласно П.А. Генкелю, в засушливых регионах нет настоящих мезофитов (или они имеются лишь в лесах), в эту группу мы отнесли типичные лесные растения (*Corydalis paczoskii* N. Busch, *Paeonia daurica* Andr., *Lactuca quercina* L. и др.), а также деревья (*Crataegus curvisepala* Lindm., *Fraxinus excelsior* L.), представленные единично в степных сообществах с участием древесных и кустарниковых растений. Таким образом, доля мезофитов в структуре флористического состава составила 2,6% (9 видов).

Наибольшую группу в ценофлоре составили ксерофиты (192 вида, или 55,5%), в ядре ценофлоры доля этих видов еще выше – 72,7%. При этом ксерофиты разделяются по морфолого-анатомическому признаку на несколько подгрупп. Подавляющее большинство ксерофитов принадлежат к эвксерофитам: 143 (41,3%) видов – в

ценофлоре и 28 (50,8%) видов – в ее ядре. Это весьма засухоустойчивая группа растений способная переносить как обезвоживание, так и перегрев тканей за счет уменьшения транспирации и понижения интенсивности обменных процессов (Тайсумов и др., 2014). Для этого у них имеется ряд приспособлений: толстый слой кутикулы (*Eryngium campestre* L., *Amygdalus nana* L., *Asparagus verticillatus* L., *Centaurea orientalis* L., *Minuartia euxina* Klok.), закупоривание устьичных щелей восковыми и смолистыми веществами (*Acinos villosus* Pers., *Fumana procumbens* (Dun.) Gren. et Godr., *Medicago glandulosa* (Mert. et Koch) David, *Salvia scabiosifolia* Lam., *Thymus tauricus* Klok. et Shost.), свертывание листьев в трубку (*Anthemis subtinctoria* Dobrocz., *Jurinea stoechadifolia* (Bieb.) DC., *Stachys angustifolia* Bieb., *Xeranthemum annuum* L.), наличие опушения (*Alcea taurica* Пjin, *Astracantha arnacantha* (M.Bieb.) Podlech, *Astragalus rupifragus* Pall., *Potentilla astrachanica* Jacq.).

В отличие от эвксерофитов гемиксерофиты обладают высокой интенсивностью транспирации, непрерывно поглощая воду из глубоких слоев почвы или даже непосредственно из грунтовых вод. Для этого у них имеется глубокая корневая система и хорошо развитая проводящая система. В то же время тонкие листья не способны переносить большой водный дефицит и в отсутствие воды быстро увядают. Высокая транспирация листьев оказывает охлаждающий эффект, что позволяет пережить растениям высокие дневные температуры. В ценофлоре доля гемиксерофитов очень низкая (7.2%, или 25 видов), еще ниже она в ядре ценофлоры (5.5%, или 3 вида), что свидетельствует о дефиците водных ресурсов на этой территории. К этой группе отнесены следующие виды: *Capparis herbacea* Willd., *Dianthus capitatus* Balb. ex DC., *Euphorbia petrophila* С.А. Mey., *Hypericum perforatum* L., *Isatis littoralis* Stev. ex DC., *Poterium polygamum* Waldst. et Kit. и др.

К стипаксерофитам относятся узколистные злаки, листья которых при наступлении жары и засухи сворачиваются в трубку. Эта группа растений хорошо усваивает влагу кратковременных ливневых осадков (происходит это за счет сильно разветвленной корневой системы, расположенной в верхнем слое почв) и может выносить перегрев. Однако они очень чувствительны к обезвоживанию и переносят лишь сравнительно кратковременный недостаток влаги в почве. Несмотря на то, что к стипаксерофитам относится небольшое число видов (22, или 6,4% – в ценофлоре), в растительных сообществах они доминируют и имеют самое большое покрытие (в ядре ценофлоры их доля выше – 16,4%). Именно поэтому при наступлении экстремально жаркого периода в июле-августе их высыхание приводит к изменению общего вида степных склонов, которые приобретают характерную желтую окраску. Помимо ковылей (*Stipa lessingiana* Trin. et Rupr., *S. lithophila* P. Smirn., *S. pulcherrima* C. Koch), которые и дали название всей группе, к стипаксерофитам также относятся виды рода *Elytrigia* (*E. maeotica* (Prokud.) Prokud., *E. nodosa* (Nevski) Nevski), *Festuca* (*F. callieri* (Hack.) Markgraf, *F. pseudovina* Hack. ex Wiesb., *F. valesiaca* Gaudin), *Koeleria* (*K. cristata* (L.) Pers., *K. lobata* (Bieb.) Roem. et Schult.), *Poa* (*P. angustifolia* L., *P. sterilis* Bieb.).

Суккуленты обладают повышенной жароустойчивостью из-за высокой вязкости цитоплазмы, медленно растут и расходуют мало воды. К ним в ценофлоре относятся всего два вида: стеблевой суккулент *Opuntia humifusa* Raf. (натурализовавшийся интродуцент, высаженный на Карадаге в 20-х годах XX в., в настоящее время на Карадаге является инвазионным и отмечается в разных типах сообществ, редко в степных) (Fateruga, Bagrikova, 2017) и листовой суккулент *Sedum hispanicum* L.

Ксерофитоиды представляют собой переходную группу между ксерофитами и мезофитами. Это тенелюбивые растения, которые относительно хорошо переносят обезвоживание, но очень неустойчивы к перегреву. Поэтому такие растения предпочитают тенистые места (*Agrimonia eupatoria* L., *Bromopsis benekenii* (Lange)

Holub, *Cirsium sublaniflorum* Sojak, *Erysimum cuspidatum* (M.Bieb.) DC., *Silene densiflora* D'Urv.) или северные склоны (*Alopecurus vaginatus* (Willd.) Pall. ex Kunth, *Plantago media* L., *Rosa tschatyrdagi* Chrshan.). Доля ксерофитоидов в ценофлоре незначительная (6.6%, или 23 вида), чуть больше их в ядре ценофлоры (9.1%, или 5 видов).

Еще одну промежуточную группу между ксерофитами и мезофитами составляют псевдоксерофиты. Это эфемеры и эфемероиды, которые переносят недостаток влаги (засуху) благодаря короткому жизненному циклу. Некоторые авторы считают, что по своему анатомическому строению они являются мезофитами; другие полагают, что сам уход от засухи с помощью ускоренного развития также является приспособлением к перенесению засухи (Генкель, 1982). В ценофлоре, в целом, доля псевдоксерофитов достаточно высокая (35.3%, или 122 видов), в ядре их гораздо меньше (18.2%, или 10 видов), однако мы считаем, что эта цифра сильно занижена, поскольку в июле (когда выполнено большинство геоботанических описаний) выявить растения, которые уже закончили свое развитие, очень сложно. К эфемерам относятся *Cerastium glutinosum* Fries, *Alyssum umbellatum* Desv., *Anisantha sterilis* (L.) Nevski, *Crupina vulgaris* Cass., *Kohlrauschia prolifera* (L.) Kunth, *Linum corymbulosum* Reichenb., *Medicago minima* (L.) Bartalini, *Scabiosa micrantha* Desf. и др.; к эфемероидам – *Bellevalia sarmatica* (Georgi) Woronow, *Crocus angustifolius* Weston, *Gagea transversalis* Stev., *Leopoldia comosa* (L.) Parl., *Muscari neglectum* Guss., *Ornithogalum fimbriatum* Willd. и др.

Эколого-физиологическая структура ценофлоры степных сообществ Карадага по отношению к водному режиму свидетельствует об адаптации растений к сезонному дефициту влаги. Еще одним ведущим экологическим фактором, от которого зависит жизнедеятельность растений, является их отношение к освещенности. Анализ ценофлоры по отношению к световому режиму показал, что в степных сообществах Карадага закономерно лидируют гелиофиты: 239 видов, или 69,1% – в ценофлоре и 40 видов, или 72,7% – в ядре, а также факультативные гелиофиты (сциогелиофиты): 92 вида, или 26,5% – в ценофлоре и 15 видов, или 27,3% – в ядре (табл. 3). Небольшое количество сциофитов и гелиосциофитов (в ядре они не представлены) отмечены под кроной одиночных деревьев (*Cirsium sublaniflorum* Sojak, *Corydalis paczoskii* N. Busch, *Galium aparine* L., *Paeonia daurica* Andr., *Silene italica* (L.) Pers.), или относятся к деревьям, образующие на Карадаге леса и редколесья, но отмеченные также и в степных сообществах (*Quercus pubescens* Willd., *Carpinus orientalis* Mill., *Crataegus curvisepala* Lindm., *Fraxinus excelsior* L., *Pyrus communis* L.). В составе факультативных гелиофитов также присутствуют древесные растения (*Cotinus coggygria* Scop., *Cornus mas* L., *Juniperus excelsa* Bieb., *Juniperus oxycedrus* L., *Crataegus orientalis* Pall. ex Bieb., *Rosa corymbifera* Borkh.). Разнообразный видовой состав и значительное количество деревьев и кустарников в степях Карадага свидетельствует об их трансформации в лесостепные комплексы, где совместно произрастают степные и лесные виды. Особенно это характерно для склонов северных и западных экспозиций. На склонах южной экспозиции деревья и кустарники либо отсутствуют полностью, либо произрастают только в качестве подроста, который впоследствии не выживает (рис. 1).

Таблица 3.

Структура флористического состава степей Карадагского заповедника по световому режиму

Тип экоморфы	Ценофлора		Ядро ценофлоры	
	Число видов	Доля, %	Число видов	Доля, %
Гелиофит	239	69,1	40	72,7
Гелиосциофит	13	3,8	0	0
Сциофит	2	0,6	0	0
Сциогелиофит	92	26,5	15	27,3
Итого:	346	100	55	100

Анализ ценофлоры по отношению к солевому режиму согласно классификации В.Н. Голубева (1996) показал, что при доминировании гликофитов в ценофлоре и ядре, к галофитам и факультативным галофитам относится не более 5,8% – в ценофлоре и 7,3% – в ядре (табл. 4), в основном относящиеся к криногалофитам и галоксерофитам. Первые представляют собой растения, выделяющие соли через специальные железки на листьях, поэтому часто на поверхности листа присутствует налет из кристаллов солей (*Capparis herbacea* Willd., *Goniolimon tataricum* (L.) Boiss., *Limonium meyeri* (Boiss.) O. Kuntze, *Peganum harmala* L.) К галоксерофитам относятся соленепроницаемые растения, которые устойчивы к водному дефициту и засолению почв (*Achillea nobilis* L., *Artemisia scoparia* Waldst. et Kit., *Artemisia taurica* Willd., *Astrodaucus orientalis* (L.) Drude, *Elytrigia maeotica* (Prokud.) Prokud., *Festuca pseudovina* Hack. ex Wiesb. и др.

Таблица 4.

Структура флористического состава степей Карадагского заповедника по солевому режиму

Тип экоморфы	Ценофлора		Ядро ценофлоры	
	Число видов	Доля, %	Число видов	Доля, %
Галофит	11	3,2	3	5,5
Гликофит	326	94,2	51	92,7
Наряду с галофитностью возможна гликофитность (факультативный галофит)	9	2,6	1	1,8
Итого:	346	100	55	100

Выводы

1. Экологическая структура степных сообществ Карадага сформировалась в условиях дефицита водных ресурсов и летних высоких температур. Растения в основном получают влагу из атмосферных осадков, лишь незначительная часть приспособлена к ее добыванию из грунтовых вод. В целом, анализ ценофлоры по водному режиму показал, что подавляющее большинство видов являются ксерофитами так или иначе приспособленные к перенесению засухи. По классификации Генкеля доля таких видов составила 55,5%.

2. В структуре флоры степей Карадага по световому режиму лидируют гелиофиты (69,1% – в ценофлоре и 72,7% – в ядре). Доля факультативных гелиофитов (сциогелиофитов) составила 26,5% в ценофлоре и 27,3% в ядре. Небольшое число видов (15 или 4,4%) сциофитов и гелиосциофитов (в ядре они не представлены) произрастают под кронами одиночных деревьев.

3. В структуре флоры по отношению к засолению лидируют гликофиты (94,2% – в ценофлоре и 92,7% – в ядре). Несмотря на близость моря, доля галофитов низкая (3,2% – в ценофлоре и 5,5 % – в ядре).

Список литературы

1. Антонец Н.В., Ярыш В.Л. Средообразующая деятельность диких копытных животных Карадагского природного заповедника // 100 лет Карадагской научной станции им. Т.И. Вяземского: сборник научных трудов / под ред. А.В. Гаевской, А.Л. Морозовой. – Симферополь: Н. Орианда, 2015. – С. 361–371.
2. Генкель П.А. Физиология жаро- и засухоустойчивости растений. – М.: Наука, 1982. – 280 с.

