



ISSN 2499-9768 print  
ISSN 2499-9776 online

**МОРСКОЙ  
БИОЛОГИЧЕСКИЙ  
ЖУРНАЛ**

**MARINE BIOLOGICAL JOURNAL**

**Том 2 № 2**

**2017**

## МОРСКОЙ БИОЛОГИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

реферированная Международной информационной системой по водным наукам и рыболовству

*Aquatic Sciences and Fisheries Abstracts (ASFA, ProQuest),*

Всероссийским институтом научно-технической информации (ВИНИТИ),

а также Российским индексом научного цитирования (РИНЦ) на базе Научной электронной библиотеки *elibrary.ru* (НЭБ).

Материалы, подаваемые в «Морской биологический журнал», проходят независимое двойное рецензирование.

### Редакционная коллегия

Главный редактор

**Гулин С. Б.**, д. б. н., проф., директор ИМБИ РАН

Заместители главного редактора

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

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

Ответственный секретарь

**Корнийчук Ю. М.**, к. б. н., зам. директора ИМБИ РАН

Выпускающий редактор

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

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

**Азовский А. И.**, д. б. н., проф. МГУ

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

**Егоров В. Н.**, академик РАН, д. б. н., проф., гл. н. с. ИМБИ РАН

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

**Коновалов С. К.**, чл.-корр. РАН, д. г. н., директор МГИ РАН

**Мильчакова Н. А.**, к. б. н., зав. лабораторией ИМБИ РАН

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

**Неврова Е. Л.**, д. б. н., в. н. с. ИМБИ РАН

**Празукин А. В.**, д. б. н., в. н. с. ИМБИ РАН

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

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

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

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

**Arvanitidis Chr.**, PhD (Marine Biol.), Head of Biodiversity

Laboratory, HCMR, Greece

**Bat L.**, PhD (Marine Biol.), Prof., Head of Hydrobiology Dep.,

Fisheries Faculty, Sinop University, Turkey

**Ben Souissi J.**, PhD (Env. Sci.), Prof., Institut National

Agronomique de Tunisie, Directrice de Département des Sciences

Marines, Tunis

**Kociolek J. P.**, PhD (Marine Sci.), Prof., University of Colorado

at Boulder, Director Boulder Museum of Natural History and

Department of Ecology and Evolutionary Biology, USA

**Magni P.**, PhD (Marine Sci.), National Research Council /

Institute for Coastal Marine Environment (IAMC-CNR), Italy

**Moncheva S.**, PhD (Marine Biol.), Prof., Deputy Director of

Institute of Oceanology BAS, Bulgaria

**Zaharia T.**, PhD (Ecology, Env. Sci.), Sci. Director, President of

Scientific Council National Institute for Marine Research and

Development "Grigore Antipa", Romania

### Editorial Board

Editor-in-chief

**Gulin S. B.**, D. Sc. (Biol.), Prof., Director, IMBR RAS

Assistant editors

**Tokarev Yu. N.**, D. Sc. (Biol.), Prof., Scientific Supervisor, IMBR RAS

**Soldatov A. A.**, D. Sc. (Biol.), Prof., Head of Dep., IMBR RAS

Executive secretary

**Kornyychuk Yu. M.**, PhD (Biol.), Deputy Director, IMBR RAS

Executive editor

**Samyshev E. Z.**, D. Sc. (Biol.), Prof., Head of Dep., IMBR RAS

**Adrianov A. V.**, Academician of RAS, D. Sc. (Biol.), Prof.,

Director, Institute of Marine Biology Far-Eastern Branch of RAS

**Azovsky A. I.**, D. Sc. (Biol.), Prof., Moscow State University

**Genkal S. I.**, D. Sc. (Biol.), Prof., Chief Researcher,

Institute of Biology of Inland Waters RAS

**Egorov V. N.**, Academician of RAS, D. Sc. (Biol.), Prof.,

Chief Researcher, IMBR RAS

**Zuyev G. V.**, D. Sc. (Biol.), Prof., Head of Dep., IMBR RAS

**Konovalev S. K.**, Associated Member of RAS, D. Sc. (Geogr.),

Prof., Director, Marine Hydrophysical Institute RAS

**Milchakova N. A.**, PhD (Biol.), Head of Laboratory, IMBR RAS

**Mironov O. G.**, D. Sc. (Biol.), Prof., Chief Researcher, IMBR RAS

**Nevrova E. L.**, D. Sc. (Biol.), Leading Researcher, IMBR RAS

**Prazukin A. V.**, D. Sc. (Biol.), Leading Researcher, IMBR RAS

**Rudneva I. I.**, D. Sc. (Biol.), Prof., Leading Researcher, IMBR RAS

**Ryabushko V. I.**, D. Sc. (Biol.), Head of Dep., IMBR RAS

**Sovga E. E.**, D. Sc. (Geogr.), Prof., Leading Researcher,

Marine Hydrophysical Institute RAS

**Finenko Z. Z.**, D. Sc. (Biol.), Prof., Head of Dep., IMBR RAS

**Arvanitidis Chr.**, PhD (Marine Biol.), Head of Biodiversity Laboratory, HCMR,

Greece

**Bat L.**, PhD (Marine Biol.), Prof., Head of Hydrobiology Dep., Fisheries Faculty,

Sinop University, Turkey

**Ben Souissi J.**, PhD (Env. Sci.), Prof., Institut National Agronomique

de Tunisie, Directrice de Département des Sciences Marines, Tunis

**Kociolek J. P.**, PhD (Marine Sci.), Prof., University of Colorado at Boulder,

Director Boulder Museum of Natural History and Department of Ecology

and Evolutionary Biology, USA

**Magni P.**, PhD (Marine Sci.), National Research Council / Institute for Coastal

Marine Environment (IAMC-CNR), Italy

**Moncheva S.**, PhD (Marine Biol.), Prof., Deputy Director of Institute of

Oceanology BAS, Bulgaria

**Zaharia T.**, PhD (Ecology, Env. Sci.), Sci. Director, President of Scientific

Council National Institute for Marine Research and Development "Grigore Antipa",

Romania

### Адрес редакции

Институт морских биологических исследований имени

А. О. Ковалевского РАН

пр. Нахимова, 2, Севастополь, 299011, Россия

Телефон: +7 (8692) 54-56-62

E-mail: mbj@imbr-ras.ru

### Address of the Editorial Office

Kovalevsky Institute of Marine Biological Research

Russian Academy of Sciences

Nakhimov avenue, 2, Sevastopol, 299011, Russian Federation

Tel.: +7 (8692) 54-56-62

E-mail: mbj@imbr-ras.ru

© Зоологический институт РАН, 2017

© Институт морских биологических исследований имени А. О. Ковалевского РАН, 2017

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК  
ЗООЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
ИНСТИТУТ МОРСКИХ БИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
им. А. О. КОВАЛЕВСКОГО

## МОРСКОЙ БИОЛОГИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

MARINE BIOLOGICAL JOURNAL

2017 Том 2 № 2

Основан в феврале 2016 г.

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

Выходит 4 раза в год

### СОДЕРЖАНИЕ

#### Обзоры

Зуев Г. В., Климова Т. Н. Многолетняя динамика репродуктивных показателей европейского анчоуса *Engraulis encrasicolus* (L., 1758) и их связь с температурными условиями ..... 3–19

#### Научные сообщения

Бондарев И. П., Ревков Н. К. Консорты брюхоногого моллюска *Rapana venosa* (Valenciennes, 1846) в северной части Чёрного моря. Часть I: Porifera, Cnidaria, Bryozoa, Chordata ..... 20–33

Гудвиллович И. Н., Боровков А. Б. Продуктивность микроводоросли *Dunaliella salina* Teod. при различных способах внесения углекислого газа в культуру ..... 34–40

Карпова Е. П., Болтачев А. Р., Данилюк О. Н. Распространение редкого вида морских уточек — малоголовой присоски *Apletodon dentatus* (Actinopterygii, Gobiesocidae) — у берегов Крыма ..... 41–48

Миронов О. А., Муравьева И. П. Нефтяные углеводороды и общие липиды в береговых выбросах *Cystoseira barbata* (Stackh.) C. Agardh в прибрежной зоне Севастополя (Чёрное море) ..... 49–54

Пашков А. Н. Морфологические характеристики популяций пухлощёкой иглы-рыбы *Syngnathus abaster* Risso, 1827 (Pisces, Actinopterygii, Syngnathidae) из некоторых водоёмов Северного Кавказа ..... 55–69

Рябушко В. И., Празукин А. В., Гуреева Е. В., Бобко Н. И., Ковригина Н. П., Нехорошев М. В. Фукоксантин и тяжёлые металлы в бурых водорослях рода *Cystoseira* C. Agardh из акваторий с различным антропогенным воздействием (Чёрное море) (In English) ..... 70–79

Шадрин Н. В., Ануфриева Е. В., Шадрин С. Н. Краткий обзор фототрофов гиперсолёных озёр и лагун Крыма. Разнообразие, экологическая роль, возможности использования ..... 80–85

#### Исторические хроники

Русанов К. В. Харьков в становлении Н. В. Морозовой-Водяницкой как ботаника-альголога ... 86–98

#### Хроника и информация

Колесникова Е. А., Болтачев А. Р. Памяти И. И. Маслова (12.04.1952–29.12.2016) ..... 99–100

RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES  
ZOOLOGICAL INSTITUTE  
KOVALEVSKY INSTITUTE  
OF MARINE BIOLOGICAL RESEARCH

# МОРСКОЙ БИОЛОГИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

## MARINE BIOLOGICAL JOURNAL

2017 Vol. 2 no. 2

---

Established in February 2016

SCIENTIFIC JOURNAL

4 issues per year

---

### CONTENTS

#### Reviews

- Zuyev G. V., Klimova T. N. Long-term dynamic of reproductive performance of European anchovy  
*Engraulis encrasicolus* Linnaeus, 1758 and its connection with temperature ..... 3–19

#### Scientific communications

- Bondarev I. P., Revkov N. K. Consorts of gastropod *Rapana venosa* (Valenciennes, 1846)  
in the Northern Black Sea. Part I: Porifera, Cnidaria, Bryozoa, Chordata ..... 20–33
- Gudvilovych I. N., Borovkov A. B. *Dunaliella salina* Teod. microalgae productivity,  
when grown under the different addition of carbon dioxide in culture ..... 34–40
- Karpova E. P., Boltachev A. R., Danylyuk O. N. Distribution of the rare species of clingfishes —  
small-headed clingfish *Apletodon dentatus* (Actinopterygii, Gobiiesocidae) —  
near Crimean coasts ..... 41–48
- Mironov O. A., Muraviova I. P. Oil hydrocarbons and total lipids in the coastal casts  
of *Cystoseira barbata* (Stackh.) C. Agardh in the littoral zone of Sevastopol (Black Sea) ..... 49–54
- Pashkov A. N. Morphological characteristics of the populations of black-striped pipefish  
*Syngnathus abaster* Risso, 1827 (Pisces, Actinopterygii, Syngnathidae)  
in some North Caucasian water bodies ..... 55–69
- Ryabushko V. I., Prazukin A. V., Gureeva E. V., Bobko N. I., Kovrigina N. G., Nekhoroshev M. V.  
Fucoxanthin and heavy metals in brown algae of genus *Cystoseira* C. Agardh from water areas  
with different anthropogenic influences (Black Sea) ..... 70–79
- Shadrin N. V., Anufrieva E. V., Shadrina S. N. Brief review of phototrophs in the Crimean  
hypersaline lakes and lagoons: diversity, ecological role, the possibility of using ..... 80–85

#### Historical chronicles

- Rusanov K. V. Kharkov in the formation of N. V. Morozova-Vodyanitskaya as a botanist-algologist . 86–98

#### Chronicle and information

- Kolesnikova E. A., Boltachev A. R. To the memory of I. I. Maslov (12.04.1952–29.12.2016) ..... 99–100



УДК 597.554.5:551.463.6(262.5)

## МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА РЕПРОДУКТИВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЕВРОПЕЙСКОГО АНЧОУСА *ENGRAULIS ENCRASICOLUS* (L., 1758) И ИХ СВЯЗЬ С ТЕМПЕРАТУРНЫМИ УСЛОВИЯМИ

© 2017 г. **Г. В. Зуев**, д-р биол. наук, зав. отд., **Т. Н. Климова**, канд. биол. наук, ст. н. с.