3. Голубев В.Н. Биологическая флора Крыма. 2-е издание. – Ялта: НБС-ННЦ, 1996. – 120 с.
4. Дидух Я.П., Шеляг-Сосонко Ю.Р. Карадагский государственный заповедник. Растительный мир. – Киев: Наукова думка, 1982. – 152 с.
5. Зуев А.В., Глибин Ю.В., Гасников С.В., Фролова Т.А. Проявление континентальности климата в пределах Карадагской горной группы // Труды Карадагской научной станции им. Т.И. Вяземского – Природного заповедника РАН. – 2018. – Вып. 3 (7). – С. 84 – 92.
6. Зуев А. В., Летухова В. Ю, Зуева Е. А. Климатические изменения как фактор трансформации растительного покрова на примере Карадагского ландшафтно-экологического стационара // Труды Карадагской научной станции им. Т.И.Вяземского – Природного заповедника РАН. – 2020. – Вып. 1(13). – С.77-98.
7. Каменских Л.Н. Растительность // Ландшафтно-экологический стационар Карадагского природного заповедника. Вып. 1 / под ред. А.Л. Морозовой, Ю.И. Будашкина, В.А. Бокова. – Симферополь: Таврия-Плюс, 1999. – С. 52–72.
8. Каменских Л.Н., Потапенко И.Л. О новых видах адвентивной флоры Карадагского природного заповедника // Экосистемы, их оптимизация и охрана. – 2012. – Вып. 6. – С. 3–14.
9. Карадаг заповедный: научно-популярные очерки / под ред. А.Л. Морозовой. – Симферополь: Н. Оріанда, 2011. – 288 с.
10. Кобечинская В.Г. Сравнительная характеристика структуры и продуктивности степных фитоценозов Карадагского ландшафтно-экологического стационара и горного массива Эчки-Даг // Карадаг – 2009: Сборник научных трудов, посвящ. 95-летию Карадагской научной станции и 30-летию Карадагского природного заповедника НАН Украины / под ред. А.В. Гаевской, А.Л. Морозовой. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2009. – С. 125–136.
11. Летухова В.Ю., Потапенко И.Л. Флористический анализ степей Карадагского природного заповедника // Экосистемы. – 2019. – Вып. 20. – С.21–29.
12. Миркин Б.М., Наумова Л.Г., Соломещ А.И. Современная наука о растительности: учебник. – М.: Логос, 2001. – 264 с.
13. Миронова Л.П., Каменских Л.Н. Сосудистые растения Карадагского заповедника (аннотированный список видов) // Флора и фауна заповедников. – Вып. 58. – М., 1995. – 102 с.
14. Миронова Л.П., Фатерыга В.В. Флора Карадагского природного заповедника (сосудистые растения) // 100 лет Карадагской научной станции им. Т.И. Вяземского: сборник научных трудов / под ред. А.В. Гаевской, А.Л. Морозовой. Симферополь: Н. Оріанда, 2015. – С. 160–204.
15. Тайсумов М.А., Магомадова Р.С., Абдурзакова А.С., Астамирова М.А.-М., Хасуева Б.А., Ханаева Х.Р., Исраилова С.А. Классификация ксерофитов Российского Кавказа по морфолого-физиологическим признакам и схема их деления // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 3. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=13156> (дата обращения: 08.05.2020).
16. Фатерыга В.В., Фатерыга А.В. Дополнения к флоре сосудистых растений Карадагского заповедника (Крым) // Nature Conservation Research. Заповедная наука. – 2019. – Т. 4(2). – С. 67–82. <http://dx.doi.org/10.24189/ncr.2019.017>
17. Ярыш В.Л., Иванов С.П. Феномен высокой плотности копытных в Карадагском природном заповеднике в Крыму. Сообщение II. Многолетняя динамика численности // Ученые записки Крымского федерального университета им. В.И. Вернадского. Биология. Химия. – 2017. – Т. 3(69). – № 4. – С. 253–267.

18. Biodiversity Support Program. Priority-setting in Conservation: A New Approach for Crimea: Results of the Conservation Needs Assessment in Crimea, supported by the Biodiversity Support Program. Washington, D.C.: BSP, 1999. 257 p.
19. Czerepanov S. K. Vascular plants of Russia and adjacent states (the former USSR). – Cambridge University Press, 1995. – 516 p.
20. Fateryga V. V., Bagrikova N. A. Invasion of *Opuntia humifusa* and *O. phaeacantha* (Cactaceae) into plant communities of the Karadag Nature Reserve // Nature Conservation Research. Заповедная наука. – 2017. – Т. 2(4). – С. 26–39. DOI: [10.24189/ncr.2017.011](https://doi.org/10.24189/ncr.2017.011)

ECOLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE STEPPE COENOFLORE IN THE KARADAG NATURE RESERVE

Letukhova V. Ju., Potapenko I. L.

*T. I. Vyazemsky Karadag Scientific Station – Nature Reserve of RAS – Branch of
A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS,
Kurortnoe, Foedosia, Russian Federation,
e-mail: letukhova@gmail.com*

Based on the analysis of our own and published data an ecological characteristics of steppe communities' coenoflora of the Karadag Nature Reserve (the Crimea) are given. We noted 346 species of vascular plants from 200 genera belonging to 54 families. The prevailing ecological groups in relation to the moisturizing are xeromesophytes (53,2%) and mesoxerophytes (26,0%). As the steppe communities are formed in very arid conditions only 6.4% of species belong to mesophytes. An ecology-physiological classification of coenoflora in relation to the morphological and anatomical characteristics is given. Most of species (55,5%) in the coenoflora have varied adaptations to the drought. The most common ones are the following: thick layer of the cuticle, the pubescence, plugging of the stomata with wax and resinous substances, leaves folding to a tube, and deep root system. Another group of plants (35,3%) avoids drought due to its short life cycle. A few number of species (6,6%) prefers shady places (under the crown of trees) or the northern slopes and is not widely spread. In relation to light regime heliophytes are naturally leading (69,1%) in the coenoflora structure. In relation to the salt regime glycophytes predominate (94,2%), halophytes are mainly represented by crinohalophytes and haloxerophytes.

Key words: steppe, coenoflora, ecological condition, Karadag, the Crimea

Летухова Виктория Юрьевна	Кандидат биологических наук, старший научный сотрудник отдела изучения биоразнообразия и экологического мониторинга, Карадагская научная станция им. Т.И. Вяземского – природный заповедник РАН – филиал ФИЦ ИнБЮМ; e-mail: letukhova@gmail.com
Потапенко Ирина Леонидовна	Кандидат биологических наук, старший научный сотрудник отдела изучения биоразнообразия и экологического мониторинга, Карадагская научная станция им. Т.И. Вяземского – природный заповедник РАН – филиал ФИЦ ИнБЮМ

Поступила в печать 07.07.2020 г.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ
ГИДРОБИОЛОГИЯ

УДК 593.8:665.7:591.148(262.5)

**СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВОЗДЕЙСТВИЯ
НЕФТЕПРОДУКТОВ НА БИОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЮ
ЧЕРНОМОРСКИХ ГРЕБНЕВИКОВ-ВСЕЛЕНЦЕВ
MNEMIOPSIS LEIDYI A.AGASSIZ, 1865 И *BEROE OVATA* MAYER, 1912***

Машукова О.В., Силаков М.И.

ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН»,
г Севастополь, Российская Федерация,
e-mail: olgamashukova@yandex.ru

Выяснение различных аспектов функциональных взаимоотношений гидробионтов с окружающей средой, обеспечивающих их рост, репродукцию, биоразнообразие популяций и распространение в самых разнообразных по экологическим условиям, в частности, антропогенному прессингу районах Мирового океана, является важнейшим направлением современной гидроэкологии. Одним из путей сохранения биоразнообразия служит повышение стойкости вида, что возможно только при исследовании различных аспектов его адаптации к антропогенному воздействию. Наибольший вред чистоте водоемов приносят нефть и нефтепродукты, попадающие в воду различными путями. В работе рассматривается чувствительность черноморских гребневиков к воздействию сырой нефти на примере изменения параметров биолюминесценции этих видов.

Отбор проб осуществляли с поверхности воды в севавтопольских бухтах Черного моря. Биолюминесцентные сигналы гребневиков регистрировали при помощи приборно-лабораторного комплекса «Свет». Результаты исследований показали изменчивость амплитудно-временных характеристик биолюминесценции гребневиков *Mnemiopsis leidy* A.Agassiz, 1865 и *Beroe ovata* Mayer, 1912 в зависимости от концентрации нефтепродуктов. Интенсивность и энергия свечения гребневиков снижается с увеличением концентрации действующего нефтепродукта. Стимулирующий эффект наблюдается при концентрации 0,1 ПДК сырой нефти, что выражается в повышении интенсивности свечения гребневиков. Ингибирование биолюминесценции *M. leidy* и *B. ovata* максимально при 10 ПДК нефтепродукта. Выявленная в результате экспериментов высокая чувствительность биолюминесценции гребневиков к воздействию нефтепродуктов позволяет использовать их в качестве биоиндикаторов этого вида токсикантов.

Ключевые слова: характеристики светоизлучения, сырая нефть, гребневики, Чёрное море.

Введение

Экологическое состояние любой акватории зависит от влияния совокупности антропогенных и природных факторов. Основными экологическими проблемами, которые возникли в Чёрном море ещё в конце XX ст., являются эвтрофикация шельфовых зон, загрязнение морской среды токсическими веществами, и, как

* Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ ИнБЮМ по теме № АААА-А18-118020790229-7 и при частичной поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 18-45-920015 p_a). Отработка метода проводилась в рамках темы «Комплексные исследования современного состояния экосистемы Атлантического сектора Антарктики», № гос.регистрации АААА-А19-119100290162-0.

следствие, деградация прибрежных гидробиоценозов (Воробьев и др., 2006; Доценко, 1995; Иванов и др., 2006; Tokarev, Shulman, 2007).

Большинство загрязняющих веществ, попадая в морскую воду, создают ситуации локального либо регионального загрязнения, чем нарушают нормальный ход биологических процессов. Токсические соединения активно воздействуют на метаболизм и репродукцию планктонных организмов – представителей начальных трофических звеньев в море (Лукьяненко, Черкашин, 1987; Миронов, 2006). Наряду с детергентами, поверхностно-активными веществами (ПАВ) антропогенного происхождения (карбоновые кислоты, их соли, спирты, амины, сульфокислоты и др.) и естественными ПАВ, представляющими собой продукты жизнедеятельности морских организмов, нефть является основным источником загрязнения поверхности океана.

Достаточно хорошо исследованы процессы биоаккумуляции нефтепродуктов у организмов различной таксономической принадлежности, поведенческие реакции гидробионтов на присутствие в среде различных фракций нефтепродуктов (Лозовой, 2012; Миронов и др., 2018; Саксонов и др., 2001; Стом, Гиль, 1998).

Согласно современным представлениям, основанным на многолетних экспериментальных и натурных исследованиях, потенциально токсичными для морской среды являются такие микроэлементы нефти, которые содержат нафтеновые кислоты и фенольные соединения, хлороформенные битумоиды, в составе которых имеются такие экологически особо опасные соединения, как полиароматические углеводороды (Воробьев и др., 2006).

Биолюминесцентная система планктонтов, как один из ферментсубстратных модулей в комплексе внутренних биофизических циклов организма, испытывает определённые сдвиги при контакте с токсикантами (Токарев и др., 2016). В ряде случаев показаны нарушения функциональных характеристик организмов, подавление или смещение фазового периода циркадных ритмов биолюминесценции и её характеристик под воздействием некоторых химических и физических агентов (Heimann et al., 2002; Tokarev et al., 2007).

В силу вышеизложенного одной из задач нашей работы явилось исследование воздействия нефтепродуктов на изменение характеристик биолюминесценции гребневиков. Подобных исследований с ктенофорами до сих пор не проводилось.

Эта задача решалась с использованием нефтепродуктов, воздействие которых подвергает риску дестабилизации ряд локальных акваторий Чёрного моря (Доценко, 1995; Миронов, 2006). ПДК, установленные для исследуемых соединений, по порядку величин близки к среднему содержанию в морских водах (Ежегодник качества..., 2009; Перечень предельно..., 1995).

Материалы и методы

Исследования вариабельности светоизлучения *M. leidy* и *B. ovata* в зависимости от воздействия нефтепродуктов проводили в Отделе биофизической экологии ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН» (ФИЦ ИнБИОМ) в июле-августе 2018 и сентябре-октябре 2019 гг. В качестве нефтепродуктов использовался малосернистый легкий сорт сырой нефти. Пробы гребневиков с поверхности воды отбирали сачком в 4 точках в севастопольских бухтах: Артиллерийская и Александровская. Концентрация нефтепродуктов в воде в данных точках была одинаковой.

Для опытов отбирали одноразмерную группу половозрелых особей *M. leidy* – 35–40 мм (орально-аборальная длина) с сырой массой $9,16 \pm 0,45$ г и половозрелых *B. ovata* длиной 30–40 мм с сырой массой 3,8–7,7 г. Свежевыловленные особи помещали в ёмкости объёмом 3–5 л с профильтрованной морской водой (диаметр пор

мембранных фильтров 35 мкм) при температуре $21 \pm 2^\circ\text{C}$ и адаптировали к условиям опыта.

Гребневики разделяли на 4 группы (в каждой экспериментальной группе по 40 экземпляров): 1) особи, содержащиеся при концентрациях нефтепродуктов, в 10 раз меньше ПДК (Перечень предельно..., 1995); 2) особи, содержащиеся при ПДК нефтепродуктов; 3) особи, содержащиеся при концентрациях нефтепродуктов, в 10 раз превышающих ПДК, и 4) контроль – свежельвленные гребневики, содержащиеся в чистой морской воде. Для исследований были взяты только неповрежденные особи без содержимого в гастроваскулярной полости. Экспозиция гребневики в темноте контрольной и экспериментальных групп составляла 1 ч.

Биолюминесцентные сигналы ктенофор регистрировались сразу после экспозиции. Параллельно проводились измерения сигналов у организмов из контрольной группы. Определение характеристик биолюминесценции гребневики проводили в дневное время при полной темноте. Организмы каждой группы гребневики подвергали механической и химической стимуляции при помощи приборно-лабораторного комплекса “Свет” (Токарев и др., 2016). Приборный комплекс включал в себя высоковольтный блок питания (ВС-22); люминескоп, состоящий из приёмника светового излучения (ФЭУ-71) и темновой камеры для объекта, а также цифровой интерфейс. Частота регистрации биолюминесцентного сигнала составляла 10 кГц. Данные выводились на экран в виде графика и записывались в текстовый файл с привязкой по времени. В темновую камеру люминескопа устанавливали кювету объёмом 50 см^3 из прозрачного оргстекла, в которую отсаживали подопытные организмы. Биолюминесцентный анализ состоял из двух фаз.

Первая фаза биолюминесцентного анализа основана на механической стимуляции свечения, которая сводилась к созданию потока воды в сосуде с гребневиком с помощью поршневого устройства. Возникающие при перемещении воды изменения гидрофизических характеристик приводят к деформации клеточной мембраны гребневика, которая, в свою очередь, индуцирует возникновение потенциала действия и, как следствие, светоизлучения. *In situ* биолюминесцентную вспышку запускает именно механический стимул – сдвиговое напряжение жидкости, причём, при переходе тока жидкости от ламинарного к турбулентному, свечение резко возрастает по интенсивности.

Вторая фаза эксперимента, включающая химическую стимуляцию свечения, используется для получения информации о максимальном биолюминесцентном потенциале. В качестве химического раздражителя в кюветы с организмами вводили 2 см^3 96% этилового спирта (Heimann et al., 2002).

Результаты и обсуждение

Результаты исследований показали, что стимулирующее действие при 0,1 ПДК сменяется ингибированием их свечения при увеличении концентрации токсиканта до 10 ПДК.

Выявлено существенное изменение показателей амплитуды светоизлучения *M. leidy* (рис. 1), максимальные значения которой зарегистрированы у гребневики, содержащихся при минимальных концентрациях реагента при химической стимуляции.

Уровень интенсивности светоизлучения данной экспериментальной группы при непродолжительной экспозиции (1 ч) в 2 раза превышает контроль ($p < 0,05$). Во всех экспериментальных группах при механической стимуляции, адекватной природным стимулам, амплитуда светоизлучения гребневика снижается с увеличением концентрации нефтепродукта (рис. 1). При воздействии 10 ПДК нефти интенсивность свечения *M. leidy* минимальна при обоих видах стимуляции. Значения интенсивности

свечения при механической стимуляции составляет $39,01 \pm 1,94 \cdot 10^{-4}$ мкВт·см⁻², что в 2 раза ниже контроля.

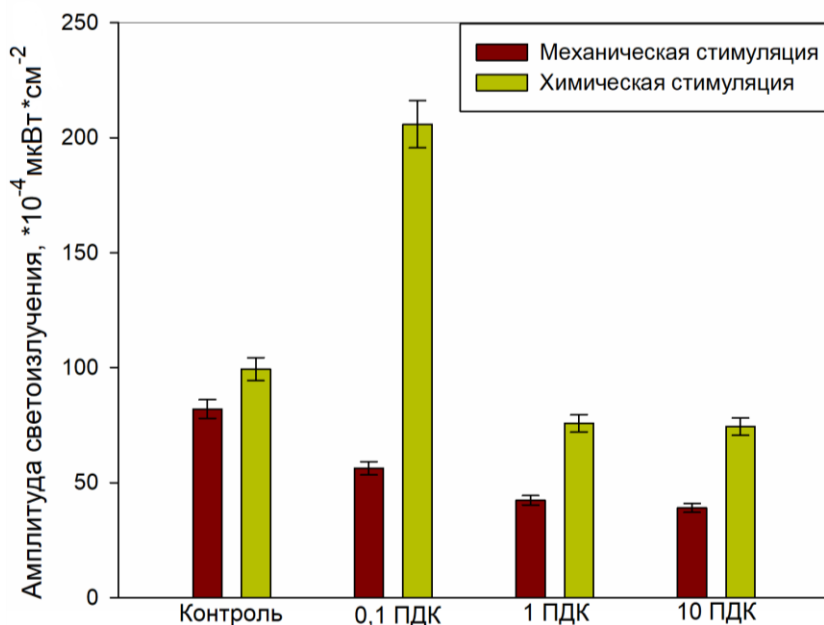


Рис. 1. Вариабельность амплитуды свечения гребневика *M. leidyi* при воздействии различных концентраций нефтепродуктов

Длительность светоизлучения при механической стимуляции у экземпляров *M. leidyi*, находящихся под воздействием токсиканта, возрастает, достигая значений контроля при 10 ПДК – 1,59 с. (рис. 2). При химической стимуляции продолжительность биолюминесцентного сигнала практически не изменяется и при высокой концентрации токсиканта идентична контролю – 1,37 с.

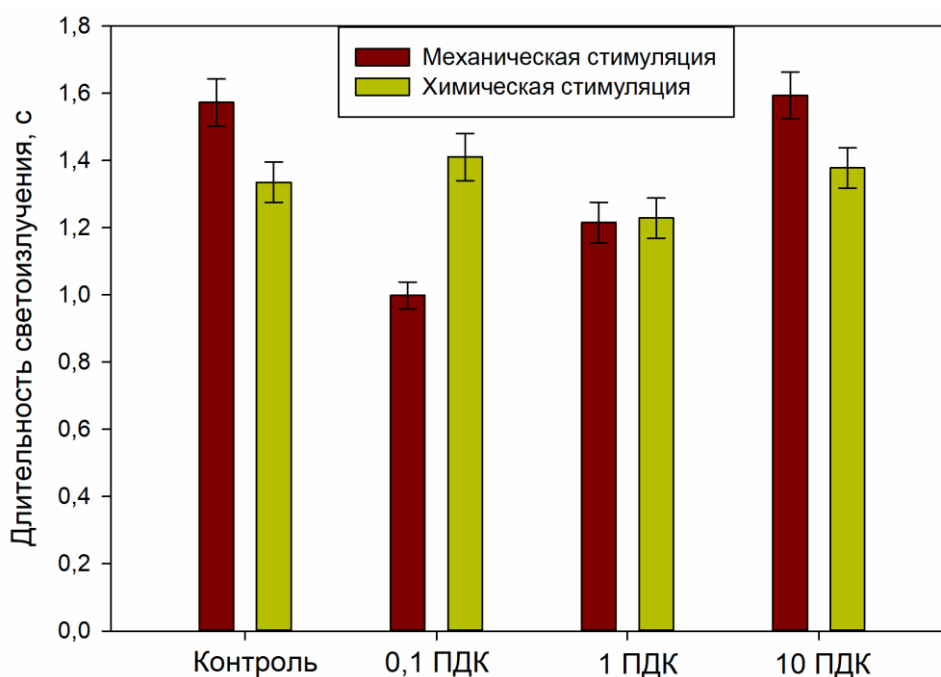


Рис. 2. Вариабельность длительности свечения гребневика *M. leidyi* при воздействии различных концентраций нефтепродуктов

При воздействии малых концентраций нефтепродуктов на *B. ovata* наблюдается незначительное увеличение значений амплитуды светоизлучения (рис. 3). Однако, с увеличением концентрации, показатели амплитуды резко снижаются до $15\text{--}20 \cdot 10^{-4}$ мкВт см⁻², что в 2–3 раза ниже контрольных значений и достигают минимума при 10 ПДК.

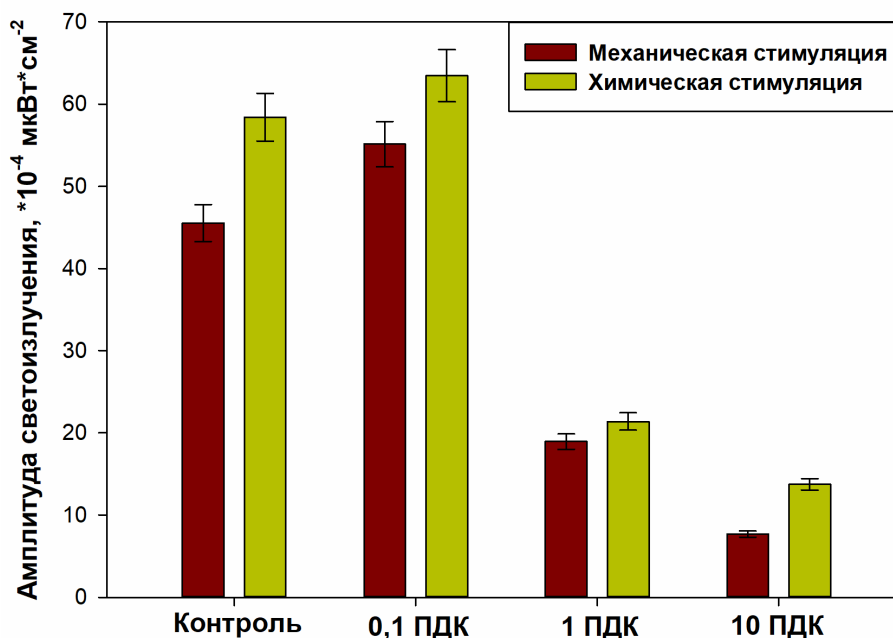


Рис. 3. Вариабельность амплитуды свечения гребневика *B. ovata* при воздействии различных концентраций нефтепродуктов

Длительность светоизлучения *B. ovata* (рис. 4) при всех исследуемых концентрациях в 2–3 раза ниже контрольных значений и практически не изменяется. Продолжительность сигналов при обоих методах стимуляции составляет 1,04–1,10 с.

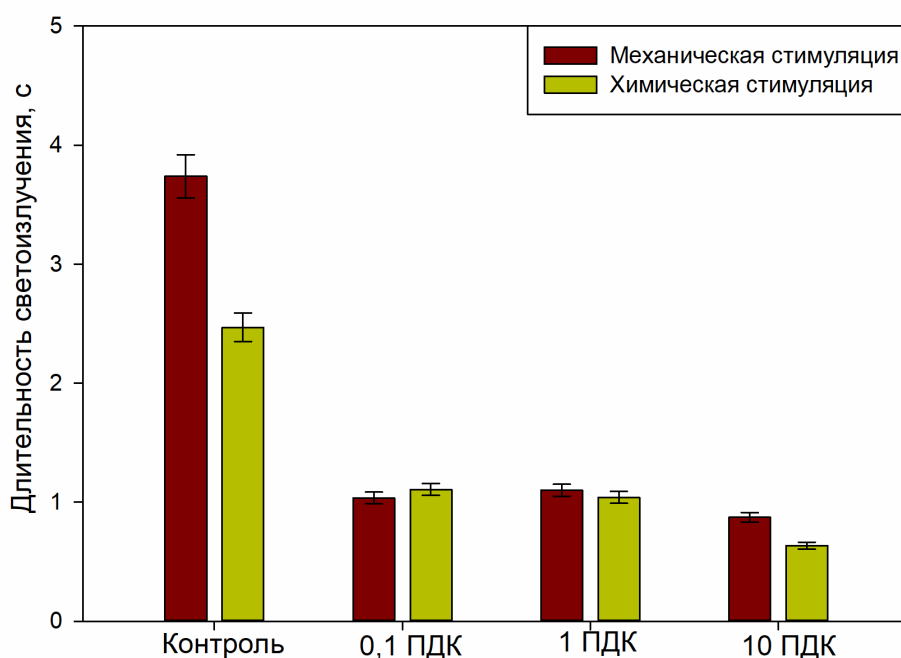


Рис. 4. Вариабельность длительности свечения гребневика *B. ovata* при воздействии различных концентраций нефтепродуктов

Экспозиция гребневиков при различных концентрациях нефтепродуктов оказала влияние и на характер биолюминесцентных сигналов гребневиков (рис. 5).

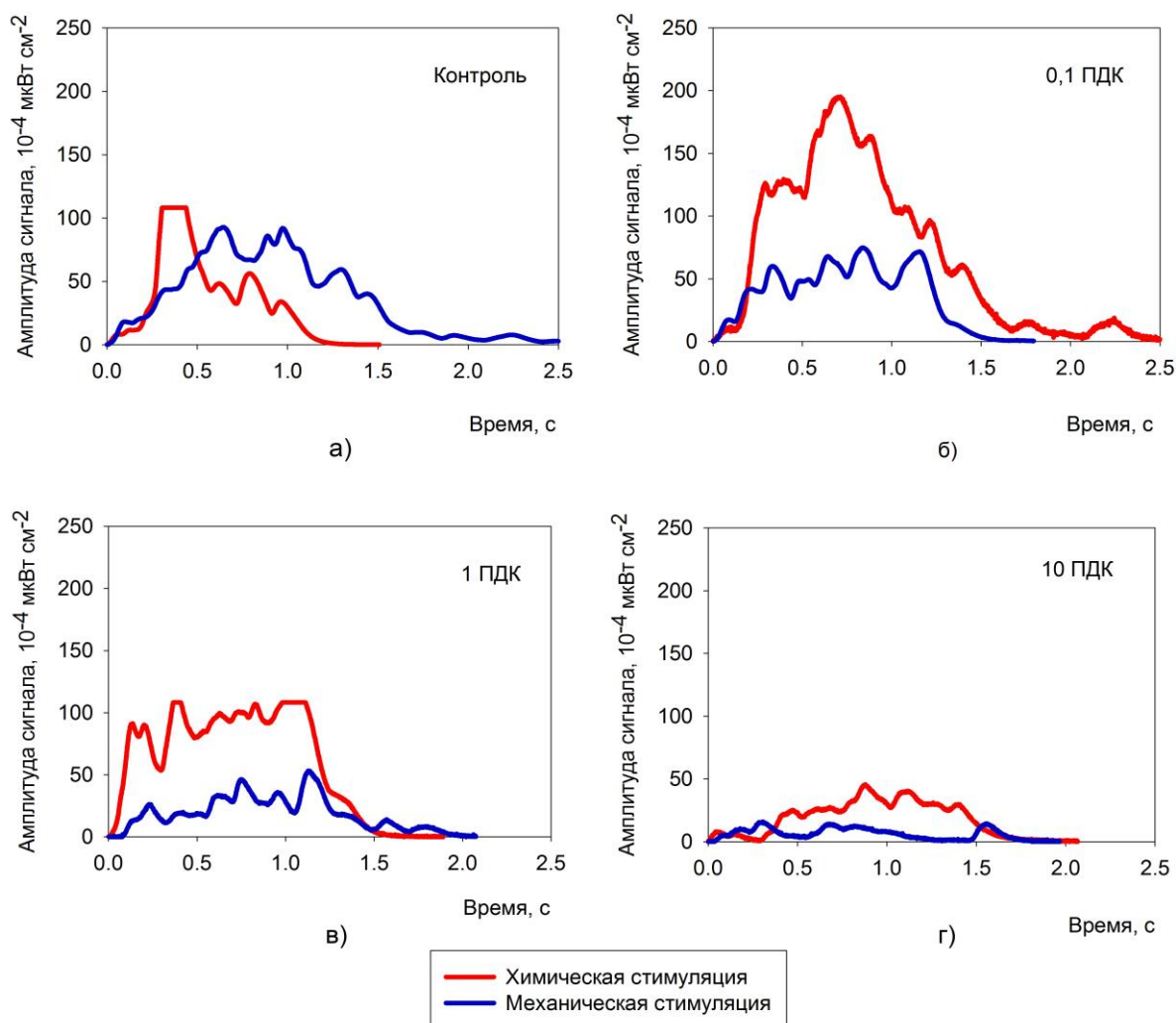


Рис. 5. Типичные сигналы гребневиков *M. leidy* и *V. ovata* при воздействии различных концентраций нефтепродуктов при химической стимуляции

Форма биолюминесцентного сигнала у гребневиков в зависимости от концентрации нефтепродуктов существенно отличается. Так, при минимальной концентрации в 0,1 ПДК можно наблюдать ряд последовательных ярких вспышек, зачастую накладывающихся друг на друга с максимальной амплитудой и пологим фронтом нарастания и спада, при этом более резкие вспышки большей амплитуды, быстро достигающие максимума и также быстро спадающие, наблюдаются при химической стимуляции (рис. 5). При увеличении концентрации до 1 ПДК наряду с изменением амплитудно-временных показателей свечения существенно изменяется и характер сигналов. Так, сигналы представляют собой 3–4 пика с крутым фронтом нарастания, и таким же фронтом затухания. Увеличение концентрации сырой нефти до 10 ПДК приводит к наименьшим по амплитуде и наиболее сглаженным биолюминесцентным сигналам. Вероятно, это связано с особенностями строения *V. ovata* (большим % соотношением ОВ), его более низкой проницаемостью клеточных мембран.