Институт морских биологических исследований им. А. О. Ковалевского РАН, Севастополь, Россия

E-mail: [tnklim@mail.ru](mailto:tnklim@mail.ru)

Поступила в редакцию 15.05.2017 г. Принята к публикации 23.06.2017 г.

Европейский анчоус, или хамса (*Engraulis encrasicolus* L.), — один из наиболее массовых видов рыб в Азово-Черноморском бассейне. Является основным промысловым объектом: доля его вылова составляет около 80 %. Оценка состояния популяции хамсы и её динамики в условиях климатического потепления — одна из актуальных задач современных исследований. Данная статья посвящена изучению многолетней динамики ряда популяционных репродуктивных показателей хамсы и их связи с температурой воды с целью возможного использования для прогноза состояния популяции при изменении условий среды. В основе работы — полученные в 2000–2015 гг. результаты собственных исследований, выполненных в прибрежной акватории Чёрного моря, прилегающей к юго-западному побережью Крыма (район Севастополя — Балаклавы). Для сбора икры хамсы использовали планктонную сеть Богорова — Расса (БР-80/113) в режиме вертикального лова в слое 0–10 м. Взрослые экземпляры получены из ставных неводов. Проанализированы 702 ихтиопланктонные пробы и 941 экз. нерестовых самок (на стадиях зрелости V, VI–IV и VI–V). Среди популяционных репродуктивных показателей были изучены календарные сроки и продолжительность нерестового периода, интенсивность и эффективность нереста, внутривидовой состав родительского стада. Календарные сроки нереста хамсы в 2000–2014 гг. у юго-западного побережья Крыма варьировали от второй декады мая (ранний нерест) до третьей декады июня (поздний нерест); сроки окончания — от третьей декады августа до третьей декады сентября. Общая продолжительность репродуктивного периода составляла 8–14 недель, средняя — 11 недель. В многолетнем плане установлен сдвиг начала нереста на более ранние календарные сроки. Максимальные (пиковые) среднемесячные значения интенсивности нереста в 2012–2013 гг. варьировали от 33.6 до 78.7 % (среднее 51.2 %). Пик популяционного нереста приходится на июль и август; его повторяемость в июле составила 25.0 %, в августе — 66.7 %. В многолетнем плане установлен сдвиг пика нереста на более ранние сроки: в 2000–2005 гг. повторяемость пика нереста в августе составляла 100 %, в 2007–2013 гг. — только 50 %. Абсолютная численность икры (эффективность нереста) в 2000–2014 гг. изменялась от 1.6 до 29.9 экз.·м<sup>-2</sup>, составив в среднем 10.3 экз.·м<sup>-2</sup>. Условно выделены низко-, средне- и высокоурожайные годы с численностью икры менее 10, 10–20 и более 20 экз.·м<sup>-2</sup> соответственно и со средней эффективностью нереста 5.1, 14.5 и 25.0 экз.·м<sup>-2</sup>. Эффективность нереста высокоурожайных лет в 1.7 и 4.9 раза превышает таковую средне- и низкоурожайных лет. Установлен многолетний положительный тренд эффективности нереста. В 2000–2011 гг. произошла перестройка внутривидовой структуры хамсы, которая сопровождалась перераспределением численного соотношения в составе нерестовой части популяции представителей азовского и черноморского подвидов в пользу последнего. До 2004 г. относительная численность черноморской хамсы составляла 33.3 %, после 2004 г. — 76.7 %. Одновременно произошло заметное увеличение её вылова. Коэффициент корреляции между относительной численностью черноморской хамсы и выловом составил 0.92. Календарные сроки начала нереста, его интенсивность и эффективность тесно связаны с температурой воды. Нижней температурной границей массового нереста является 17.5 °С. Область «максимально благоприятной нерестовой температуры» находится выше 23 °С. В её пределах реализуется около 2/3 репродуктивного потенциала популяции.

**Ключевые слова:** хамса, интенсивность нереста, эффективность нереста, перестройка внутривидовой структуры, температура воды, популяция, вылов

Европейский анчоус, или хамса (*Engraulis encrasicolus* L.), относится к числу наиболее массовых видов рыб в Азово-Черноморском бассейне. Благодаря своей многочисленности играет исключительно важную роль в экосистеме моря, являясь промежуточным звеном между зоопланктоном и представителями высшего трофического уровня — крупными хищными рыбами, дельфинами и птицами. В то же время хамса — важный промысловый объект, активно эксплуатируемый всеми причерноморскими странами: она устойчиво занимает первое место по объёму вылова. За последние 50 лет (с конца 1960-х — начала 1970-х) доля вылова хамсы в черноморском рыбном промысле увеличилась с 55–60 до 80–85 %. По своему генезису является представителем субтропических и тропических видов рыб — средиземноморских иммигрантов, массово проникших в Чёрное море в послеледниковый период 8–10 тыс. лет назад [8, 9]. Данный вид представлен двумя подвидами (расами) — черноморским (*E. encrasicolus ponticus*) и азовским (*E. encrasicolus maeoticus*) [7]. Согласно современным представлениям [4, 12], внутривидовая структура хамсы включает два иерархически соподчиненных уровня. Верхний иерархический уровень занимают две крупномасштабные, пространственно перекрывающиеся, внутренне неоднородные группировки, отличающиеся по своим морфобиологическим, генетическим и экологическим характеристикам, — это черноморская и азовская расы (подвиды). Нижний иерархический уровень занимают в разной степени пространственно обособленные и подверженные взаимному обмену локальные группировки представителей каждой расы — популяции. Представители черноморской расы распространяются фактически на всю акваторию Чёрного моря, населяя в основном его открытые (солонководные) районы. Представители азовской расы значительно уступают по размерам занимаемой ими акватории черноморскому анчоусу, их распространение ограничено главным образом прибрежными районами по всему периметру Чёрного моря и акваторией Азовского моря.

Современное состояние черноморской популяции — относительно стабильное, её биомасса оценивается в 400–600 тыс. т, рекомендуемый вылов — 150–200 тыс. т [13]. Начиная с 2012 г. запас азовской хамсы увеличился до 500–600 тыс. т [14].

Исследования, посвящённые изучению различных сторон репродуктивной биологии и экологии европейского анчоуса в Чёрном и Азовском морях, имеют довольно обширную библиографию. Благодаря им многие структурные и функциональные репродуктивные характеристики и условия размножения хамсы в целом изучены достаточно подробно. Вместе с тем некоторые сведения об изменчивости календарных сроков, общей продолжительности и интенсивности нереста, ряда других индивидуальных и популяционных репродуктивных показателей и их связи с температурным режимом остаются фрагментарными. Кроме того, многие из этих сведений были получены достаточно давно и не отражают изменений, которые неизбежно должны были произойти под воздействием глобального потепления и антропогенного влияния, имевших место в Черноморском регионе в последнее время.

Данная статья посвящена изучению меж- и внутригодовой изменчивости и многолетней динамики ряда популяционных репродуктивных показателей европейского анчоуса в современных условиях и их связи с температурой воды в нерестовый период с целью их возможного использования для прогноза состояния популяции при изменении условий среды.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Систематизированы и обобщены результаты многолетних (2000–2015 гг.) исследований репродуктивных показателей европейского анчоуса (хамсы). Материал собирался в апреле — октябре 2000–2015 гг. в прибрежной акватории Чёрного моря, шириной до двух миль, прилегающей к юго-западному побережью Крыма (район Севастополя — Балаклавы). Для сбора икры использовали планктонную сеть Богорова — Расса (БР-80/113: ячейка 400 мкм, площадь входного отверстия 0.5 м<sup>2</sup>) в режиме вертикального лова в слое 0–10 м. Взрослые, достигшие репродуктивного возраста самки были получены из

промысловых уловов ставных неводов. Ихтиопланктонные пробы фиксировали в 4 % растворе формальдегида и обрабатывали с помощью бинокулярного микроскопа МБС-10. Всего проанализированы 702 ихтиопланктонные пробы и 21 выборка из 941 экз. самок. При изучении температурных условий размножения использовали среднемесячные значения температуры поверхности воды Чёрного моря в районе мыса Херсонес (данные Севастопольского ФГБУ «Государственный океанографический институт им. Н. Н. Зубова»).

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В первой части работы приводятся результаты изучения меж- и внутригодовой (сезонной) изменчивости и многолетней динамики следующих репродуктивных показателей:

- сроков и продолжительности репродуктивного периода;
- интенсивности нереста;
- эффективности (урожайности) нереста;
- внутривидовой структуры родительского стада.

Вторая часть посвящена выявлению и количественной оценке тесноты связи между репродуктивными показателями и температурой воды в нерестовый сезон.

Календарные сроки начала, окончания и, соответственно, продолжительности репродуктивного (нерестового) периода устанавливали по факту обнаружения икры в ихтиопланктонных пробах. В 2000–2014 гг. календарные сроки начала нереста не оставались постоянными и изменялись от второй декады мая (14.05.2010) до третьей декады июня (29.06.2011), а сроки его окончания — от третьей декады августа (29.08.2013) до третьей декады сентября (25.09.2012) (табл. 1). В результате продолжительность репродуктивного периода в общей сложности изменялась от 8 (2001 г.) до 14 (2010 г.) недель, при средней продолжительности 11 недель. Чаще всего (в 72.8 % случаев) продолжительность нерестового периода составляла 10–13 недель. При этом строгой зависимости между продолжительностью нерестового периода и календарными сроками его начала не установлено.

**Таблица 1.** Календарные сроки начала и окончания репродуктивного периода хамсы в 2000–2014 гг.

**Table 1.** Calendar dates of beginning and finish of anchovy's reproductive season in 2000–2014

Год	Репродуктивный период	
	начало	конец
2000	14.06	09.09 <sup>*)</sup>
2001	21.06	07.09
2002	22.05	25.09
2003	04.06	12.09
2004	04.06	20.09
2005	31.05	20.09
2007	25.05	06.08 <sup>*)</sup>
2008	22.05	12.09
2009	05.06	15.09
2010	14.05	21.09
2011	29.06	15.09
2013	22.05	29.08
2014	26.05	28.08

Примечание: <sup>\*)</sup> — данные, вызывающие сомнение

В исследованный период в 7 случаях из 13 (53.8 %) начало нереста зафиксировано в мае (ранний нерест) и в 5 (46.2 %) — в июне (поздний нерест). Временная закономерность в чередовании годов с ранним и поздним нерестом не выражена. Вместе с тем во второй половине периода исследований, в 2007–2014 гг., ранний нерест происходил заметно чаще: его повторяемость составила 71.4 %, увеличившись в 2.14 раза по сравнению с таковой в 2000–2005 гг., когда она не превышала 33.3 %.