Токсические вещества оказывают ингибирующее воздействие не только на биолюминесцентные виды, но и процессы жизнедеятельности несветящихся

организмов (Саксонов и др., 2001; Tokarev et al., 2007). Ранее упоминалось, что белок в теле гребневика составляет 80% всего ОВ (Tokarev, Shulman, 2007), поэтому ингибирование свечения *M. leidy* и *B. ovata* при воздействии нефтепродуктов можно объяснить в первую очередь, структурно-функциональными изменениями люциферин-люциферазного комплекса, имеющего белковую природу, так и возможным снижением метаболизма. Основная масса реакций гребневиков, в том числе и определяющих билюминесценцию, относятся к числу ферментативных, что, видимо, и находит отражение в снижении контролируемых функций.

Нами показано различие в поведенческой реакции гребневиков в разных экспериментальных группах. Гребневика, содержащиеся при 0,1 ПДК, активно передвигались в течение всего времени экспозиции, аналогично контрольным организмам. Наблюдение за поведением *M. leidy* и *B. ovata* показало, что ктенофоры, помещенные в токсикант с концентрацией 1 ПДК нефтепродуктов, сначала увеличивали свою двигательную активность, что фиксировалось по усиленному биению гребных пластинок, затем уменьшали, периодически оседая на дно. Особи, содержащиеся при максимальной концентрации в 10 ПДК, прекращали движение гребных пластинок и оседали на дно уже через 15 минут после экспозиции. Аналогичные исследования по изучению физического и токсического воздействия на водные организмы различных токсикантов проведены в работах (Воробьев и др., 2006; Иванов и др., 2006; Картамышева, Иванченко, 2018; Лозовой, 2012; Лукьяненко, Черкашин, 1987; Миронов, 2006; Миронов и др., 2018). При этом тяжесть эффекта обычно зависит от количества и типа разлитой нефти, условий окружающей среды и чувствительности затронутых организмов и их среды обитания к нефти и нефтепродуктам (Картамышева, Иванченко, 2018; Миронов, 2006). Вариабельность свечения гребневика при воздействии нефтепродуктов можно объяснить токсичностью нефти, приводящей к нарушению функционирования клеточных функций, что было выявлено ранее на других организмах в работах (Картамышева, Иванченко, 2018; Лозовой, 2012).

Так, Картамышевой с соавторами было показано, что под действием углеводородов, растворённых в воде, происходит разрушение жабр некоторых рыб (при этом наблюдается нарушение водно-солевого обмена и процессов дыхания), происходит воздействие на нервно-мышечную систему, снижается чувствительность организмов к химически опасным веществам (Картамышева, Иванченко, 2018).

Возможно, в наших исследованиях воздействие токсиканта оказывает влияние на иннервацию гребневика и затрагивает систему гребных пластинок с фоточитами, что приводит к существенным изменениям в билюминесцентной системе в целом. Ответная реакция гребневиков при воздействии нефтепродуктов напоминает таковую при действии ряда тяжелых металлов на *M. leidy* и *B. ovata*, особенно цинка (Токарев и др., 2016).

Полученные в данных экспериментальных исследованиях значения параметров билюминесцентного сигнала требуют дальнейшего сопоставления с данными полевых экспедиционных работ в Черном море по изучению пространственного распределения светящихся гребневиков в районах с различным уровнем антропогенной нагрузки и различным уровнем концентрации нефтепродуктов. Для этой цели нужно провести сбор и исследование гребневиков в бухтах и открытом взморье Севастополя.

Таким образом, выявленная в результате экспериментов высокая чувствительность билюминесценции гребневиков позволяет оценить лимитирующие уровни накопления нефтепродуктов и их аккумуляцию в теле гребневиков и является чрезвычайно важной задачей дальнейших исследований. Универсальность связи билюминесценции организмов с их биоэнергетикой очевидна. Это свидетельствует в пользу того, что состояние систем энергообеспечения служит индикатором определённых стадий отслеживания гидробионтами уровня антропогенной нагрузки и

позволяет использовать амплитудно-временные характеристики биолюминесценции для целей биомониторинга.

Заключение

1. Воздействие нефтепродуктов приводит к изменению амплитудно-энергетических характеристик светоизлучения гребневигов *M. leidyi* и *V. ovata*.

2. Концентрация сырой нефти в 0,1 ПДК стимулирует биолюминесценцию гребневигов *M. leidyi* и *V. ovata* на протяжении 1-часовой экспозиции, а 10 ПДК – ингибирует её.

3. Параметры биолюминесценции гребневигов могут служить экспрессивным показателем их функционального состояния, степени их резистентности к воздействию нефтепродуктов и использоваться в качестве экспресс-индикатора экологического состояния морских планктонных сообществ.

Список литературы

1. Воробьев Д.С., Рясинцева Н.И., Савин П.Т. и др. Влияние нефти и нефтепродуктов на макрозообентос // Известия Томского политехнического университета. – 2006. – Т. 309, № 3. – С 42–45.
2. Доценко С.А. Специфические черты гидрологического и гидрохимического режимов и уровень загрязнения прибрежной зоны моря в районе Одессы // Исследования шельфовой зоны Азово-Черноморского бассейна. – Севастополь: МГИ НАНУ, 1995. – С. 31–43.
3. Ежегодник качества морских вод по гидрохимическим показателям за 2007 г. / Под ред. А.Н. Коршенко, И.Г. Матвейчук, Т.И. Плотникова и др. // Обнинск: Артифлекс, 2009. – 160 с.
4. Иванов В.А., Показеев К.В., Совга Е.Е. Загрязнение Мирового океана // Учебное пособие. – Москва: МАКС Пресс, 2006. – 164 с.
5. Картамышева Е.С., Иванченко Д.С. Загрязнение мирового океана нефтью и нефтепродуктами // Молодой ученый. – 2018. – № 25. – С. 20-23.
6. Лозовой Д.В. Влияние нефтяных углеводородов на байкальские организмы в естественных и лабораторных условиях // Георесурсы. – 2012. – Т. 1, № 43. – С. 43–57.
7. Лукьяненко В.И., Черкашин С.А. Экспериментальное обоснование возможности использования реакции избегания гидробионтами токсикантов для биотестирования качества водной среды // Физиология и биохимия гидробионтов. – Ярославль: Гос. ун-т, 1987. – С. 48–57.
8. Миронов О.Г. Потоки нефтяных углеводородов через морские организмы // Морской экологический журнал. – 2006. – Т. 5, № 2. – С. 5–14.
9. Миронов О.Г., Алемов С.В., Щекатурина Т.Л. и др. Санитарно-биологические исследования прибрежных акваторий юго-западного Крыма в начале XXI века // Симферополь: ИТ “Ариал”, 2018. – 276 с.
10. Перечень предельно допустимых концентраций и ориентировочно безопасных уровней воздействия вредных веществ для воды рыбохозяйственных водоёмов / Под ред. С.Н. Анисова, С.А. Соколова, Т.В. Минева и др. // Москва: Мединор, 1995. – 221 с.
11. Руднева И.И., Скуратовская Е.Н., Дорохова И.И. и др. Биоиндикация экологического состояния морских акваторий с помощью биомаркёров рыб // Вод. ресурсы. – 2011. – Т. 38, № 1. – С. 92–98.

12. Саксонов М.Н., Балаян А.Э., Стом Д.И. Метод люминесцентной микроскопии в определении накопления нефтепродуктов эпишурой и биоиндикация загрязнения, // Водные ресурсы. – 2001. – № 6. – С. 752–755.
13. Стом Д.И., Гиль Т.А. Сравнительная токсикометрия органических и неорганических загрязнителей на веслоногих и ветвистоусых рачках // Доклады А.Н. – 1998. – № 1. – С. 140–142.
14. Токарев Ю.Н., Евстигнеев П.В., Машукова О.В. Планктонные биолюминесцентные Мирового Океана: биоразнообразие, характеристики биолюминесценции в норме и при антропогенном воздействии // Н. Орианда, 2016. – 340 с.
15. Черкашин С.А., Никифоров М.В., Шелехов В.А. Использование показателей смертности предличинок морских рыб для оценки токсичности цинка и свинца // Биология моря. – 2004. – Т. 30, № 3. – С. 247 – 252.
16. Anninsky V.E., Finenko G.A., Abolmasova G.I. et al. Effect of starvation on the biochemical compositions and respiration rates of ctenophores *Mnemiopsis leidyi* and *Beroe ovata* in the Black Sea // J. Mar. Biol. Assoc. U.K. – 2005. – Vol. 85, № 3. – P. 549–561.
17. Clarke A., Holmes L.J., Gore D.J. Proximate and elemental composition of gelatinous zooplankton from the Southern Ocean // J. Exp. Mar. Biol. Ecol. – 1992. – Vol. 155. – P. 55 – 68.
18. Heimann K., Matuszewski J.M., Klerks L.P. Effects of metals and organic contaminants on the recovery of bioluminescence in the marine dinoflagellate *Pyrocystis lunula* (Dinophyceae) // J. Phycol. – 2002. – Vol. 38. – P. 482–492.
19. Tokarev Yu.N., Evstigneev P.V., Mashukova O.V. et al. Bioluminescence of plankton organisms as an index of the neritic aquatoria pollution // Proceedings of the Eighth International Conference on the Mediterranean Coastal Environment “MEDCOAST 07” (Alexandria, 2007). – Ankara, Turkey: Middle East Technical University. – 2007. – Vol. 2. – P. 925–936.
20. Tokarev Yu., Shulman G. Biodiversity in the Black Sea: effects of climate and anthropogenic factors // Hydrobiologia. – 2007. – Vol. 580, N 1. – P. 23–33.

**COMPARATIVE CHARACTERISTICS OF THE IMPACT OF OIL PRODUCTS ON THE BIOLUMINESCENCE OF THE BLACK SEA INVASIVE CTENOPHORES *MNEMIOPSIS LEIDYI* A. AGASSIZ, 1865 AND *BEROE OVATA* MAYER, 1912
Mashukova O.V., Silakov M.I.**

A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russian Federation,
e-mail: olgamashukova@yandex.ru

Understanding various aspects of the functional relationships between aquatic organisms and the environment providing their growth, reproduction, population biodiversity and distribution in the World Ocean with the most diverse ecological conditions, in particular in terms of anthropogenic pressure, is the most important direction of modern hydro-ecology. One of the ways to preserve biodiversity is to increase the resistance of the species, which is possible only by studying various aspects of its adaptation to anthropogenic impact. Therefore, one of the important tasks of our study was to assess the possibility of implementation of the bioluminescence characteristics of the Black Sea invasive ctenophores on the example of studying the impact of oil products on their glow with the purpose of environmental monitoring.

Sampling was carried out from the water surface in the Sevastopol bays of the Black Sea. The bioluminescent signals of ctenophores were recorded by an instrumental and laboratory complex *Svet*. The research results showed the variability of the amplitude-time characteristics of the bioluminescence of the ctenophores *Mnemiopsis leidyi* A. Agassiz, 1865 and *Beroe ovata* Mayer, 1912 depending on the concentration of oil products. The intensity and energy of the ctenophores luminescence decrease when the concentration of the active oil product increases. The stimulating

effect is observed at the concentration of 0.1 MPC of crude oil, which is expressed in an increase in the intensity of the ctenophores luminescence. Inhibition of bioluminescence of *M. leidy* and *B. ovata* is maximum at 10 MPC of the oil product. The finding of the experiments revealed high sensitivity of the ctenophore bioluminescence to the effects of oil products, which allows them to be used as bioindicators of this type of toxicant.

Key words: bioluminescence characteristics; crude oil; ctenophores; the Black Sea

Машукова Ольга Владимировна Кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, руководитель отдела биофизической экологии, ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН», e-mail: olgamashukova@yandex.ru

Силаков Михаил Иванович Младший научный сотрудник отдела биофизической экологии, ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН», e-mail: ilmihvokalis@mail.ru

Поступила в редакцию 09.09.2020 г.

УДК 599.537:534.88:534.75/.77

ИЗУЧЕНИЕ КОСТЕЙ НИЖНЕЙ ЧЕЛЮСТИ *DELPHINUS DELPHUS* КАК ЭЛЕМЕНТА НАРУЖНОГО ОРГАНА СЛУХА*

Романов Б. В.

Каратагская научная станция им. Т.И. Вяземского – природный заповедник РАН – филиал
ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН»,
пгт. Курортное, г. Феодосия, Российская Федерация
e-mail: bvromanov@gmail.com

Процесс проведения акустических сигналов к внутреннему уху зубатых китообразных является одним из ключевых вопросов устройства сонара этих животных, но до сих пор у исследователей нет однозначного ответа на него. Основная роль в проведении высокочастотной составляющей звука отводится морфологическим структурам нижней челюсти. Считается, что звук в эти структуры проникает через «акустические окна» - область в каудальной части каждой из половин нижней челюсти. По другой версии прохождение звука начинается в ростральной части через подбородочные каналы. До сих пор изучение этого вопроса производилось только на костях нижней челюсти *Tursiops truncatus*. В данной работе подобные данные получены из анализа морфологии костей *Delphinus delphus*.

Ключевые слова: дельфин; нижняя челюсть; слух; тимпанопериотический комплекс; мандибулярный канал.

Введение

Одним из дискуссионных вопросов в изучении эхолокации зубатых китообразных (подотряд *Odontoceti*) является звукопроведение акустических колебаний из внешней среды к внутреннему уху. Обычный для наземных млекопитающих канал звукопроведения через наружные слуховые проходы у *Odontoceti* в процессе эволюции претерпел сильные изменения. Ушная раковина редуцировалась. Слуховые проходы стали очень узкими, щелеподобными, у большинства видов частично заросли эпителиальными тканями или закрыты серными пробками (Богословская, Солнцева, 1979), поэтому их роль в звукопроведении ставится под сомнение.

Среди исследователей этой проблемы существует несколько предположений о том, какие морфологические структуры организма зубатых китообразных выполняют функцию периферического отдела слуховой системы. Наружные слуховые проходы в качестве таких структур рассматривались в ранних исследованиях биосонара зубатых китов (Reysenbach de Naan, 1957; Fraser, Purves, 1960; Dudok van Heel, 1962). Позже высказывались мнения, что звук не может передаваться через слуховые проходы на внутреннее ухо должным образом (McCormick, 1970; Fleischer, 1973), а если и передаётся, то не во всём диапазоне частот, а только в низкочастотном (Bullock, 1968; Айрапетьянц и др., 1973; Renaud, Popper, 1975). Учитывая, что чувствительность слуха к высокочастотным акустическим сигналам у представителей подотряда *Odontoceti* наибольшая, должны быть и другие каналы акустического проведения.

В настоящее время преобладает представление о том, что у зубатых китов имеется несколько каналов звукопроведения к внутреннему уху (Ketten, 1992; Popov et al., 1992; Сысуева, 2012). Это наружные слуховые проходы, нижняя челюсть и, возможно, гортань. Высказываются мнения, что могут быть и другие, ещё не известные, каналы звукопроведения. Например, экспериментально было показано, что афалины регистрируют подводные акустические сигналы при надводном положении головы

* Работа выполнена в рамках госзадания, тема "Изучение фундаментальных физических, физиолого-биохимических, репродуктивных, популяционных и поведенческих характеристик морских гидробионтов", № АААА-А19-119012490045-0.

(Бабушина, Поляков, 2008), что указывает на проведение звука по тканям вне головы животного. В качестве высокочастотного канала звукопроводения многие авторы рассматривают нижнюю челюсть, имеющую очень удобное расположение при приёме собственных эхосигналов от пищевых объектов (Norris, 1968; Norris, Harvey, 1974; Brill, 1988). Нижняя челюсть имеет ткани, которые вплотную примыкают к внутреннему уху и способны играть звукопроводящую роль. Мандибулярный жировой тяж проходит вдоль нижней челюсти и крепится к тимпанальной мембране – тонкой костной пластине, выполняющей ту же роль что и барабанная перепонка у наземных млекопитающих (Nummela et al. 1999; Hemila et al. 1999).

Остаётся открытым вопрос о проникновении звуковых колебаний из внешней среды в жировой тяж. Наиболее обсуждаемой у исследователей (Cranford et al. 2010; Попов, Супин, 2013) является версия, которую впервые предложил Norris, о прохождении звука через мандибулярные «акустические окна» – тонкостенные заднелатеральные участки нижнечелюстной кости (Norris, 1968). Существует критика данной точки зрения (Ryabov, 2007; Рябов, 2014). Звуковая прозрачность кости в районе «акустического окна» изучалась с использованием точечных источников звука, локализованных в непосредственной близости (Сысуева 2012). Звуковая волна проникала в кость под углами близкими к нормали. Однако диаграмма направленности слуха зубатых китов в высокочастотной области показывает, что основной высокочастотный сигнал, на который настроен внешний орган слуха *Odontoceti*, приходит с рострального направления. В дальнем поле это будет плоская волна, направленная к «акустическому окну» под углами близкими к углу полного отражения. Таким образом, для сигналов с рострального направления (откуда дельфины наиболее чувствительно воспринимают высокочастотную составляющую сигнала и откуда приходят наиболее значимые эхосигналы собственного сонара) «акустические окна» не могут являться местом проникновения звуковых волн в жировое тело ввиду отражения полезного сигнала от этих участков.

Сам же Norris делал и другое предположение о проникновении звуковых колебаний в нижнюю челюсть (Norris, 1964). Он заметил, что мандибулярное жировое тело в ростральном направлении проникает в мандибулярный канал, который, сужаясь, идёт вдоль челюсти до самого кончика, выходя подбородочными каналами наружу. Norris предположил, что эта система каналов может быть местом проникновения акустических волн в мандибулярное жировое тело. Но в дальнейшем это предположение развития не получило пока Рябов в своих работах не обратил внимание на схожесть морфологической структуры мандибулярного канала и подбородочных каналов с системой двух акустических приёмных антенн бегущей волны. Он показал, что площадь поперечного сечения мандибулярного канала в рострально-каудальном направлении растёт по закону близкому к катеноидальному. А значит, жировой тяж размещается в полости акустического рупора, близкого к катеноидальному. Из акустики известно, что такой рупор обладает рядом преимуществ, которые, возможно, были реализованы в процессе эволюции *Odontoceti*.

Кроме версий, где, так или иначе, в качестве периферийного органа слуха выступает нижняя челюсть, для полноты картины необходимо упомянуть ещё ряд работ, в которых авторы в качестве эквидистантных антенных решёток приёмников акустических колебаний рассматривают ряды зубов (Goodson, Klinowska, 1990; Potter, Taylor, 2001; Dobbins, 2001; 2007). Отдельный зуб представляет пассивный резонатор, а рецепция происходит зубными нервами и, следовательно, в центральную нервную систему сигналы идут, минуя внутреннее ухо.

В данной работе предпринята попытка сравнить морфологические данные, полученные Рябовым в работах (Ryabov, 2007; Рябов, 2014) на образце челюсти *Tursiops truncatus*, с аналогичными данными вида *Delphinus delphus*.

Материалы и методы

Материалом для данной работы послужили кости нижней челюсти, взятые у мёртвой особи *Delphinus delphus* выброшенной у побережья Карадагской научной станции. Останки принадлежали взрослому самцу. На нижней челюсти имелись небольшие повреждения в виде трещин не влияющие на результаты исследования. Кости черепа и нижней челюсти очищались от мягких тканей методом естественной мацерации. После чего были произведены замеры геометрических параметров нижнечелюстных полостей (подбородочных каналов и мандибулярного канала) и угловые размеры самих челюстных костей. Номенклатура анатомических пространственных координат использовалась такая же, как описана в методике (Рябов, 2014).

Результаты

Общая длина нижнечелюстной кости 330 мм. Она состоит из левой и правой половин, сросшихся в роstralной части. Половины сходятся в роstralном направлении под средним углом около 22° , поэтому их длина немного больше общей длины челюсти – 336 мм. Угол схождения костей меняется от максимального значения в районе суставных головок плавно снижаясь в роstralном направлении (за исключением окончания роstrума, где угол быстро возрастает). Угол между поверхностью одной из нижнечелюстных костей и медианной плоскостью половинный от угла между костями. На рис. 1 показан график изменения угла между медианной плоскостью и касательной к латеральной поверхности кости. Угол между поверхностями костей в районе выхода подбородочных каналов около 30° , т.к. кости в этой области имеют скосы. Угол между плоскостью, в которой лежат выходы подбородочных каналов, и плоскостью, в которой расположены роstralные зубные альвеолы, равен 5° .

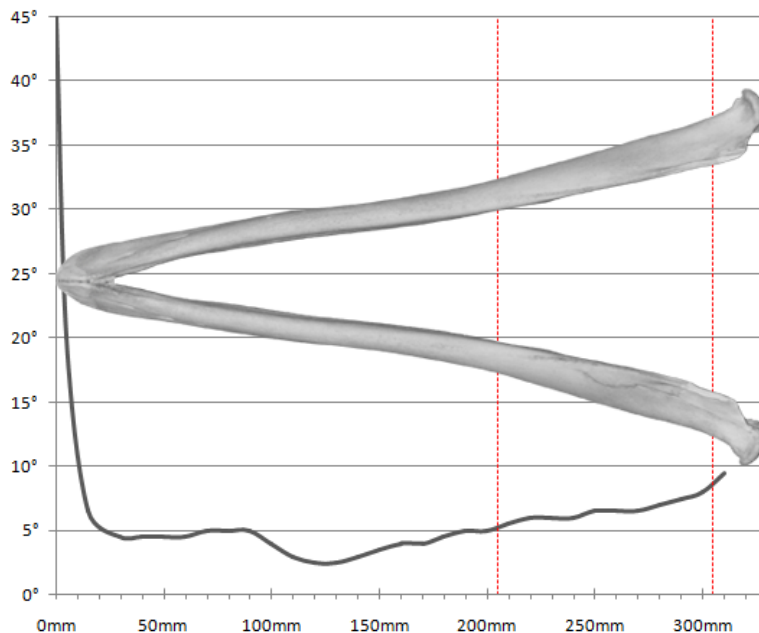


Рис. 1. На графике отображена зависимость изменения угла вдоль нижнечелюстной кости между касательной к латеральной поверхности кости и медианной линией. Красными пунктирными линиями отмечены границы области расположения «акустических окон»

Через каждую нижнечелюстную кость проходит мандибулярный канал. В ростральной части он выходит на латеральную поверхность кости подбородочными каналами (рис. 2, вверху). В каудальной области мандибулярный канал выходит на медианную поверхность кости в виде широкой полости, раскрывающейся на всю ширину кости (рис. 2, внизу).



Рис. 2. Вверху: правая половина челюсти с латеральной стороны, в узкой ростральной области видны выходы подбородочных каналов. Внизу: правая половина челюсти с медианной стороны, в широкой части видна полузакрытая полость

Как и у афалины, у белобочки на правой половине челюсти находится четыре подбородочных канала, на левой – три (рис. 3). Далее подбородочные каналы правой половины челюсти обозначены как ППК1 – ППК4, где ППК1 наиболее рострально расположенный канал, а ППК4 наиболее каудально расположенный канал. Подбородочные каналы левой половины челюсти соответственно обозначены как ЛПК1 – ЛПК3. Внутри кости подбородочные каналы идут почти параллельно рострально-каудальному направлению, поэтому они выходят на поверхность кости под малыми углами и имеют наклонный срез. ППК1 и ЛПК1 по сути являются окончаниями правого и левого мандибулярных каналов, остальные каналы примыкают к ним и имеют различную длину (чем каудальнее расположен канал, тем он короче): ППК2 – 22,3 мм, ППК3 – 13,2 мм, ППК4 – 1,7 мм, ЛПК2 – 21,5 мм, ЛПК3 – 9,4 мм. Площадь поперечного сечения каналов уменьшается с увеличением номера канала (только канал ЛПК3 немного выбивается из этого правила). Сечения каналов имеют форму близкую к эллипсу. Ниже приведены измеренные размеры больших и малых осей поперечных сечений подбородочных каналов в миллиметрах (измерялись не скошенные выходы каналов, а размеры сечений в перпендикулярной плоскости к каналам): ППК1 – 3,0 X 2,6; ППК2 – 1,9 X 1,5; ППК3 – 1,6 X 1,5; ППК4 – 1,5 X 1,4; ЛПК1 – 3,2 X 2,5; ЛПК2 – 1,6 X 1,6; ЛПК3 – 1,6 X 1,7. Выходы ППК1 и ЛПК1 находятся на одном уровне и лежат в одной аксиальной плоскости. Остальные выходы подбородочных каналов с одинаковыми порядковыми номерами с левой и правой сторон не лежат в одной плоскости и сдвинуты друг относительно друга так, что каждый последующий выход находится в аксиальной плоскости, расположенной между выходами каналов на противоположной стороне челюсти, кроме ППК4, который замыкает этот ряд. Расстояния между выходами каналов: ППК1 – ППК2 – 30 мм, ППК2 – ППК3 – 18 мм, ППК3 – ППК4 – 15 мм, ЛПК1 – ЛПК2 – 34 мм, ЛПК2 – ЛПК3 – 25 мм.

Мандибулярный канал каждой из половин челюсти довольно ровный, поэтому выходы подбородочных каналов можно наблюдать с каудальной стороны кости (рис. 4). Тимпанопериотический комплекс (*bulla tympanica*) в теле животного располагался в конце челюстной кости немного медианнее нижнечелюстной суставной головки. Таким образом, на пути от отверстий подбородочных каналов до *bulla tympanica* нет костных препятствий. Так же отчётливо видно расширение мандибулярного канала вдоль челюсти.

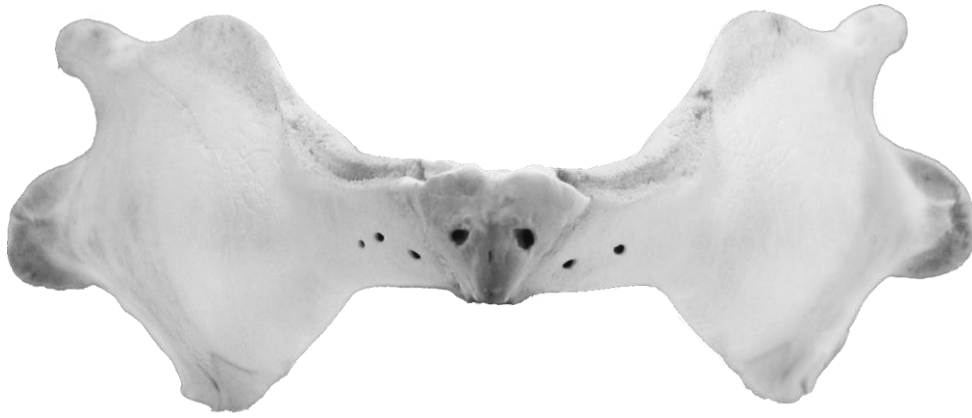


Рис. 3. Нижняя челюсть *Delphinus delphis*. Вид с рострального направления. Видно расположение и количество выходов подбородочных каналов на поверхности кости



Рис. 4. Ракурс на нижнюю челюсть *Delphinus delphis* с каудальной стороны

Обсуждение

Для обыкновенного дельфина количество подбородочных каналов, углы выхода их на поверхность, зависимость изменения длины и поперечного сечения подбородочных каналов, а также зависимость их взаимного расположения имеют такую же закономерность, как и у афалины (Рябов, 2014). С удалением от рострума площади сечений и длина каналов уменьшаются, что так же совпадает с данными по *Tursiops truncatus*.