Изучены интенсивность нереста хамсы, её сезонные и межгодовые изменения, а также многолетняя динамика в 2000–2013 гг. Для оценки интенсивности нереста использованы среднемесячные значения плотности распределения относительной численности и встречаемости икры, а также относительной численности и встречаемости нерестовых самок, состояние гонад которых соответствует V, VI–IV и VI–V стадиям зрелости. На основании данных об относительной численности икры выявлены существенные изменения интенсивности нереста в течение репродуктивного периода. Начиная с мая (июня), доля выметанной икры последовательно возрастала, достигая максимальных значений в разные годы в июле и августе, и резко сокращалась в сентябре. Максимальные значения относительной численности икры (пик нереста) в восьми случаях (66.7 %) зафиксированы в августе и трижды (25 %) — в июле (табл. 2). Лишь однажды, в 2008 г., был зафиксирован «аномальный» характер сезонной динамики интенсивности нереста, когда максимальная доля икры была обнаружена в июне. Максимальные (пиковые) значения относительной численности икры изменялись от 33.6 % (июнь 2008 г.) до 78.7 % (август 2000 г.), то есть амплитуда их межгодовых колебаний достигала 2.3 раза. Среднегодовая величина максимальной интенсивности нереста составляла при этом 51.2 %. Распределение среднегодовых значений относительной численности икры по месяцам представлено в табл. 3 и на рис. 1.

**Таблица 2.** Плотность распределения относительной численности икры хамсы в 2000–2013 гг.

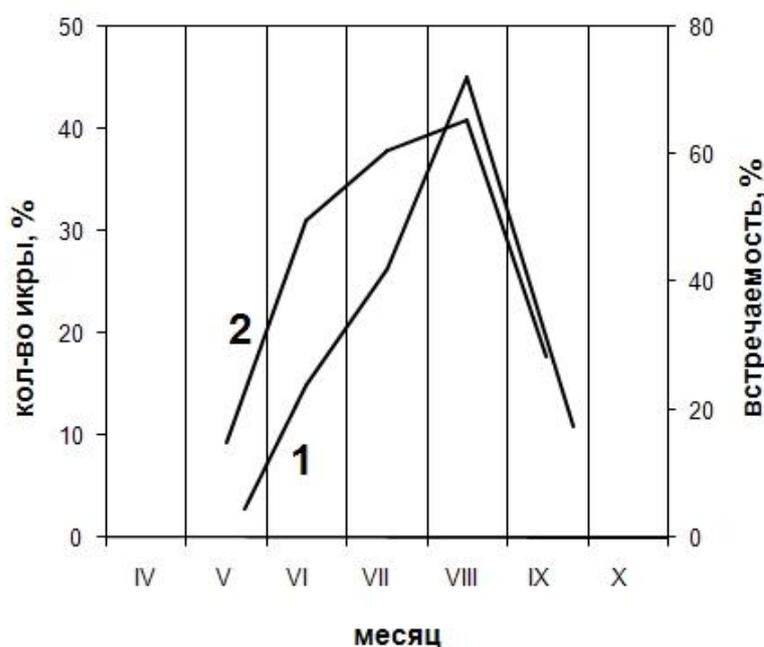
**Table 2.** Relative abundance of anchovy's eggs in 2000–2013

Год	Относительная численность икры, %				
	май	июнь	июль	август	сентябрь
2000	0.0	3.6	3.6	78.7	14.1
2001	0.0	7.8	13.9	73.8	4.5
2002	7.8	8.7	7.8	50.5	25.2
2003	0.0	26.7	14.4	48.9	10.0
2004	0.0	11.1	14.9	57.8	16.2
2005	2.5	21.1	31.8	34.8	9.8
2007	0.2	24.5	53.1	22.2	0.0
2008	13.4	33.6	16.8	19.4	16.8
2009	0.0	7.5	17.7	62.9	11.9
2010	1.2	11.6	53.4	33.5	0.3
2011	0.0	3.3	58.6	16.3	21.8
2013	8.7	19.0	30.4	41.9	0.0

В многолетнем плане прослеживается смещение пика нереста на более ранние календарные сроки. Так, в 2000–2005 гг. во всех случаях пик нереста приходился на август (100 %), тогда как в 2007–2013 гг. лишь в трёх из шести случаев (50.0 %) он был зафиксирован в июле и даже однажды (16.7 %) — в июне, то есть повторяемость августовского пика нереста в 2007–2013 гг. не превышала 33.3 %. Общая картина распределения среднегодовых значений встречаемости икры в разные месяцы находится в полном соответствии с распределением её относительной численности. Максимальная встречаемость икры (65.3 %) зафиксирована в августе (см. табл. 3, рис. 1).

**Таблица 3.** Среднегодовые значения плотности распределения относительной численности и встречаемости икры хамсы в 2000–2013 гг.**Table 3.** Average long-term value of relative abundance and anchovy's eggs frequency in 2000–2013

Месяц	Относительная численность, %	Встречаемость, %
май	2.8	14.8
июнь	14.9	49.6
июль	26.4	60.5
август	45.0	65.3
сентябрь	10.9	28.4

**Рис. 1.** Интенсивность нереста хамсы в 2000–2013 гг.: 1 — относительная численность икры, %; 2 — встречаемость икры, %**Fig. 1.** Anchovy's spawning intensity in 2000–2013: 1 – relative egg's abundance, %; 2 – eggs occurrence frequency, %

Также изучены межгодовая изменчивость и многолетняя динамика эффективности (урожайности) нереста хамсы в 2000–2014 гг. Для этой цели использовали среднегодовые значения общей численности икры (табл. 4, рис. 2). Общая численность икры изменялась от 1.6 экз.·м<sup>-2</sup> (2003 г.) до 29.9 (2010 г.), то есть амплитуда её межгодовых колебаний достигала 18.7 раза. В соответствии со столь большой амплитудой колебаний общей численности икры были условно выделены низко-, средне- и высокоурожайные годы. К числу низкоурожайных относятся годы с численностью икры менее 10 экз.·м<sup>-2</sup>, к числу среднеурожайных — с численностью икры 10–20 экз.·м<sup>-2</sup>, а к числу высокоурожайных — с численностью икры, превышающей 20 экз.·м<sup>-2</sup>. В результате доля низкоурожайных лет составила 61.5 % (8 из 13), среднеурожайных — 23.1 % (3 из 13), высокоурожайных — 15.4 % (2 из 13). При этом средняя эффективность нереста низко-, средне- и высокоурожайных лет составила 5.1, 14.5 и 25.0 экз.·м<sup>-2</sup> соответственно. Средняя эффективность нереста высокоурожайных лет превысила эффективность нереста среднеурожайных лет в 1.7, а низкоурожайных — в 4.9 раза.

В многолетнем плане прослеживается тенденция последовательного увеличения численности икры

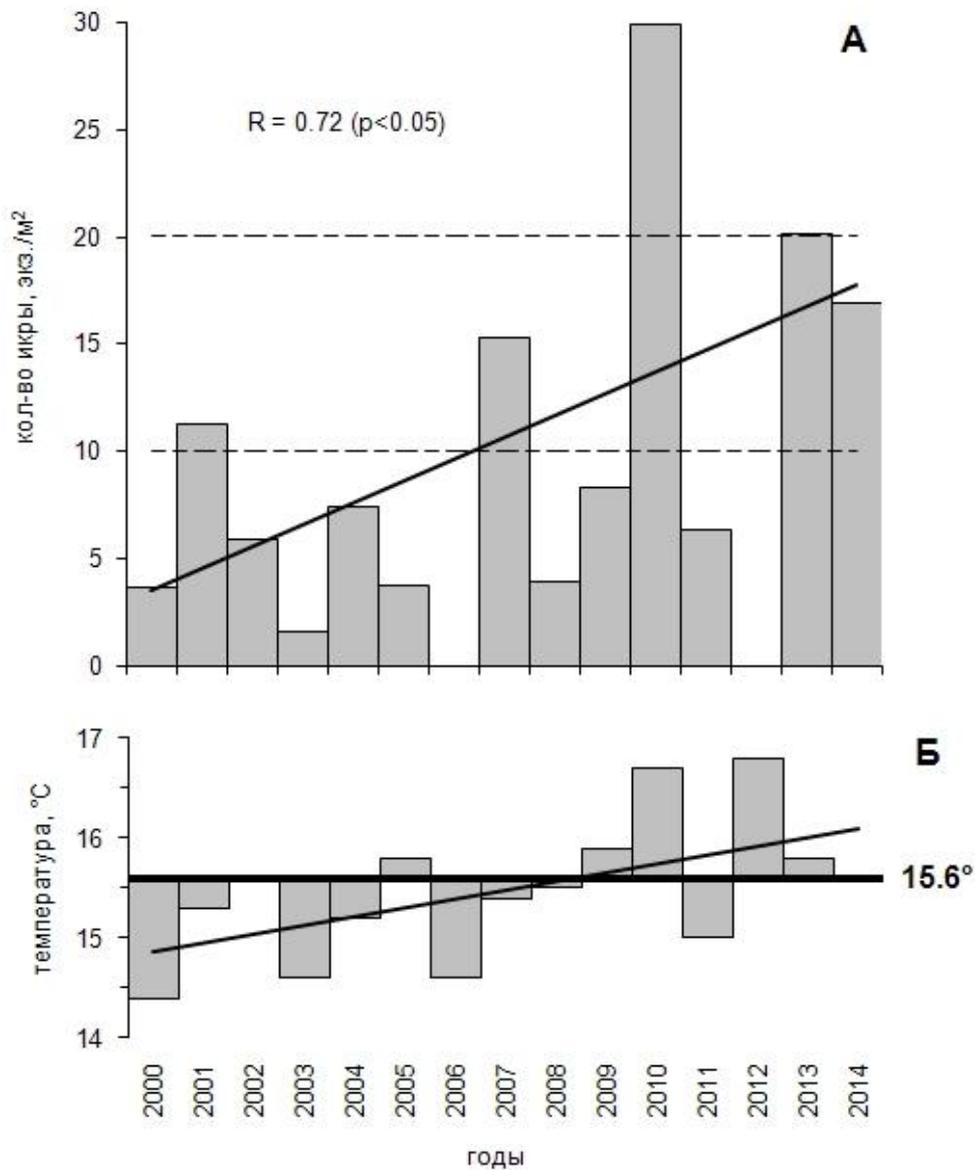
**Таблица 4.** Среднегодовая общая численность икры хамсы в 2000–2014 гг., экз.·м<sup>-2</sup>**Table 4.** Average annual anchovy's eggs abundance in 2000–2014, specimen·m<sup>-2</sup>

Месяц	Численность, экз.·м <sup>-2</sup>	Количество проб
2000	$\frac{3.6}{2-74^{*)}}$	67
2001	$\frac{11.2}{2-114}$	17
2002	$\frac{5.9}{2-72}$	41
2003	$\frac{1.6}{2-34}$	111
2004	$\frac{7.4}{2-84}$	102
2005	$\frac{3.7}{2-84}$	60
2007	$\frac{15.3}{4-270}$	67
2008	$\frac{3.9}{2-32}$	42
2009	$\frac{8.3}{2-86}$	46
2010	$\frac{29.9}{2-342}$	35
2011	$\frac{6.3}{6-56}$	40
2013	$\frac{20.01}{2-232}$	56
2014	$\frac{16.9}{2-190}$	43

Примечание: \*) — минимальные и максимальные значения

от начала 2000-х. Так, в 2000–2005 гг. её средняя численность составляла 5.6 (1.6–11.2 экз.·м<sup>-2</sup>), тогда как в 2007–2014 гг. — 14.4 экз.·м<sup>-2</sup> (3.9–29.9 экз.·м<sup>-2</sup>), увеличившись более чем в 2.5 раза. При этом максимальная численность икры в 2000–2005 гг. достигала 114 экз.·м<sup>-2</sup>, а в период 2007–2014 гг. — 342 экз.·м<sup>-2</sup>. Ещё более значительные различия (в 3.3 раза) наблюдались в численности икры между началом нулевых годов (2000–2005) и двумя последними — 2013 и 2014-м.