Угол схождения челюстей тоже очень близок у обоих видов. В районе предполагаемого расположения «акустических окон» для *Delphinus delphis* этот угол находится в диапазоне от 10° до 16° (или вдвое меньше, если считать относительно медианной плоскости). При рассмотрении нижней челюсти как приёмника высокочастотной составляющей акустического сигнала стоит учесть, что максимум диаграммы чувствительности слуха зубатых китов в этом диапазоне не выходит за пределы 10° по уровню -6 дБ от рострально-каудальной оси (Norris, Harvey, 1974; Au, Moore, 1984; Роров, et al. 2005). При данном диапазоне углов приходящего сигнала и углов поверхности кости в области «акустических окон», этот сигнал падает на кость под углами от 0° до 18° , причём пик максимума чувствительности слуха приходится на углы $5^\circ - 8^\circ$, когда сигнал параллелен рострально-каудальной оси. При таких малых углах значительная часть энергии сигнала отражается. К тому же, при углах

акустического сигнала, при которых «акустическое окно» должно получать больше энергии, чувствительность слуха дельфина наоборот снижается.

Угол между базами, вдоль которых расположены отверстия выходов подбородочных каналов, около 30° у обыкновенного дельфина против 24° у афалины.

В целом у обоих видов морфология нижнечелюстных костей очень схожа. Мандибулярный канал, у наземных млекопитающих служащий для вывода нерва к поверхности челюсти и представляющий собой тонкую трубку, у дельфинов в процессе эволюции подвергся сильным преобразованиям. При рассмотрении нижней челюсти в качестве наружного органа слуха, а жирового тела как звукопроводящей ткани к тимпанопериотическому комплексу, необходимо анализировать весь комплекс нижнечелюстных каналов и полостей, а не только каудальную часть в районе «акустических окон».

На основании схожести полученных данных между двумя видами *Odontoceti*, можно предположить, что рассмотренные структуры могут играть важную роль в приёме и проведении акустических сигналов нижней челюстью. Если это окажется так, то версия, предложенная Рябовым, о нижней челюсти как акустической антенне бегущей волны, расположенной в устье рупора, заслуживает внимания. Чтобы разобраться в участии нижней челюсти в восприятии звуков дельфинами, необходимы дальнейшие исследования в этом направлении (компьютерное моделирование, натурный эксперимент).

В данной работе впервые для зубатых китообразных изучена морфология архитектуры и геометрии костей нижней челюсти для *Delphinus delphus*.

Список литературы

1. Айрапетьянц Э. Ш., Воронов В.А., Иваненко Ю.В., Иванов М.П., Ордовский Д.Л., Попов В.В., Сергеев Б.Ф., Чилингарис В.И. К физиологии сонарной системы черноморских дельфинов // Журн. эволюц. биохим. физиол. – 1973. – Т. 9. – № 4. – С. 418–421.
2. Бабушина Е. С., Поляков М. А. Проведение тональных и сложных звуков по телу дельфина афалины // Биофизика. – 2008. – Т. 53. – № 3. – С. 495–498.
3. Богословская Л.С., Солнцева Г.Н. Слуховая система млекопитающих – М.: Наука, 1979. – 240 с.
4. Попов В.В., Супин А.Я. Слух китов и дельфинов – М.: Т-во научных изданий КМК, 2013. – 219 с.
5. Рябов В.А. Механизмы приема и проведения звука у дельфина // Биофизика. – 2014. – Т. 59. – №3. – С. 579–590.
6. Сысуева, Е.В. Звукопроводение в слуховой системе зубатых китообразных: автореф. дис... канд. биол. наук. – М.: Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, 2012. – 26 с.
7. Au W.W.L., Moore P.W.B. Receiving beam patterns and directivity indices of the Atlantic bottlenose dolphin *Tursiops truncatus* // The Journal of the Acoustical Society of America. – 1984. – Т. 75. – № 1. – P. 255–262.
8. Brill R.L. The jaw-hearing dolphin: Preliminary behavioral and acoustical evidence // Animal Sonar. – Springer, Boston, MA, 1988. – P. 281–287.
9. Bullock T.H., Grinell A.D., Ikezono E., Kameda K., Katsuki J., Nomota M., Sato O., Suga N., Yanagisawa K. Electrophysiological studies of central auditory mechanisms in cetaceans // Zeitschrift für vergleichende Physiologie. – 1968. – Т. 59. – № 2. – P. 117–156.

10. Cranford T.W., Krysl P., Amundin M. A new acoustic portal into the odontocete ear and vibrational analysis of the tympanoperiotic complex // PLoS One. – 2010. – T. 5. – № 8. – P. e11927.
11. Dudok van Heel W.H. Sound and cetacea // Netherlands Journal of Sea Research. – 1962. – T. 1. – № 4. – P. 407–507.
12. Fleischer G. Structural analysis of the tympanicum complex in the bottlenosed dolphin (*Tursiops truncatus*) // J. Audit. Res. – 1973. – T. 13. – № 2. – P. 178–190.
13. Fraser F.C., Purves P.E. Hearing in the cetaceans: Evolution of the accessory air sacs and the structure and function of the outer and middle ear in recent cetaceans // Bull. Brit. Mus. Nat. History, Zool. – 1960. – T. 7. – № 1. – P. 1–140.
14. Hemilä S., Nummela S., Reuter T. A model of the odontocete middle ear // Hearing research. – 1999. – T. 133. – № 1-2. – P. 82–97.
15. Ketten D.R. The marine mammal ear: Specializations for aquatic audition and echolocation // Evolutionary Biology of hearing (Eds. Webster D., Fay R. and Popper A. J.), Springer-Verlag N.Y. – 1992. – P. 717–750.
16. McCormick J.G., Wever E.G., Palin J., Ridgway S.H. Sound conduction in the dolphin ear // The Journal of the Acoustical Society of America. – 1970. – T. 48. – № 6B. – P. 1418–1428.
17. Norris K.S. Some problems of echolocation in cetaceans // Marine bio-Acoustics. New York: Pergamon press, – 1964. – T. 1. – P. 316–336.
18. Norris K.S. The evolution of acoustic mechanisms in Odontocete Cetaceans // E. Drake. Evolution and Environment. New Haven-Lond: Jail Univ. Press. – 1968. – P. 297–324.
19. Norris K.S., Harvey G.W. Sound transmission in the porpoise head // The Journal of the Acoustical Society of America. – 1974. – T. 56. – № 2. – P. 659–664
20. Nummela S., Reuter T., Hemilä S., Holmberg P., Paukku P. The anatomy of the killer whale middle ear (*Orcinus orca*) // Hearing Research. – 1999. – T. 133. – № 1-2. – P. 61–70.
21. Popov V.V., Supin A.Ya., Klishin V.O. Electrophysiological study of sound conduction in dolphins // Marine Mammal Sensory System. Eds. J. A. Thomas, R. A. Kastelein, A. Ya. Supin, NewYork, London: Plenum Press. – 1992. – P. 269–276.
22. Popov V.V., Supin A.Y., Klishin V.O., Bulgakova T.N. Monaural and binaural hearing directivity in the bottlenose dolphin: Evoked-potential study // The Journal of the Acoustical Society of America. – 2006. – T. 119. – № 1. – P. 636–644.
23. Renaud D.L., Popper A.N. Sound localization by the bottlenose porpoise *Tursiops truncatus* // Journal of Experimental Biology. – 1975. – T.63. – № 3. – P. 569–585.
24. Reysenbach de Haan F.V. Hearing in whales // Acta Oto-laryngologica. Supplementum. – 1957. – T. 134. – P. 1–114.
25. Ryabov V.A. Mechanisms of a dolphin's echolocation hearing // Bio-Acoustics 2007, Proceedings of the Institute of Acoustics. – 2007. – T. 29. – № 3. – P. 283–293.

MANDIBLE BONES STUDY OF THE *DELPHINUS DELPHUS* AS AN ELEMENT OF THE EXTERNAL HEARING ORGAN

Romanov B.V.

*T.I. Vyazemsky Karadag Scientific Station – Nature Reserve of the RAS – Branch of A.O. Kovalevsky
Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Kurortnoe, Feodosiya, Russian Federation
e-mail: byromanov@gmail.com*

The process of conducting acoustic signals to the inner ear of toothed cetaceans is one of the key questions of the device sonar of these animals, but so far researchers have no clear answer to it. The main role in conducting the high-frequency component of sound is assigned to the morphological structures of the lower jaw. It is believed that sound enters these structures through "acoustic

Windows" - an area in the caudal parts of each half of the lower jaw. According to another version, the passage of sound begins in the rostral part through the chin channels. Until now, this issue has only been studied on the bones of the lower jaw of *Tursiops truncatus*. In this paper, similar data are obtained from the analysis of the morphology of the bones of *Delphinus delphus*.

Key words: dolphin; lower jaw; hearing; tympanoperotic complex; mandibular canal.

Романов Борис
Валериевич

Младший научный сотрудник, лаборатории биохимии и физиологии гидробионтов, Карадагская научная станция им. Т.И. Вяземского – природный заповедник РАН – филиал ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН», e-mail: bvromanov@gmail.com

Поступила в редакцию 24.12.2019 г.

ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ, ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ
И ПАЛЕОНТОЛОГИЧЕСКИЕ
ИССЛЕДОВАНИЯ

УДК 551.5

**СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ
РЕЖИМА АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ В ДЕЛЬТЕ Р. ВОЛГИ**

Валов М.В., Колотухин А.Ю., Бармин А.Н., Жаднов Е.Е.

ФГБОУ ВО «Астраханский государственный университет»,

г. Астрахань, Российская Федерация

e-mail: m.v.valov@mail.ru

В работе проведена оценка режима атмосферных осадков на территории интразонального ландшафта дельты р. Волги за временной интервал с 1922 по 2019 гг. В качестве инструментов анализа использовались методы математической статистики, вычисление средних значений, стандартного отклонения, линейного тренда и построение графиков. Выявлено, что динамика количества осадков на территории дельты р. Волги характеризуется большой вариативностью за разные годы, общая динамика среднегодового количества осадков указывает на возможность существования циклических периодов относительной стабилизации разброса количества осадков в промежутке от 15 до 25 лет; увеличение количества осадков в дождливые годы происходит в основном за счет роста числа дождей в период поздней весны и раннего лета, в то время как более засушливые периоды года являются более стабильными. Результаты проведенного статистического анализа расширяют представление о режиме осадков в пределах уникальной природной территории дельты р. Волги, уточняя специфические особенности их разновременной вариативности.

Ключевые слова: климатические изменения, атмосферные осадки, режим увлажнения, дельта р. Волги

Введение

На сегодняшний день одной из актуальных и перспективных задач, стоящих перед научным сообществом, является изучение быстро происходящих глобальных и региональных изменений климата, как одного из ведущих факторов, определяющих динамику и функционирование ландшафтов и экосистем, влияющих на направления хозяйственной деятельности человека, в том числе – на виды и типы природопользования (Быков, Шихов, 2018; Валов и др., 2018; Кузьмина и др., 2018).

На территории Российской Федерации темпы продолжающегося потепления превышают глобальные средние показатели: средняя скорость роста среднегодовой температуры воздуха на территории России в 1976–2019 гг. составила 0,47°C / 10 лет, что более чем в два с половиной раза выше скорости роста глобальной температуры за тот же период: 0,18°C / 10 лет, и более чем в полтора раза больше средней скорости потепления приземного воздуха над сушей Земного шара: 0,28°C / 10 лет (оценки по данным Центра Хэдли и Университета Восточной Англии) (Доклад об особенностях климата..., 2019).

Изменение температуры воздуха влечет за собой перестройку процессов переноса тепла и влаги в атмосфере, что непосредственно влияет на процесс осадкообразования (Золотокрылин, 2019; Калинин, 2019; Christoph, 2016).

На территории России в целом преобладает тенденция к увеличению годовых сумм осадков. Тренд превышает 5 % / 10 лет лишь в ряде областей Сибири и Дальнего Востока и в Северо-Кавказском Федеральном округе. Убывают осадки на севере

Чукотского автономного округа. Незначительное убывание наблюдается в центральных районах Европейской части России. Тренд годовых осадков по территории России в целом, составляет 2,2 % / 10 лет, вклад в дисперсию 35 % – тренд статистически значим на уровне 1% (Доклад об особенностях климата..., 2019).

Отрицательный, очень малый тренд, статистически незначимый на 5 %-уровне, наблюдается в ряде федеральных округов Европейской части России (в Центральном федеральном округе, в Поволжском федеральном округе и в Южном федеральном округе). Региональные тренды наблюдаются на фоне существенных колебаний с периодом в несколько десятилетий, так что нельзя с уверенностью утверждать наличие тренда, а лишь наличие определенной фазы таких колебаний. Наиболее значительный рост сезонных сумм осадков в целом по территории России наблюдается весной (5,7 % / 10 лет, вклад в дисперсию 36 %): увеличение осадков происходит практически всюду (Доклад об особенностях климата..., 2019; Зонн и др., 2017; Кузьмина и др., 2018).

Фиксируемые многолетние изменения температуры воздуха в сторону ее роста в аридных условиях Северо-Западного Прикаспия определяют увеличение испарения с дневной поверхности и понижение увлажнения территории, что непосредственно несет угрозу существованию экотонов водно-наземного типа. В связи с этим, наряду с исследованиями температурного режима крайне важным аспектом является уточнение режима атмосферных осадков, значение которых для территорий данного типа очень велико (Золотокрылин, 2019; Зонн и др., 2017; Кулик и др., 2013; Сапанов, 2018; Черенкова, 2017).

Целью настоящей работы является уточнение статистических количественных показателей режима атмосферных осадков и специфических особенностей их разновременной вариативности на территории дельты р. Волги за период с 1922 по 2019 гг.

Материалы и методы

Информационной базой оценки изменчивости метеорологических (по данным наблюдений) и расчетных параметров атмосферных осадков, характеризующих современные климатические условия на территории дельты р. Волги, послужили данные Астраханского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды – филиала Федерального государственного бюджетного учреждения «Северо-Кавказское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды».

Оценка режима атмосферных осадков проводилась за временной интервал за период 1922-2019 гг. В качестве инструментов анализа использовались методы математической статистики, вычисление средних значений, стандартного отклонения, линейного тренда и построение графиков (Быков, Шихов, 2018; Валов и др., 2018; Valov and all., 2019).

Графики средних значений использовались при определении общей динамики количества осадков, как первичный показатель, позволяющий определить существование ярко выраженных трендов, которые определялись при помощи линии тренда с указанием его достоверности.

Для анализа вариативности показателей использовалось стандартное отклонение, которое позволяет оценить разброс показателей выборки относительно среднего значения, что даёт возможность сделать вывод о её вариативности, а тренды стандартного отклонения дают возможность определить тенденции вариативности.

Построение графиков использовалось для визуализации динамики показателей, при построении графиков для большого количества лет использовался одноцветный градиент, в котором место года на шкале обозначалось насыщенностью цвета, что

позволило скомбинировать метод построения графиков с методом качественного фона и определять тенденции в зависимости от положения ряда на шкале (Climate change. The Physical..., 2013).

Для определения тренда распределения засушливых и дождливых лет все годы были отсортированы по сумме осадков от самого засушливого к самому дождливому, что дало возможность построить точечный график их распределения и определить какие периоды времени доминируют по количеству сухих и влажных лет.

Результаты и обсуждение

Дельта р. Волги является интразональной территорией, расположенной в пределах пустынной зоны. Климатические особенности региона заключаются в резкой континентальности, высокой степени засушливости, значительной изменчивости температуры и количества осадков как по отдельным сезонам, так и в целом по годам (Атлас дельты реки Волги..., 2015; Валов и др., 2018). Динамика и стационарирование воздушных масс, а также многообразие синоптических процессов обуславливают крупные погодные аномалии, размах которых может достигать нескольких десятилетий, что определяется процессами циркуляции атмосферы (Кузьмина и др., 2018; Valov and all., 2019). Для региона характерен перенос воздушных масс со стороны Атлантического океана, однако нередким процессом является проникновение арктических воздушных масс с Северного Ледовитого океана и иногда со стороны Чёрного и Средиземного морей. С влиянием Атлантики связан приход циклонов, выпадение осадков, понижение температуры летом и повышение в зимний период; повышение давления, снижение количества осадков и снижение облачности определяются влиянием Сибирского антициклона. При воздействии Азорского антициклона наблюдается проникновение в пределы региона гребней субтропического воздуха высокого давления, что проявляется в наступлении очень жаркой и сухой погоды в летний период. Среднесуточная температура воздуха при данных процессах может превышать 30°C, относительная влажность воздуха снижается до 10–12 %, дефицит упругости водяного пара может достигать 58–60 гПа (Атлас дельты реки Волги..., 2015; Валов и др., 2018).

Количество осадков порядка 180–200 мм в год, но в тоже время среднеквадратичное отклонение суммы осадков за различные годы составляет примерно 60 мм, или 33 %, что говорит о достаточно большой вариативности количества осадков в разные годы. При общей годовой испаряемости 1177 мм образуется значительный дефицит увлажненности (Атлас дельты реки Волги..., 2015; Кузьмина и др., 2018).

В динамике суммарной годовой суммы осадков за период с 1922 по 2019 гг. присутствует слабо выраженный тренд на увеличение общего количества осадков, но он не является достаточно выраженным и достоверным для того, чтобы делать на его основе однозначные выводы о существующей тенденции на увеличение количества осадков (рис. 1).

Данные динамики стандартного отклонения за тот же период в целом повторяют общую динамику годовых сумм осадков и имеют схожий, но ещё менее выраженный тренд (рис. 2). Существующие тренды могут служить лишь косвенным свидетельством увеличения количества осадков в регионе.

Помимо этого, в динамике осадков за указанные годы можно выделить период с 1934 до 1956 гг., в который график динамики осадков и стандартного отклонения выравнивается и количество осадков в различные годы стабилизируется, относительно общей динамики. Данный период характеризуется резким снижением разницы количества осадков между соседними годами (рис. 3) и позволяет сделать

предположение о существовании циклов увлажненности на территории Астраханской области.

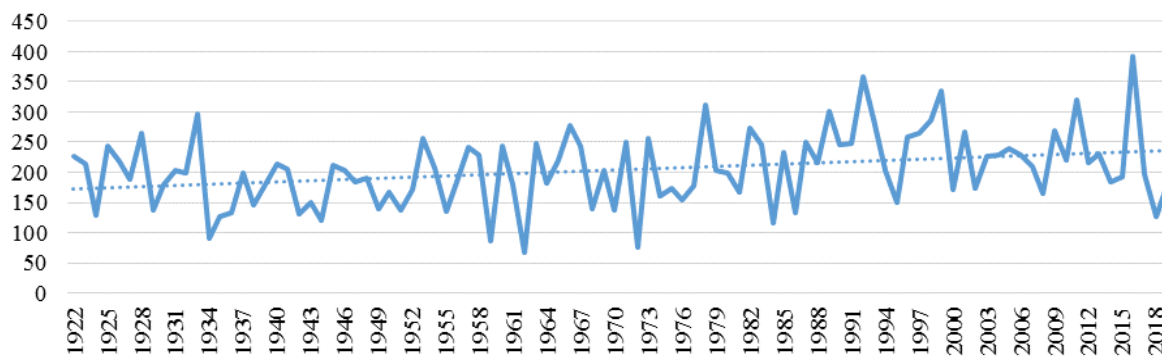


Рис. 1. Динамика годовых сумм осадков 1922–2019 гг.

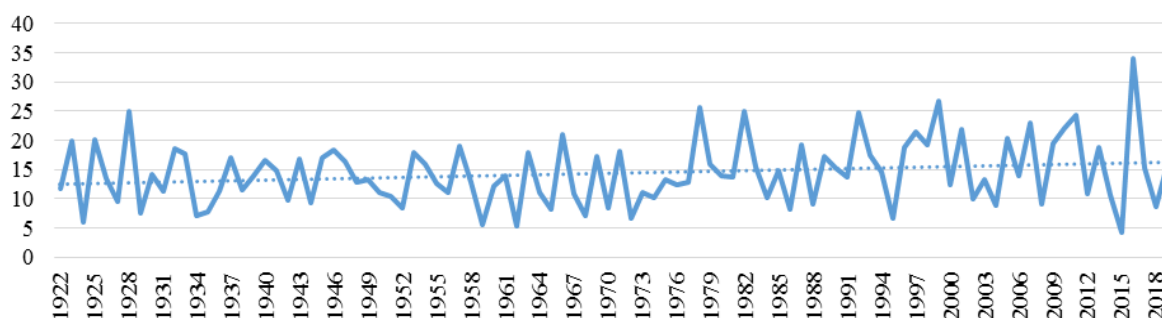


Рис. 2. Динамика стандартного отклонения количества осадков в течение года за период 1922–2019 гг.

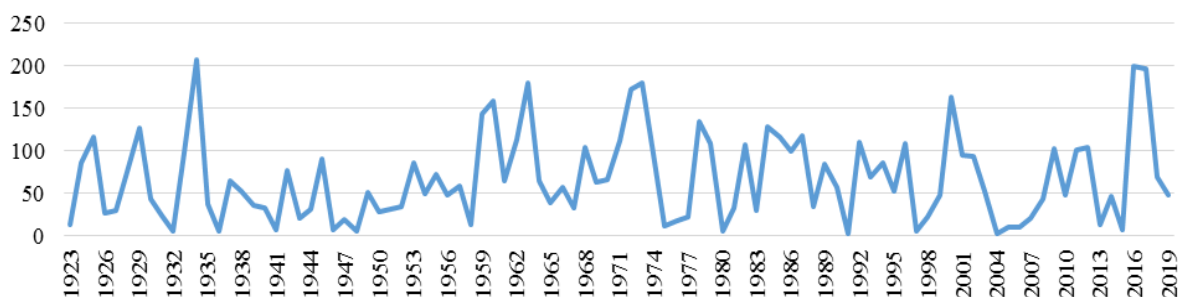


Рис. 3. Разница в количестве осадков с предыдущим годом

В годовой динамике осадков к наиболее дождливыми периодам можно отнести позднюю весну и раннее лето, а к наиболее засушливым позднюю зиму и раннюю весну (рис. 4). Вместе с тем количество месячных осадков в различные годы сильно варьируется и для наиболее дождливых месяцев может достигать 140% от среднего количества осадков, что является косвенным свидетельством основной роли дождливых периодов общей вариативности количества осадков (рис. 5).

Наибольшее стандартное отклонение в течение года наблюдается в дождливые годы, в то время как засушливые годы характеризуются меньшим разбросом количества осадков в течении года как в абсолютном, так и в относительном выражении. На приведённых ниже графиках показана динамика среднемесячных осадков в течение года для дождливых и засушливых лет, при этом более насыщенным синим цветом выделены более засушливые годы за каждый из периодов (рис 6, 7).