В числе репродуктивных показателей, отражающих готовность популяции к размножению, изучены межгодовая изменчивость и многолетняя динамика встречаемости и относительной численности



**Рис. 2.** Эффективность нереста хамсы в 2000–2014 гг.: А — среднегодовая численность икры, экз.·м<sup>-2</sup>; Б — среднемноголетняя температура поверхности воды и отклонения от нее в районе мыса Херсонес

**Fig. 2.** Ancovy's spawning efficiency in 2000–2014: А – average annual eggs abundance, specimen·m<sup>-2</sup>; Б – Average long-term water surface temperature and its deviations in Khersonesus cape region

нерестовых самок хамсы в 2004–2015 гг., а также их внутривидовая структура (табл. 5). В мае нерестовые самки зафиксированы в 2 выборках из 13 (в 2013 и 2015 гг.), то есть их встречаемость составила 15.4 %, а относительная численность — 19.2 и 25.2 % (средняя 23.2 %). В июне нерестовые самки обнаружены во всех выборках (встречаемость 100 %). В то же время их относительная численность варьировала в разные годы от 52.6 до 98.8 % (средняя 82.1 %).

Изучена внутривидовая структура нерестовой части популяции. Для внутривидовой идентификации нерестовых самок использована величина индекса отоликов (*l/d*), представляющая отношение длины отоликов к его ширине [11]. Установлено, что во все годы исследований нерестовые самки были представлены двумя подвидами — азовским и черноморским. Численное соотношение представите-

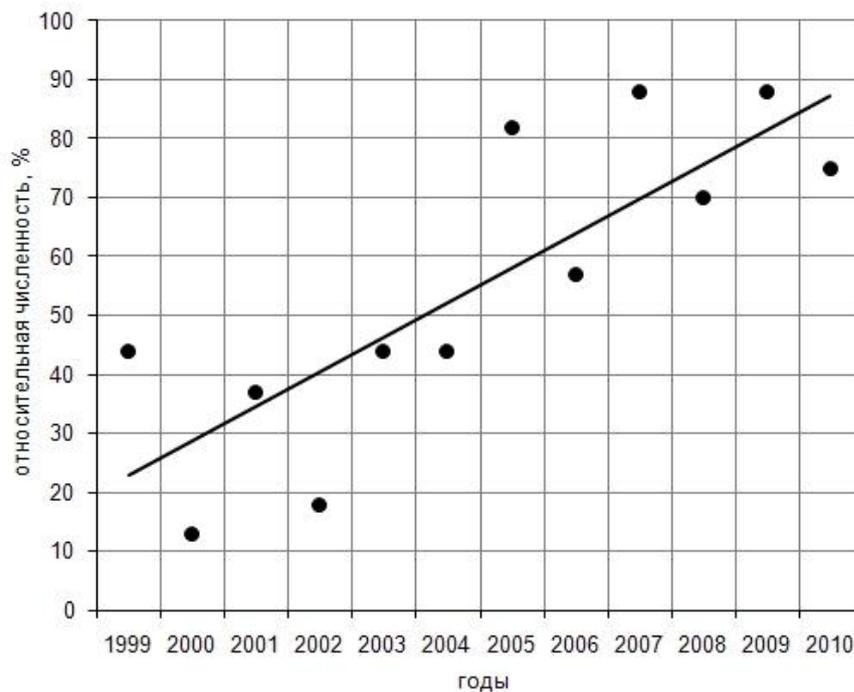
**Таблица 5.** Относительная численность и встречаемость нерестовых самок хамсы в 2004–2015 гг.**Table 5.** Relative abundance and occurrence frequency of spawning anchovy female in 2004–2015

Год	Встречаемость нерестовых самок, %				
	май	июнь	июль	август	сентябрь
2004	$\frac{0^*}{168^{**}}$	–	–	–	–
2006	–	$\frac{68.8^*}{80}$	–	–	–
2008	$\frac{0^*}{97}$	$\frac{65.8}{38}$	–	–	–
2010	$\frac{0^*}{79}$	$\frac{65.8}{38}$	–	–	–
2011	$\frac{0}{42}$	$\frac{95.2}{63}$	–	$\frac{15.2}{33}$	–
2013	$\frac{19.2^*}{52}$	$\frac{52.6}{19}$	–	–	–
2014	$\frac{0^*}{90}$	$\frac{98.8}{85}$	–	–	–
2015	$\frac{25.2^*}{103}$	–	–	–	$\frac{0}{22}$

Примечание: \*) — двойные выборки, \*\*) — общее количество экземпляров

лей каждого подвида не оставалось постоянным, претерпевая как межгодовые, так и сезонные изменения. В разные годы доля азовской хамсы колебалась от 25 (2011) до 60 % (2013), т. е. изменялась в 2.4 раза, доля черноморской хамсы — от 40 (2013) до 75 % (2011), т. е. изменялась почти в 2 раза. В общей сложности доля азовской хамсы в составе нерестового стада составляла 44.1 %, доля черноморской — 55.9 % (соотношение, близкое к 2 : 3). В многолетнем плане до 2004 г. в составе общей популяции доминирующее положение занимала азовская хамса: её доля составляла в среднем 66.7 % общей численности, варьируя в разные годы от 56 до 87 %. Доля черноморской хамсы в этот период составляла в среднем лишь 33.3 %, изменяясь от 13 до 44 %. В 2005 г. соотношение численности между ними изменилось на противоположное: доминирующее положение в уловах заняла черноморская хамса. В 2005–2011 гг. её доля составляла в среднем 76.7 % с вариациями от 57 до 88 %, то есть произошла перестройка внутривидовой структуры популяции (рис. 3).

Внутрисезонные колебания относительной численности представителей обоих подвигов менее значительны. Так, относительная численность азовской хамсы в 2006 г. сократилась от мая к июню с 35 до 20 % (в 1.75 раза), в 2011 г. — с 37 до 25 % (в 1.48 раза) и в 2013 г. — с 60 до 40 % (в 1.5 раза). Соответственно, относительная численность черноморской хамсы в эти годы увеличилась в 1.33, 1.19 и 1.50 раза (табл. 6). Можно предположить, что одновекторный характер внутригодового (сезон-



**Рис. 3.** Изменение относительной численности черноморской хамсы в составе зимовальных скоплений в 1999–2010 гг.

**Fig. 3.** Relative abundance of Black Sea anchovy race in 1999–2010.

**Таблица 6.** Сезонная изменчивость внутривидовой структуры нерестовых самок хамсы

**Table 6.** Seasonal variability of anchovy's intraspecific structure

Год	Дата	Индекс отолита <i>l/d</i>	Относительная численность, %		Кол-во исследованных экз.
			черноморская	азовская	
2006	07.06	2.087	45	55	35
	30.06	2.120	60	40	20
2008	12.06	2.107	53	47	25
2011	8.08	2.127	63	37	60
	11.08	2.150	75	25	5
2013	31.05	2.079	40	60	10
	26.06	2.120	60	40	10
2014	05.06	2.086	44	56	84
2015	21.05	2.126	63	37	26

ного) перераспределения соотношения численности нерестовых самок разных подвидов в 2006, 2011 и 2013 гг., направленный на снижение доли азовской хамсы и увеличение доли черноморской, не является случайным, а отражает их адаптацию к разным условиям размножения, в частности к температуре воды: процесс размножения азовской хамсы должен начинаться раньше и происходить при более низких температурах по сравнению с размножением черноморской хамсы. В таком случае можно полагать, что азовская и черноморская хамса являются «температурными расами», одна из которых (азовская) устойчива к более низкой репродуктивной температуре, другая (черноморская) — к более

высокой. Разную «репродуктивную» температурную избирательность представителей этих подвидов следует, по-видимому, рассматривать как один из экологических механизмов сохранения их биологической обособленности в условиях совместного существования и наличия гибридизации. Однако полученные результаты следует считать лишь предварительными и нуждающимися в дополнительных исследованиях.

**Таблица 7.** Соотношение численности «черноморской» и «азовской» хамсы и вылов в 1999–2011 гг. (в %)

**Table 7.** Abundance ratio of Black Sea and Azov anchovy races in 1999-2011 (in %)

Год	Относительная численность, %		Вылов, т*
	черноморская	азовская	
1999/2000	44	56	988.4
2000/2001	13	87	993.8
2001/2002	37	63	1017.3
2002/2003	18	82	4346.9
2003/2004	44	56	1201.8
2004/2005	44	56	1673.8
2005/2006	82	18	4369.0
2006/2007	57	43	833.2
2007/2008	88	12	5485.3
2008/2009	70	30	2396.0
2009/2010	88	12	8426.5
2010/2011	75	25	4020.8

Примечание: \* — данные Восточно-Черноморского управления рыболовства

Перестройка внутривидовой структуры сопровождалась заметным увеличением общего обилия черноморской хамсы, косвенным показателем которого явилось увеличение её вылова (табл. 7). Согласно официальным данным промысловой статистики Восточно-Черноморского управления рыболовства, в гг. Керчь и Севастополь в 2000–2012 гг. объёмы вылова хамсы у побережья Крыма изменялись от 833.2 (2006/2007) до 8426.5 т (2009/2010), то есть амплитуда их межгодовых колебаний превышала 10 раз. Определённой закономерности в чередовании годов с разной эффективностью промысла не наблюдается, однако в многолетнем плане явно прослеживается тенденция последовательного увеличения (положительный тренд) вылова на протяжении всего 12-летнего периода исследований. Так, в

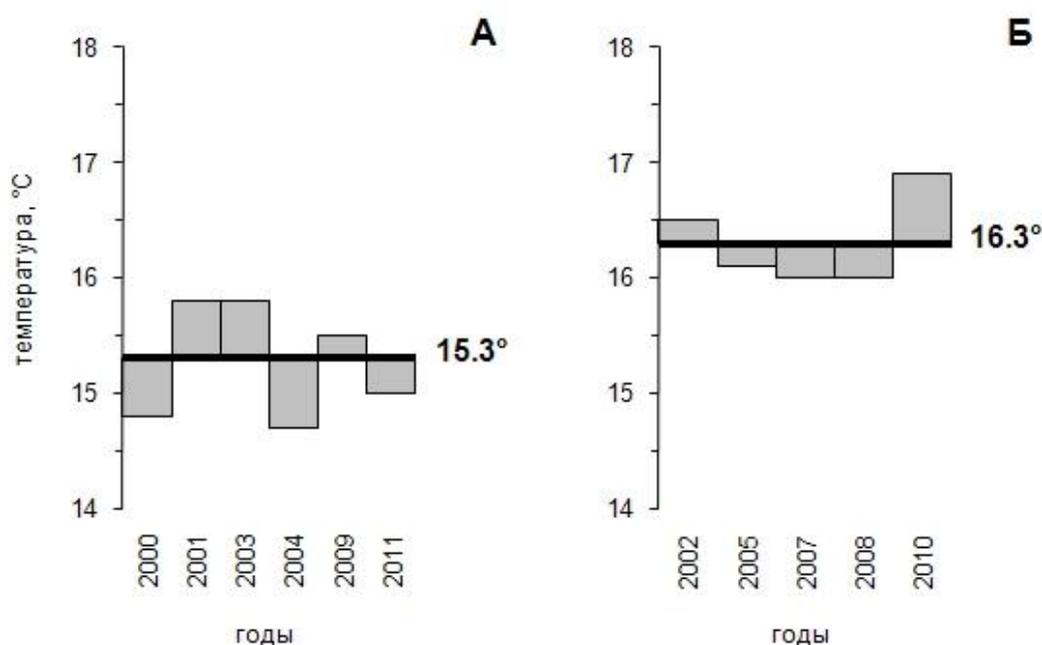
2000–2004 гг. средний годовой вылов составил 1809.8 тыс. т, в 2004–2008 гг. — 3097.8 тыс. т и в 2008–2012 гг. — 5811.9 тыс. т. Согласно усреднённым за четыре года значениям вылова, его величина в 2007–2011 гг. возросла в 3.2 раза по сравнению с таковой в 1999–2003 гг. Для выявления связи между фактом перестройки внутривидовой структуры хамсы и увеличением её обилия был рассчитан коэффициент корреляции между относительной численностью в уловах черноморской хамсы и выловом в 2000–2011 гг. Величина коэффициента корреляции, рассчитанная по усреднённым за три года данным, составила 0.76. В абсолютном выражении в результате перестройки внутривидовой структуры численность черноморской хамсы в 2008–2011 гг. увеличилась по сравнению с таковой в 2000–2004 гг. в 7.2 раза, тогда как численность азовской — только в 1.1 раза.

В свою очередь, процесс последовательного увеличения (положительный тренд) вылова хамсы сопровождался положительным трендом эффективности нереста (см. выше). При этом темпы многолетнего роста по обоим показателям оказались близкими: эффективность нереста увеличилась в 3.3, а объём вылова — в 3.2 раза. Как видно, сходство между этими показателями слишком велико, чтобы его можно было объяснить случайностью. Действительно, по усреднённым за три года данным, между эффективностью нереста в 2000–2011 гг. и выловом обнаружена тесная положительная корреляционная связь ( $r = 0.92$ ).

Наличие достаточно тесных положительных корреляционных связей между выловом и внутривидовой структурой с одной стороны, а также между выловом и эффективностью нереста с другой показывает, что увеличение вылова (и, соответственно, общей биомассы популяции) является результатом однонаправленного действия двух факторов — увеличения в составе родительского стада доли черноморской хамсы и одновременного увеличения эффективности её нереста.

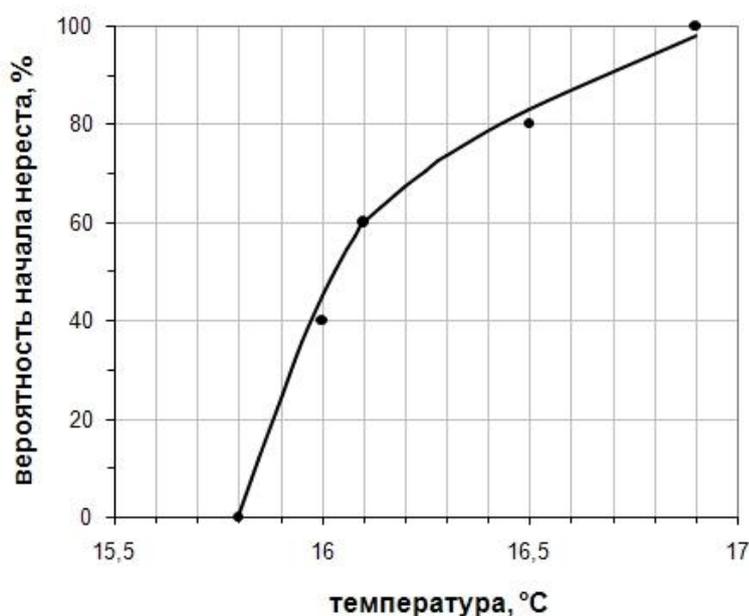
Как известно, глобальным климатическим фактором, оказывающим прямое и косвенное воздействие на все процессы жизнедеятельности организмов, является температура. Особо важную роль она играет в репродуктивном цикле гидробионтов, в том числе рыб, обеспечивая в конечном итоге эффективность их воспроизводства [5, 6]. Для оценки воздействия температуры на репродуктивные показатели хамсы рассмотрена зависимость между температурой воды и сроками начала нереста, а также его интенсивностью и эффективностью. Для этой цели использовали среднемесячные значения температуры поверхности воды. На рис. 4А (слева) указана средняя температура поверхности воды в мае (15.3 °С) и отклонения от неё (14.7–15.8 °С) в годы, когда нерест в мае отсутствовал, а на рис. 4Б (справа) — средняя температура поверхности воды в мае (16.3 °С) и отклонения от неё (16.0–16.9 °С) в годы, когда нерест начинался в мае. Как видно, температура воды и сроки начала нереста тесно связаны между собой: в температурном диапазоне 14.7–15.8 °С (слева) нерест во всех случаях отсутствовал, тогда как при температуре 16.0 °С (справа) его вероятность составляла 40 % (2 случая из 5), а при температуре 16.9 °С достигала 100 % (рис. 5). Похоже, что температура выступает в качестве своеобразного «спускового крючка» для процесса размножения, то есть является фактором, определяющим календарные сроки начала нереста.

Из полученных результатов следует, что нижней температурной границей начала нереста хамсы является температура воды 16.0 °С. Вместе с тем известны случаи нереста хамсы в Чёрном море при температуре 13 °С [3], и наши данные это подтверждают. Так, нами дважды была обнаружена икра хамсы при температурах 13.0 °С и 14.2 °С (вероятность 1.7 %). Однако эти находки, по нашему мнению, следует рассматривать, скорее всего, как случайные, аберранные по характеру эмбрионального развития, о чём может свидетельствовать отсутствие в обоих случаях живой икры. Дополнительным подтверждением этого может служить и сдвиг во времени сроков появления личинок. Так, в наших многолетних сборах впервые живые личинки были обнаружены лишь в первой декаде июня (вероятность 4.5 %) при температурах 21.3 °С и 22.1 °С, тогда как массовое появление личинок происходило в конце июня — июле. На нерезультативность раннего нереста хамсы в Чёрном море в отношении воспроизводства популяции в своё время указывала Т. В. Дехник [3].



**Рис. 4.** Средняя температура поверхности воды в мае и отклонения от неё в районе мыса Херсонес в годы с разными сроками начала нереста хамсы: А — начало нереста в июне; Б — начало нереста в мае

**Fig. 4.** Average water surface temperature in May and its deviation in Khersonesus Cape region in years with different dates of anchovy's spawning beginning: А – spawning beginning in June; Б – spawning beginning in May



**Рис. 5.** Зависимость между вероятностью нереста хамсы в мае и температурой воды

**Fig. 5.** Relation between of anchovy's beginning in May and water temperature

Следует заметить, что признание температуры 16 °С в качестве нижней температурной границы начала массового нереста хамсы кажется не совсем корректным, поскольку в наших расчётах исполь-

зовались среднемесячные значения температуры, календарно привязанные к середине месяца, в то время как массовый нерест начинался только в третьей декаде мая. Дело в том, что именно в мае в Чёрном море происходит наиболее интенсивный прогрев воды и, соответственно, наблюдаются наиболее высокие значения температурных градиентов [2]. Так, в районе мыса Херсонес в 2000–2013 гг. величина среднемесячного градиента в мае составила  $5.9^\circ$  ( $21.5$ – $15.6^\circ\text{C}$ ), а второго полумесячного —  $3.1^\circ$  ( $21.5$ – $18.4^\circ\text{C}$ ). С учётом данной поправки в качестве нижней температурной границы начала массового нереста хамсы более целесообразно рассматривать температуру  $17.5^\circ\text{C}$  как среднюю для второй половины мая. Кстати, полученный нами вывод полностью соответствует данным Т. В. Дехник, согласно которым массовое икротечение хамсы в Чёрном море начинается при температуре  $17$ – $18^\circ\text{C}$ .

Рассмотрена зависимость между более частой повторяемостью раннего (майского) нереста в 2007–2014 гг. (71.4 %) по сравнению с таковой в 2000–2005 гг. (33.3 %) и температурой. Для этой цели использовали среднегодовую температуру поверхности воды как показатель общего теплозапаса моря, а также среднюю температуру поверхности воды в апреле — июне, отражающую интенсивность её весеннего прогрева. Значение среднегодовой температуры в 2000–2005 гг. было  $15.2^\circ\text{C}$ , в 2007–2013 гг. —  $15.7^\circ\text{C}$  (разница  $+0.5^\circ\text{C}$ ), что указывает на увеличение общего теплозапаса моря в период наших исследований. Ещё более значительная разница температуры между этими двумя периодами зафиксирована в весенний сезон (апрель — июнь) интенсивного прогрева воды: в 2000–2005 гг. средняя температура в апреле — июне составляла  $15.2^\circ\text{C}$ , в 2007–2013 гг. —  $16.4^\circ\text{C}$  (разница  $+1.2^\circ\text{C}$ ). Полученные результаты не оставляют сомнения в том, что смещение начала репродуктивного периода хамсы в 2007–2013 гг. на более ранние сроки связано с более ранним весенним прогревом воды.