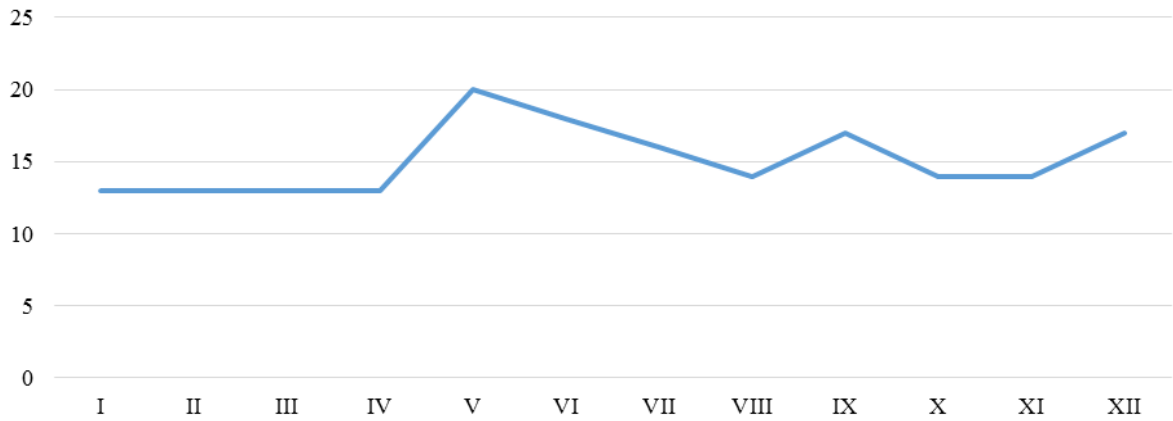


Рис. 4. Среднее количество осадков в месяц

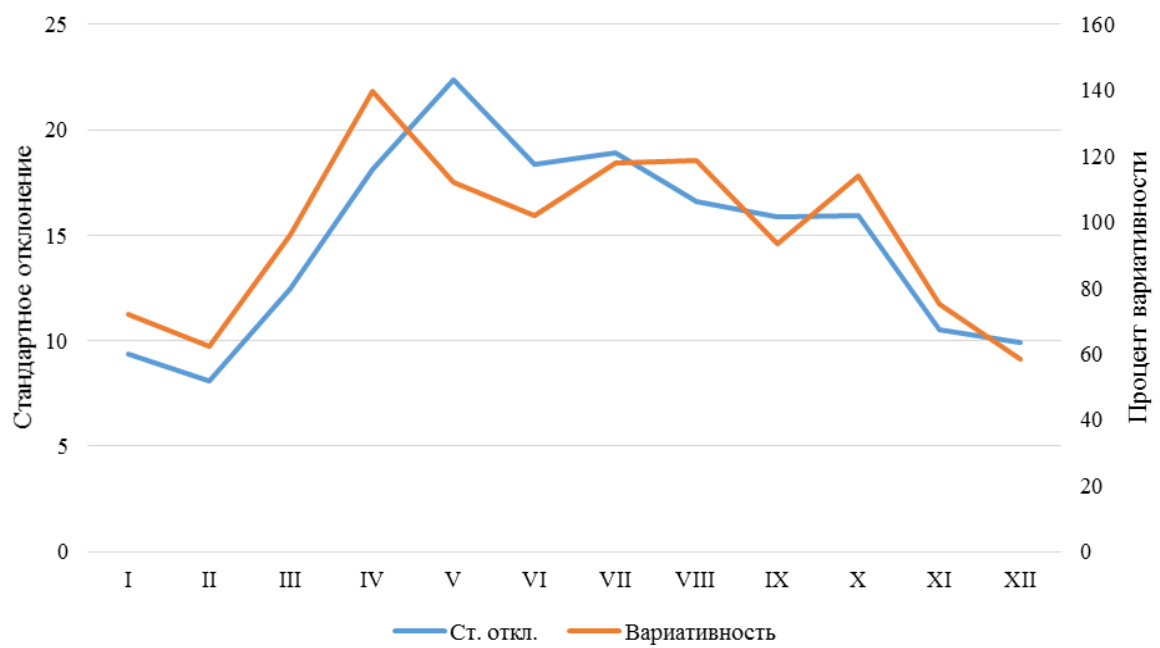


Рис. 5. Вариативность и стандартное отклонение осадков в различные месяцы

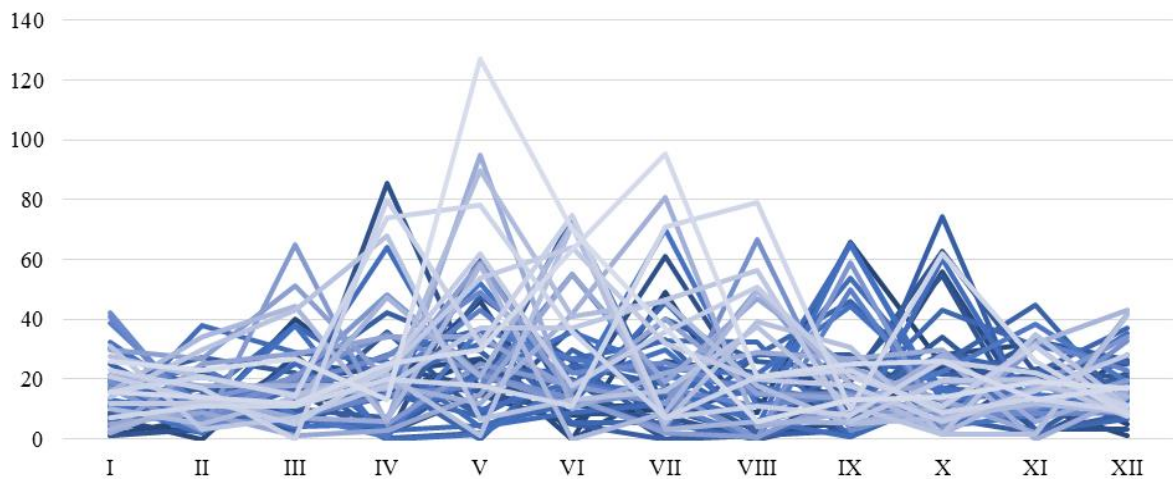


Рис. 6. Разброс количества осадков во влажные годы

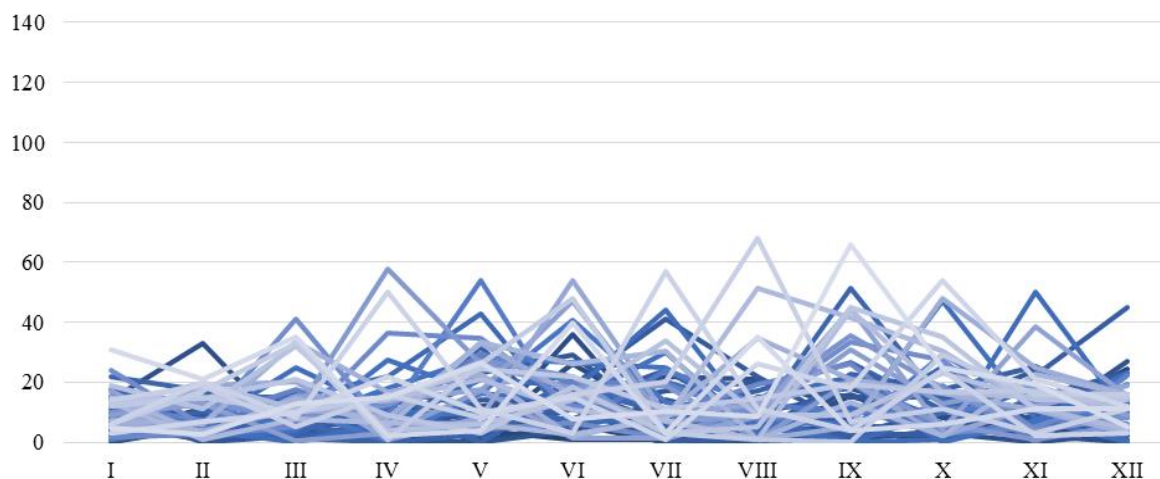


Рис. 7. Разброс количества осадков в засушливые годы

Анализ этих графиков позволяет сделать вывод, что в дождливые годы наибольшую долю осадков составляют осадки за наиболее дождливый период года (поздняя весна и раннее лето), в то время как в засушливые годы сильно увеличивается доля осадков в более засушливый осенний период и сухой период поздней зимы и ранней весны. Указанная закономерность позволяет сделать вывод, что увеличение среднегодового количества осадков в основном достигается благодаря увеличению количества осадков в наиболее дождливый период, в то время как более засушливые периоды года остаются достаточно стабильными.

Распределение годов указанного периода по шкале от наиболее засушливого к наиболее дождливому и дальнейшее точечное распределение их по графику позволяет сделать вывод о существовании тренда на увеличение количества осадков, поскольку на низких позициях в шкале наибольшее количество занимают годы в период с 1922 по 1950 гг., в то время как верхние позиции на шкале в большей мере занимают годы с 1970 по 2019 гг. (рис. 8).

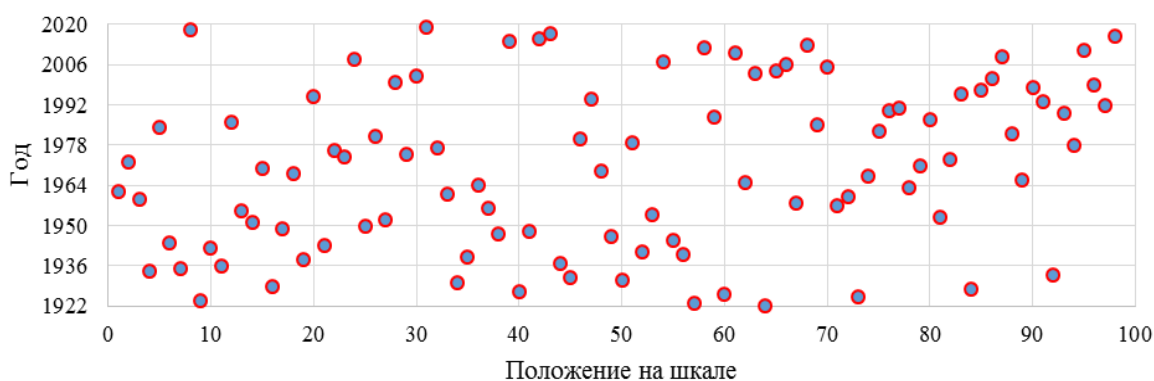


Рис. 8. Распределение засушливых и влажных лет

Динамика смены распределения лет не нарушается и на всём росте шкалы можно наблюдать уменьшение количества лет раннего периода и увеличение количества лет позднего.

Полученный вывод подтверждает косвенные свидетельства, полученные при анализе динамики годовых сумм осадков и годового стандартного отклонения и позволяет говорить о существующем тренде на увеличение количества осадков и

увеличение количества дождливых лет, которое, как следует из анализа годовых динамик происходит за счет увеличения количества осадков во влажный период года.

Выводы

Исходя из проведенного анализа можно сделать следующие выводы:

1. Динамика количества осадков на территории интразонального ландшафта дельты р. Волги характеризуется большой вариативностью за разные годы, которая составляет примерно 33 % от среднего количества осадков в год для региона, а также очень большой вариативностью количества осадков за один и тот же месяц в различные годы, который может достигать 140 % в наиболее дождливые периоды года.

2. Общая динамика среднегодового количества осадков указывает на возможность существования циклических периодов относительной стабилизации разброса количества осадков в промежутке от 15 до 25 лет.

3. В пределах исследуемой области наблюдается тренд на увеличение количества осадков и увеличение количества относительно дождливых лет, период данного увеличения начался с середины XX века и продолжается по настоящее время.

4. Увеличение количества осадков в дождливые годы происходит в основном за счет роста числа дождей в период поздней весны и раннего лета, в то время как более засушливые периоды года являются более стабильными, в особенности наиболее засушливый период поздней зимы.

5. При сохранении существующих тенденций в дельте р. Волги в долгосрочном периоде можно ожидать дальнейшее увеличения количества осадков в период поздней весны и раннего лета, то есть в периоды вегетации растительности.

Список литературы

1. Атлас дельты реки Волги: геоморфология, русловая и береговая морфодинамика / Географический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова; институт Океанологии им. П. П. Ширшова РАН. Москва. – 2015. – 128 с.
2. Валов М.В., Бармин А.Н., Иолин М.М. Дельта реки Волги: влияние ведущих факторов ландшафтной трансформации на почвенно-растительный покров // Издатель: Сорокин Роман Васильевич. Астрахань. – 2018. – 140 с.
3. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2019 год. – Москва. – 2020. – 97 с.
4. Золотокрылин А.Н. Глобальное потепление, опустынивание/деградация и засухи в аридных регионах // Известия Российской академии наук. Серия географическая. Издательство: Российская академия наук (Москва). – № 1. – 2019. – С. 3–13.
5. Зонн И.С., Куст Г.С., Андреева О.В. Парадигма Опустынивания: 40 лет развития и глобальных действий // Аридные экосистемы. – 2017. – Т. 7. – №3. – С. 131–141.
6. Кузьмина Ж. В., Трешкин С. Е., Шинкаренко С.С. Влияние зарегулирования речного стока и изменений климата на динамику наземных экосистем Нижней Волги // Аридные экосистемы. – 2018. – Т. 24. – № 4 (77). – С. 3–18.
7. Кулик К.Н., Рулев А.С., Юферов В.Г. Геоинформационный анализ очагов опустынивания на территории Астраханской области // Аридные экосистемы. – 2013. – Т. 3. – № 3. – С. 184–190.
8. Сапанов М.К. Экологические последствия потепления климата в Северном Прикаспии // Аридные экосистемы. – 2018. – Т. 24. – № 1 (74). – С. 20–31.
9. Черенкова Е.А. Опасная атмосферная засуха на Европейской части России в условиях современного летнего потепления // Фундаментальная и прикладная климатология. – 2017. – № 2. – С. 130–143.

10. Valov M.V., Barmin A.N., Eroshkina O.S., Probst E.N. The modern state of the ecosystem in the Volga River delta ecotone and dynamics of the changes in water availability conditions // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2019. – November. – Vol. 381. – P. 012092 DOI 10.1088/1755-1315/381/1/012092
11. Christoph S. Climate extremes heat waves to come // Nature Climate Change. - 2016. - Vol. 6. – P. 128–129.
12. Climate Change. The Physical Science Basis // Working Group in Contribution to the fifth Assessment report of the intergovernmental panel on climate change Cambridge University Press. – 1535 p. URL: <http://www.climatechange2013.org>

**STATISTICAL ANALYSIS OF ATMOSPHERIC PRECIPITATIONS REGIME
CLIMATE CHANGES IN THE RIVER VOLGA DELTA**

Valov M.V., Kolotukhin A.Yu., Barmin A.N., Zhadnov E.E.

Astrakhan State University, Astrakhan, Russian Federation

e-mail: m.v.valov@mail.ru

Atmospheric precipitation regime assessment on the intrazonal landscape territory of the river Volga delta was carried out in this work for the period of 1922 till 2019. Mathematical statistics methods, average calculations, standard deviation, linear trend and construction of charts were used as an analysis tool. It was revealed that precipitation amount dynamics on the river Volga delta territory is characterized by the large variability for different years, total dynamics of annual average precipitation indicates on the cyclic period existence possibility of precipitation amount dispersion relative stabilization between 15 till 25 years; precipitation amount increase in rainy years occurs mainly as a result of the rain amount increase in the period of late spring and early summer, while more drought year periods are more stable. Conducted statistical analysis results expand vision about precipitation regime within unique natural territory of the river Volga delta, specifying specific features of their time transgressive variability.

Key words: climate changes, atmospheric precipitations, moisture regime, the river Volga delta.

Валов Михаил Викторович	Кандидат географических наук, доцент кафедры экологии, природопользования, землеустройства и БЖД, ФГБОУ ВО «Астраханский государственный университет», e-mail: m.v.valov@mail.ru
Колотухин Александр Юрьевич	Ассистент кафедры экологии, природопользования, землеустройства и БЖД, ФГБОУ ВО «Астраханский государственный университет», e-mail: m.v.valov@mail.ru
Бармин Александр Николаевич	Доктор географических наук, профессор, декан геолого-географического факультета, ФГБОУ ВО «Астраханский государственный университет», e-mail: abarmin60@mail.ru
Жаднов Евгений Евгеньевич	магистрант кафедры географии, картографии и геоинформатики, ФГБОУ ВО «Астраханский государственный университет», e-mail: m.v.valov@mail.ru

Поступила в редакцию 22.09.2020 г.

**Ассоциация по сохранению и восстановлению редких и исчезающих животных
«ЖИВАЯ ПРИРОДА СТЕПИ»**

**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Федеральный исследовательский центр
«ИНСТИТУТ БИОЛОГИИ ЮЖНЫХ МОРЕЙ имени А.О. КОВАЛЕВСКОГО РАН»
«КАРАДАГСКАЯ НАУЧНАЯ СТАНЦИЯ им. Т.И.ВЯЗЕМСКОГО –
ПРИРОДНЫЙ ЗАПОВЕДНИК РАН»**

ТРУДЫ КАРАДАГСКОЙ НАУЧНОЙ СТАНЦИИ им. Т.И. ВЯЗЕМСКОГО – ПРИРОДНОГО ЗАПОВЕДНИКА РАН

Основан в мае 2016 г.

**Основатель журнала –
ФГБУН «Карадагская научная станция им. Т.И.Вяземского –
природный заповедник РАН»**

Научное издание

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи,
информационных технологий и массовых коммуникаций
**Свидетельство о регистрации средства массовой информации
Сер. ПИ № ФС77-76870 от 11 октября 2019 г.**

Утверждено к печати научно-техническим советом Карадагской научной станция им.
Т.И.Вяземского – природного заповедника РАН – филиалом Федерального
государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского
центра «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН»
(протокол № 3 от 18 декабря 2020 г.)

Главный редактор: Р.В. Горбунов, канд. геогр. наук
Заместитель главного редактора: В.И. Мальцев, канд. биол. наук
Технические редакторы: Т.Ю. Горбунова, Л.В. Знаменская

Подписано к печати: 29.12.2020 г.

Дата выхода: 30.12.2020 г.

Формат 60x84/8 Усл. печ. л. 9,77. Тираж 100 экз. Распространяется бесплатно.

Отпечатано с оригинал-макета в типографии «ИТ «АРИАЛ»
295015, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Севастопольская, 31-а/2,
тел.: +7 978 71 72 901, e-mail: it.arial@yandex.ru, www.arial.3652.ru