Изучена зависимость между интенсивностью нереста хамсы и температурой. Для этого использованы среднемесячные значения относительной численности икры и соответствующие среднемесячные значения температуры поверхности воды. Установлено, что с повышением температуры, вплоть до её максимальных значений, интенсивность нереста продолжала увеличиваться (табл. 8). При этом темпы её прироста опережали темпы повышения температуры. Так, в температурном диапазоне  $15.1$ – $21.0^\circ\text{C}$  величина прироста составила  $1.48\%$  на один градус повышения температуры, а в диапазоне  $21.1$ – $28.0^\circ\text{C}$  —  $2.78\%$ , то есть увеличилась почти в 2 раза. Для измерения степени тесноты связи между интенсивностью нереста и температурой рассчитан коэффициент корреляции. Его значение составило  $0.98$ , что указывает на наличие тесной связи между этими показателями. На основании выявленной корреляционной связи рассчитано уравнение регрессии (рис. 6):

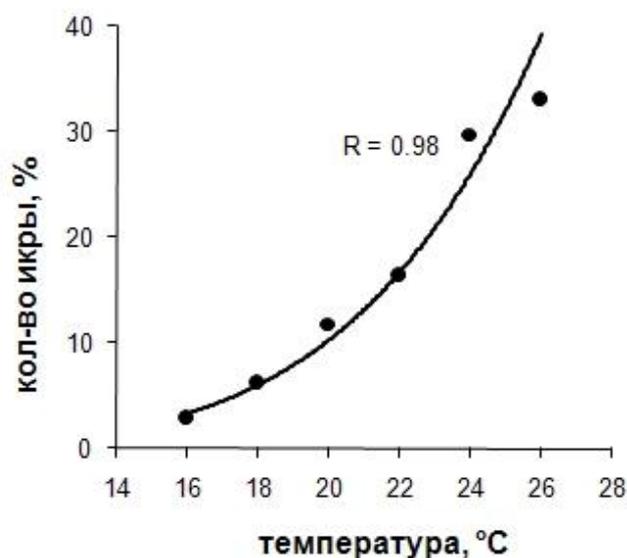
$$y = 2 \cdot 10^{-6} \cdot x^{5.12}, \quad (1)$$

где  $y$  — численность икры, %;  $x$  — температура воды,  $^\circ\text{C}$ .

**Таблица 8.** Температура воды и доля общей (популяционной) численности икры в 2000–2013 гг.

**Table 8.** Water temperature and anchovy's spawning intensity in 2000–2013

Температура, $^\circ\text{C}$	Относительная численность икры, %	Количество проб
13.1–15.0	0.0	3
15.1–17.0	2.9	8
17.1–19.0	6.2	3
19.1–21.0	11.8	7
21.1–23.0	16.3	15
23.1–25.0	29.8	15
25.1–28.0	33.0	9



**Рис. 6.** Зависимость между интенсивностью нереста хамсы и температурой поверхности воды  
**Fig. 6.** Relation between of anchovy's spawning intensity and water surface temperature

Криволинейный характер зависимости между относительной численностью икры и температурой свидетельствует о неоднозначной роли разных участков температурного диапазона в обеспечении воспроизводительной способности популяции, что указывает на температурную избирательность хамсы в нерестовый период. Как следует из табл. 8, в температурном интервале 15.1–19.0 °C вымётывается 9.1 % общего количества икры, в интервале 19.1–23.0 °C — 28.1 %, и почти 2/3 общего количества (62.8 %) икры вымётывается при температуре выше 23.1 °C, что даёт основание рассматривать диапазон температуры выше 23.1 °C как область «максимально благоприятной нерестовой температуры» хамсы.

Тесные положительные связи также обнаружены между эффективностью нереста, выловом и относительной численностью черноморской хамсы с одной стороны и температурой воды с другой. Коэффициенты корреляции между ними, рассчитанные за период 2000–2013 гг. по усреднённым за три года данным, составили 0.86, 0.89 и 0.72 соответственно. Из этого следует, что температурный фактор должен являться одним из основных (наряду с трофическим), определяющих результативность популяционного нереста хамсы.

В заключение, оценивая современное состояние популяции хамсы, следует описать его как благополучное. Об этом свидетельствуют многолетние (2000–2014 гг.) тренды вылова, интенсивности и эффективности нереста. Определяющая роль в формировании благоприятных для хамсы как теплолюбивого вида условий среды обитания принадлежит климатическим изменениям в прибрежной зоне северной части Чёрного моря, а именно наблюдаемому с конца 1990-х общему повышению температуры воздуха и воды в этом регионе [10]. Убедительным доказательством данной зависимости служат тесные положительные корреляционные связи между репродуктивными показателями хамсы и температурой воды. В соответствии с этим следует ожидать, что в условиях продолжающегося общего потепления климата численность популяции хамсы будет оставаться на высоком уровне.

### Выводы

1. Календарные сроки начала нереста хамсы в 2000–2014 гг. у юго-западного побережья Крыма (район Севастополя — Балаклавы) варьировали от второй декады мая (ранний нерест) до третьей декады июня (поздний нерест); сроки его окончания — от третьей декады августа до третьей декады сентября. Общая продолжительность репродуктивного периода в разные годы составляла 8–14 недель,

- средняя — 11 недель. В многолетнем плане произошло смещение начала нереста на более ранние календарные сроки.
2. Максимальные (пиковые) среднемесячные значения интенсивности нереста хамсы в 2012–2013 гг. варьировали от 33.6 до 78.7 % (среднее 51.2 %). Пик популяционного нереста наблюдался в июле — августе; его повторяемость в июле составляла 25 %, в августе — 66.7 %. В многолетнем плане установлен сдвиг пика нереста на более ранние сроки: в 2000–2005 гг. повторяемость пика нереста в августе составляла 100 %, в 2007–2013 — только 50 %.
  3. Эффективность нереста в 2000–2014 гг. изменялась от 1.6 до 29.9 экз.·м<sup>-2</sup> (средняя 10.3 экз.·м<sup>-2</sup>). Условно выделены низко-, средне- и высокоурожайные годы с численностью икры менее 10, 10–20 и более 20 экз.·м<sup>-2</sup> соответственно и средней эффективностью нереста 5.1, 14.5 и 25 экз.·м<sup>-2</sup>. Эффективность нереста в высокоурожайные годы была в 1.7 и 4.9 раза выше таковой в средне- и низкоурожайные годы. В многолетнем плане установлен положительный тренд эффективности нереста.
  4. В 2000–2011 гг. произошла перестройка внутривидовой структуры хамсы, которая сопровождалась перераспределением численного соотношения в составе нерестовой части популяции представителей азовского и черноморского подвидов в пользу последнего. В 2000–2004 гг. относительная численность черноморской хамсы составляла 33.3 %, в 2005–2011 гг. она увеличилась до 76.7 %. Одновременно произошло более чем трёхкратное увеличение вылова. Коэффициент корреляции между относительной численностью черноморской хамсы и выловом составил 0.92.
  5. Календарные сроки начала репродуктивного периода, а также интенсивность и эффективность нереста тесно связаны с температурой воды. Нижняя температурная граница массового нереста хамсы — 17.5 °С. Область «максимально благоприятной нерестовой температуры» занимает диапазон выше 23 °С. В её пределах реализуется около 2/3 репродуктивного потенциала популяции.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Александров А. И. Анчоусы Азовско-Черноморского бассейна, их происхождение и таксономические обозначения // *Труды Керченской научной рыбохозяйственной станции*. 1927. Т. 1, № 2–3. С. 1–99. [Aleksandrov A. I. Anchousy Azovsko-Chernomorskogo basseina, ikh proiskhozhdenie i taksonomicheskie oboznacheniya. *Trudy Kerchenskoi nauchnoi Rybokhozyaistvennoi stantsii*, 1927, vol. 1, no. 2–3, pp. 1–99. (in Russ.).]
2. Виноградов К. А., Розенгурт М. Ш., Толмазин Д. М. *Атлас гидрологических характеристик северо-западной части Черного моря*. Киев: Наукова думка, 1966. 94 с. [Vinogradov K. A., Rozengurt M. Sh., Tolmazin D. M. *Atlas gidrologicheskikh kharakteristik severo-zapadnoi chasti Chernogo morya*. Kiev: Naukova dumka, 1966, 94 p. (in Russ.).]
3. Дехник Т. В. *Ихтиопланктон Чёрного моря*. Киев: Наукова думка, 1973. 235 с. [Dekhnik T. V. *Ikhtioplankton Chernogo morya*. Kiev: Naukova dumka, 1973, 236 p. (in Russ.).]
4. Зуев Г. В. Внутривидовая дифференциация и распространение европейского анчоуса *Engraulis encrasicolus* (L.) (Pisces: Engraulidae) в Чёрном и Азовском морях // *Морской экологический журнал*. 2014. Т. 13, № 3. С. 19–32. [Zuev G. V. Intraspecific differentiation and distribution of the European anchovy *Engraulis encrasicolus* (L.) (Pisces: Engraulidae) in the Black Sea and the Sea of Azov. *Morskoiy ekologicheskij zhurnal*, 2014, vol. 13, no. 3, pp. 19–32. (in Russ.).]
5. Кошелев В. *Экология размножения рыб*. Москва: Наука, 1984. 307 с. [Koshelev V. *Ekologiya razmnzheniya ryb*. Moscow: Nauka, 1984, 307 p. (in Russ.).]
6. Никольский Г. В. *Теория динамики стада рыб*. Москва: Пищ. пром-сть, 1974. 447 с. [Nicol'sky G. V. *Teoriya dinamiki stada ryb*. Moscow: Pishch. prom-st', 1974, 447 p. (in Russ.).]
7. Пузанов И. И., Цееб Я. И. О расах анчоуса, водящихся в Чёрном и Азовском морях // *Труды Крымского научно-исследовательского института*. 1926. Т. 1. С. 86–95. [Puzanov I. I., Tseeb Ya. I.

- О rasakh anchousa, vodyashchikhsya v Chernom i Azovskom moryakh. *Trudy Krymskgo nauchno-issledovatel'skogo instituta*, 1926, vol. 1, pp. 86–95. (in Russ.).
8. Расс Т. С. Ихтиофауна Чёрного моря и некоторые этапы её истории // *Ихтиофауна черноморских бухт в условиях антропогенного воздействия* / отв. ред. Л. С. Овен. Киев: Наукова думка, 1993. С. 6–16. [Rass T. S. Ikhtiofauna Chernogo morya i nekotorye etapy ee istorii. In: *Ikhtiofauna chernomorskikh bukht v usloviyakh antropogennogo vozdeistviya* / отв. red. L. S. Oven. Kiev: Naukova Dumka, 1993, pp. 6–16. (in Russ.).]
  9. Расс Т. С. Ихтиофауна Чёрного моря и её использование // *Труды Института океанологии АН СССР*. 1949. Т. 4. С. 103–123. [Rass T. S. Ikhtiofauna Chernogo morya i ee ispol'zovanie. *Trudy Instituta okeanologii AN SSSR*, 1949, vol. 4, pp. 103–123. (in Russ.).]
  10. Репетин Л. Н. Пространственная и временная изменчивость температурного режима прибрежной зоны Чёрного моря // *Экологическая безопасность прибрежных и шельфовых зон и комплексное исследование ресурсов шельфа : сб. науч. тр. / НАН Украины, МГИ, ИГН, ОФ ИнБЮМ. Севастополь, 2012. Т. 1, № 2. С. 99–116. [Repetin L. N. Prostranstvennaya i vremennaya izmenchivost' temperaturnogo rezhima pribrezhnoi zony Chernogo morya. *Ekologicheskaya bezopasnost' pribrezhnykh i shel'fovyykh zon i kompleksnoe issledovanie resursov shel'fa : sb. nauch. tr. / NAN Ukrainy, MHI, IGN, OF InBYuM. Sevastopol*, 2012, vol. 1, no. 2, pp. 99–116. (in Russ.).]*
  11. Сказкина Е. П. Различие азовской и черноморской хамсы по отолитам // *Вопросы ихтиологии*. 1965. Т. 5, № 4 (37). С. 600–605. [Skazkina E. P. Razlichie azovskoi i chernomorskoj khamсы po otolitam. *Voprosy ikhtiologii*, 1965, vol. 5, no. 4 (37), pp. 600–605. (in Russ.).]
  12. Ivanova P. P., Dobrovlov I. Population-genetic structure on European anchovy (*Engraulis encrasicolus* Linnaeus, 1958) (*Osteichthyes: Engraulidae*) from Mediterranean Basin and Atlantic Ocean. *Acta Adriatica*, 2006, vol. 47, no. 1, pp. 13–22.
  13. Cardinale M., Damalas D. (Eds.) *Scientific, Technical and Economic Committee for Fisheries (STECF) : Black Sea assessments (STECF-15-16)*. Luxemburg: Publications office of the European Union, 2015, 278 p.
  14. Chashchin A., Shlyakhov V., Dubovik V., Negoda S. Stock Assessment of Anchovy (*Engraulis encrasicolus* L.) in Northern Black Sea and Sea Azov. In: *Progressive Engineering Practices in Marine Resource Management*. I. Zlateva, V. Raykov, N. Nekolov (Eds.). IGI Global, 2015, ch. 6, pp. 209–243.

**LONG-TERM DYNAMIC OF REPRODUCTIVE PERFORMANCE  
OF EUROPEAN ANCHOVY *ENGRAULIS ENCRASICOLUS* LINNAEUS, 1758  
AND ITS CONNECTION WITH TEMPERATURE.**

**G. V. Zuyev, T. N. Klimova**

Kovalevsky Institute of Marine Biological Research RAS, Sevastopol, Russian Federation

E-mail: [tnklim@mail.ru](mailto:tnklim@mail.ru)

European anchovy (*Engraulis encrasicolus* Linnaeus, 1758) is one of the most numerous species of fish in the Azov-Black Sea basin. It is the main commercial fishery object, its share being about 80 %. Assessment of the functional state of the anchovy population and its dynamics in conditions of the climatic warming was one of the topical tasks in contemporary research. The paper is devoted to the study of a long-term dynamic of anchovy population: reproductive parameters and its relation with water temperature for the purpose of potential prediction. The results of our own investigations made in 2000–2015 in the area bordering the south-western coast of Crimean peninsula (Sevastopol–Balaklava region) have been considered in the paper. The eggs were collected with Bogorov – Rass net (BR-80/113) from the layer of 0–10 m. Adult specimen were caught with pound seines. 702 ichthyoplankton samples and 941 mature anchovy females (gonad maturation stage V, VI–IV and VI–V) were analyzed. Calendar dates and duration of spawning season, intensity and efficiency of spawning, intraspecific composition of mature anchovy females were researched. Calendar dates of anchovy spawning beginning near the south-western coast of Crimea in 2000–2014 varied from the 2nd decade of May

(early spawning) to the 3rd decade of June (late spawning); finishing dates – from the 3rd decade of August to the 3rd decade of September. Total reproductive period duration was 8–14 weeks, average – 11 weeks. In long-term plan the time shift for earlier calendar dates was determined at the start of the spawning. Maximum peak of spawning intensity in 2012–2013 varied from 33.6 to 78.7 % (average 51.2 %). Peak of population spawning was in July – August, its repeatability in July – 25 and in August 66.7 %. The peak spawning shift to the earlier time was determined in perennial plan: in 2000–2005 years peak spawning periodicity amounts in August to 100 %; in 2007–2013 – only 50 %. Absolute number of eggs (spawning efficiency) change from 1.6 to 29.9 specimen·m<sup>-2</sup> in 2000–2014 years (average 10.3 specimen·m<sup>-2</sup>). Low, average and high yielding years with number of eggs less than 10, 10–20 and more than 20.0 specimen·m<sup>-2</sup> were determined. The average spawning efficiency was: 5.1, 14.5 and 25.0 specimen·m<sup>-2</sup> respectively. Spawning efficiency in high-yielding years exceeded 1.7 and 4.9 times the efficiency of low and average-yielding years. In long-term plan the positive efficiency spawning trend was determined. In 2000–2001 the intraspecific structure reconstruction of anchovy took place, followed by redistribution of numerical relation in composition of spawning part of the Azov and the Black Sea subspecies in favor of the last one. In 2000–2004 relative abundance of Black Sea anchovy amounted 33.3 %, in 2005–2011 years – 76.7 %. Simultaneously a considerable catch growth was registered. Correlation coefficient of the Black Sea anchovy's relative abundance and catch was 0.92. Calendar time of spawning beginning, its intensity and efficiency are closely connected with the water temperature. Lower temperature limit for mass spawning was 17.5 °C. The region of “maximum favorable spawning temperature” lays in the range of 23 °C and warmer. Nearly 2/3 of population reproductive potential is realized within this temperature range.

**Keywords:** anchovy, spawning intensity, spawning efficiency, intraspecific structure reconstruction, water temperature, population, catch

НАУЧНЫЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 594.3:[593.4+593.5+594.7+596/599](262.5)

**КОНСОРТЫ БРЮХОНОГОГО МОЛЛЮСКА**

***RAPANA VENOSA* (VALENCIENNES, 1846) В СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ЧЁРНОГО МОРЯ.  
ЧАСТЬ I: PORIFERA, CNIDARIA, BRYOZOA, CHORDATA**

© 2017 г. **И. П. Бондарев**, канд. биол. наук, с. н. с., **Н. К. Ревков**, канд. биол. наук, вед. н. с.

Институт морских биологических исследований им. А. О. Ковалевского РАН, Севастополь, Россия

E-mail: [igor.p.bondarev@gmail.com](mailto:igor.p.bondarev@gmail.com)

Поступила в редакцию 28.03.2017 г. Принята к публикации 23.06.2017 г.

Брюхоногий моллюск-вселенец *Rapana venosa* (Valenciennes, 1846) в 1940-х занял свободную экологическую нишу терминального хищника в бентосных сообществах шельфа Чёрного моря и стал важным элементом его экосистемы. Способность *R. venosa* оказывать разрушительное воздействие на биоценозы фильтраторов определяет необходимость постоянного мониторинга состояния популяций этого вида. Однако его экологическая роль не сводится только к хищничеству. Довольно крупная раковина *R. venosa* служит твёрдым субстратом для водорослей, прикрепленных и малоподвижных (седентарных) бентосных животных организмов, среди которых иногда находят убежище и подвижные свободноживущие формы. Цель работы — описание специфического комплекса эпибионтных организмов на раковине рапаны, который рассматривается как консорция, где *R. venosa* является ядром. Для изучения консортного сообщества *R. venosa* были осуществлены сборы рапаны в 7 районах северной части Чёрного моря: 1 — пляж Мамайя, Румыния; 2 — северо-западная часть Чёрного моря (СЗЧМ), Крымский сектор; 3 — Севастополь; 4 — Алушка; 5 — Ялта — Алушта; 6 — Карадаг; 7 — Керченский пролив. Сбор материала в прибрежной зоне (до 15 м) проводился легководолазным способом, на больших глубинах (до 40 м) использовался дночерпатель «Океан-50». Всего было собрано и проанализировано 856 экземпляров *R. venosa*. Основной объём материала в количестве 750 экз. *R. venosa* собран в прибрежной зоне г. Севастополя (Юго-Западный Крым) в диапазоне глубин 1.5–10.0 м. Сбор особей рапаны проводили тотально, каждый экземпляр помещали в отдельный пластиковый пакет с указанием района сбора, глубины и биотопа. Параллельно со сбором моллюсков проводили визуальные наблюдения и фотофиксацию гидробионтов *in situ*. По результатам исследований расширен таксономический список эпибионтных организмов рапаны, впервые приводится таксономический состав подвижных форм, постоянно или временно присутствующих в консорции *R. venosa*. Представленная первая часть работы посвящена эпибионтам рапаны, относящимся к четырём (Porifera, Cnidaria, Bryozoa, Chordata) из семи обнаруженных типов животных, с указанием глубин обнаружения и типа грунта, а также комментариями по встречаемости, количеству обнаруженных видов и их взаимодействию с ядром консорции. Тип Porifera представлен 1 видом, Cnidaria — 2, Bryozoa — 5, Chordata — 5 видами. Сверлящая губка *Pione vastifica* обнаружена во всех исследованных районах кроме р-на 2 (СЗЧМ) со встречаемостью от 20 до 90 % и площадью повреждения раковин до 100 % (в среднем 30–35 %). Представители Cnidaria обнаружены единично в р-не 3 (*Actinia equina*) и в р-не 5 (*Diadumene lineata*). Мшанки — наиболее распространённая группа животных — консортов рапаны, присутствующая во всех районах исследований. Их встречаемость варьировала от 10 до 100 %, площадь покрытия раковины — от 0 до 85 %. Более 90 % в общей площади покрытия раковин рапаны мшанками и их встречаемости приходится на *Cryptosula pallasiana*. Вторым по показателям развития видом мшанок является *Conopeum seurati*, который обнаружен в р-нах 3, 6 и 7, где имел встречаемость до 30 % и площадь покрытия до 25 %. Остальные 3 вида мшанок (*Schizomavella*

*auriculata*, *Bowerbankia imbricata*, *Hippothoa* sp.) встречались редко. Представители Chordata — 2 вида асцидий (*Botryllus schlosseri*, *Ciona intestinalis*) и 3 вида рыб (*Diplecogaster bimaculata*, *Parablennius tentacularis*, *Scorpaena porcus*) — зафиксированы единично в р-нах 2, 3, 5. Для рассмотренных четырёх типов животных организмов список консортов *R. venosa* в биотопе рыхлых грунтов (10 видов) в два раза больше, чем у скальной экоформы (5 видов). Рассмотренные организмы имеют различную степень и характер связей с ядром консорции — от комменсализма до паразитизма. Дана обобщённая информация о водорослевых обрастаниях и суммарном покрытии раковин *R. venosa* комплексом эпибионтов. Результаты работы показывают, что *R. venosa* в Чёрном море стала значимым элементом экосистемы, увеличивающим биологическое разнообразие донной фауны за счёт формирования собственных консортивных комплексов эпибионтных организмов.

**Ключевые слова:** консорция, экология, эпибионты, *Rapana venosa*, Porifera, Cnidaria, Bryozoa, Chordata, Чёрное море

Хищный брюхоногий моллюск *Rapana venosa* Valenciennes, 1846 (= *R. thomasi* Crosse, 1861) — уроженец северо-западной части Тихого океана, который благодаря своей экологической пластичности с помощью человека распространился в различные районы Мирового океана за тысячи миль от нативного ареала [1, 18]. В Чёрном море *R. venosa* появилась раньше (в 1940-х) [16], чем в других новых ареалах, сформировав метапопуляцию, охватывающую всё побережье бассейна [1, 18].

Большой диапазон глубин обитания рапаны в Чёрном море — от уреза воды до глубин 45–50 м [18] — обусловлен её толерантностью к широкому спектру условий среды [1]. Её можно обнаружить на твёрдом скальном грунте, ракушечнике, песке и даже на илах [18]. Главным условием присутствия рапаны является наличие в границах биотопа пищевых объектов. Нерест рапаны происходит в летний период, преимущественно на небольших глубинах, где присутствует скальный грунт, необходимый для крепления кладок, а вода прогревается выше 15 °С [18]. Во время нереста рапана формирует нерестовые скопления, встречаясь парами и небольшими группами, что облегчает её сбор для исследовательских и промысловых целей.

В бентосных сообществах шельфа Чёрного моря *R. venosa* заняла свободную экологическую нишу терминального хищника, став обычным и массовым элементом экосистемы [14]. Благодаря размеру и прочной, толщиной до 6.5 мм, раковине *R. venosa* практически не имеет естественных врагов [17]. Её раковина в Чёрном море может достигать 175 мм по высоте, обычно не превышая 100–110 мм [1]. Во многих современных черноморских популяциях преобладают карликовые особи, размер которых в зрелом возрасте не превышает 50–60 мм [1, 2, 4]. Способность рапаны оказывать разрушительное воздействие на биоценозы фильтраторов [16, 20] определяет необходимость постоянного мониторинга состояния популяций этого вида.

Массовое развитие *R. venosa* в условиях Чёрного моря определило и другую, уже коммерческую, сторону значимости вида: ежегодная добыча рапаны странами бассейна после 1996 г. даже превышала добычу мидии, составляя более 6 тыс. тонн [15].

Проведённые исследования показали, что экологическая роль *R. venosa* не сводится только к хищничеству [7, 12, 19]. Довольно крупная раковина рапаны служит твёрдым субстратом для прикреплённых и малоподвижных (седентарных) организмов, среди которых иногда находят убежище и подвижные формы, включая молодёжь некоторых видов рыб [5]. На раковине рапаны может формироваться специфический комплекс организмов различных таксономических групп, топически и трофически связанных между собой. Такую естественно сложившуюся систему разнородных организмов, которые в течение всей жизни или хотя бы на некоторых фазах жизненного цикла находятся в тесных контактных отношениях и через эндо-, эпи- и экзобионтную формы жизни взаимно (или односторонне) зависят друг от друга, можно определить как консорцию, ядром которой является *R. venosa*.

В биотопе рыхлых грунтов с рапаной связано формирование мобильных оазисов прикреплённых форм зоо- и фитобентоса, пространственно ограниченных поверхностью раковины моллюсков. Широкое распространение и высокая численность *R. venosa*, достигающая в некоторых районах северной

части Чёрного моря 120 экз.·м<sup>-2</sup> [20], диктует необходимость учета вклада её консортов в общую структуру биоразнообразия экосистем бентали. В связи с этим основной задачей данной работы стало составление аннотированного списка таксонов — консортов *R. venosa*.

В представленной первой части исследования дана обобщённая информация об эпибионтах *R. venosa* и рассмотрены представители четырёх типов животных — Cnidaria, Bryozoa, Porifera, Chordata. Во второй части будет дан аннотированный список таксонов типа Mollusca, третью, заключительную часть исследования предполагается посвятить эпибионтам рапаны, относящимся к типам Annelida и Arthropoda.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Сбор образцов и натурные исследования эпибионтов раковин *R. venosa* проведены в семи районах северной части Чёрного моря (рис. 1, табл. 1) в 2007–2016 гг. Основной объём материала (750 экз. *R. venosa*) собран в июне — сентябре 2015 и 2016 гг. (350 и 400 экз. соответственно) в прибрежной зоне г. Севастополя (Юго-Западный Крым, р-н 3) в диапазоне глубин 1.5–10.0 м. В р-не 3 обследованы 4 бухты (Голубая, Казачья, Круглая, Стрелецкая), в которых локальные популяции *R. venosa* имеют различия по размерно-весовой, половой и возрастной структуре [4], а также по количеству и составу эпибионтов.



**Рис. 1.** Карта районов сбора проб: 1 — пляж Мамайя, 2 — СЗЧМ, Крымский сектор, 3 — Севастополь, 4 — Алупка, 5 — Ялта — Алушта, 6 — Карадаг, 7 — Керченский пролив

**Fig. 1.** Sampling map: 1 – Mamaia Beach, 2 – NWBS, Crimea offshore, 3 – Sevastopol, 4 – Alupka, 5 – Yalta – Alushta, 6 – Karadag, 7 – Kerch Strait

На глубинах до 15 м безвыборочный сбор рапаны выполняли с использованием легководолазного снаряжения. Каждый экземпляр помещали в отдельный пластиковый пакет с указанием глубины и биотопа. Параллельно со сбором моллюсков проводили визуальные наблюдения и фотофиксацию гидробионтов *in situ*, что позволило полнее охарактеризовать связи подвижных форм эпибионтов с ядром консорции — *R. venosa*. Материал с глубин более 15 м получен с помощью дночерпателя «Океан-50» в ходе 68-го рейса НИС «Профессор Водяницкий» (октябрь — ноябрь 2010 г.).

Общий объём анализируемой выборки рапаны составил 856 экз. Возраст исследованных особей, определённый по нерестовым меткам [16], варьировал от 1 до 12 лет.

Определение сырой массы (W) особей рапаны и эпибионтов выполняли на электронных весах WLM-200 с точностью до 0.1 г и 0.001 г соответственно. Линейные размеры объектов исследования измеряли штангенциркулем с точностью до 0.1 мм. У рапаны измеряли высоту раковины (H) от апекса до окончания сифонального канала и ширину (максимальный диаметр — D) последнего оборота.

Площадь поверхности раковины рапаны ( $S_r$ ) аппроксимировали поверхностью сферы ( $S = 4\pi R^2$ ) с радиусом  $R$ , соответствующим половине максимального диаметра ( $D$ ) последнего оборота, с вычетом  $1/4$ , соответствующей площади поверхности открытой устьевой части виртуальной сферы. Таким образом, площадь поверхности раковины рапаны рассчитывалась по формуле  $S_r = 3\pi R^2$ . Показатель  $S_r$  в наших выборках варьировал от  $17 \text{ см}^2$  (у особи с  $H = 31.3 \text{ mm}$ ,  $R = 13.5 \text{ mm}$ ) до  $174 \text{ см}^2$  (у особи с  $H = 110.8 \text{ mm}$ ,  $R = 43.0 \text{ mm}$ ). Для вычисления площади обрастания раковины рапаны расчётную величину площади поверхности её раковины сравнивали с площадью, занятой или свободной от обрастания, измеренной приблизительно, с помощью метода геометрического подобия. Покрытие эпибионтами (интенсивность обрастания) оценивали в процентах от общей площади внешней поверхности раковины рапаны.

**Таблица 1.** Районы исследований в северной части Чёрного моря и показатели суммарной площади покрытия зооконсортиями поверхности раковин *R. venosa* в % (мин. – макс. / среднее)

**Table 1.** Studied areas the northern part of the Black Sea and indices of the *R. venosa* shell surface total coverage with zoo-consorts in % (min – max / mean)

Районы	Кол-во проб	Глубина, м	Месяц, год	Грунт	Покрытие, % поверхности
1. Пляж Мамайя	12	0.0–1.5	XI, 2008	песок	2–35 / 5
2. СЗЧМ	11	19.5–25.0	X–XI, 2010	ил с ракушей	0–5 / 2
3. Севастополь	630	2.0–10	VI–IX, 2015, 2016	песок	0–100 / 35
	120	1.5–4.0	VI–IX, 2015, 2016	скала	0–60 / 25
4. Алушка	25	0.5–5.5	IX, 2016	скала	0–30 / 10
5. Ялта — Алушта	2	34.0, 40.0	X–XI, 2010	ил	20, 25
6. Карадаг	2	3.0	VI, 2007	скала	–
	14	21.8–23.0	X–XI, 2010	песчаный ил	5–85 / 30
7. Керчь	40	8.0–15.0	VII, 2012	илистый песок	5–90 / 20

Встречаемость (экстенсивность обрастания) по отдельным районам и биотопам оценивали в % к количеству собранных в районе (биотопе) проб рапаны. Обобщённая характеристика встречаемости таксонов в сводной таблице дана по следующей шкале: «–» — таксон в выборке моллюсков не обнаружен, «+» — встречается редко (до 1 % выборки), «++» — не часто (2–10 %), «+++» — часто (11–30 %), «++++» — очень часто (> 30 %).

Полученные результаты сопоставлены с материалами по Средиземному [19] и Чёрному [7] морям, основанными на анализе 546 и более чем 2000 экз. рапаны соответственно.

Названия таксонов приведены в соответствии с современной редакцией WoRMS (2017 г.). Для некоторых видов указаны синонимы или базонимы, наиболее часто используемые в литературе в качестве основного наименования таксона.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Сообщество эпибионтов, формирующееся на раковинах *R. venosa*, состоит из многоуровневых систем обрастания — как раковин самих моллюсков, так и форм бентоса, поселяющихся на этих раковинах. Оно представлено как растительной (водоросли), так и животной (подвижные и прикреплённые формы) составляющей.

В исследованных нами районах на раковинах живых моллюсков *R. venosa* обнаружено 48 видов макроводорослей, относящихся к трём отделам: Chlorophyta (зелёные) — 15 видов, Ochrophyta

(Phaeophyceae, бурые) — 11, Rhodophyta (красные) — 22 вида. Площадь покрытия водорослями поверхности раковин рапаны варьирует в диапазоне 0–98 %.

Между количеством обнаруженных видов и количеством проб в отдельных районах существует, безусловно, причинно-следственная связь. Наибольшее видовое разнообразие перифитона, а также максимальные (до 100 %) площади покрытия им раковин обнаружены в районе Севастополя (рис. 1, р-н 3), где отобрано 750 из 852 экз. *R. venosa* (88 %). Этот район был выбран для дальнейшего детального анализа, поскольку уже на стадии предварительных мониторинговых исследований популяций *R. venosa* именно здесь было отмечено высокое разнообразие эпибионтов. Правильность такого выбора подтверждает тот факт, что количество обнаруженных нами видов эпибионтных водорослей *R. venosa* превысило таковое в предыдущих исследованиях [7] почти в 3.5 раза (48 против 14). Столь значительное расширение списка видов достигнуто при том, что количество районов исследований (16) и количество обследованных экземпляров *R. venosa* (более 2000) у предшественников [7] превосходит наши базовые показатели более чем в 2 раза.

Водорослевые обрастания, с одной стороны, конкурируют с эпифауной за полезную площадь раковины рапаны, с другой — создают условия для развития не только эпифитона, но и многих подвижных форм бентоса. Максимальное разнообразие подвижного зообентоса в консорции рапаны отмечено у особей, покрытых зелёными или бурыми водорослями на 30–60 %. При дальнейшем увеличении покрытия водорослями количество подвижной эпифауны на раковинах рапаны снижается. На некоторых раковинах *R. venosa*, почти полностью покрытых *Cladophora* spp., макрозооэпибионты не обнаружены.

Несомненно, что степень развития обрастаний раковин рапаны зависит от гидродинамических условий в зонах их обитания. Для мелководного р-на 1 характерно активное движение песчаной взвеси, которая физически (как абразивный материал) ингибирует развитие обрастания рапаны. Для глубин свыше 19.5 м в СЗЧМ (р-н 2) и Карадага (р-н 6) нами зафиксированы также самые низкие показатели развития водорослевого обрастания раковин (0–2 %), что в значительной степени объясняется низкой освещённостью на этих глубинах. При этом показатели развития эпифауны раковин рапаны в этих районах существенно различаются (табл. 1). В СЗЧМ покрытие рапаны находится на минимальном уровне (0–5 %), а в районе Карадага уровень обрастаний (5–85 %) соответствует таковому для прибрежной зоны этого же района, где ранее отмечены одни из наиболее высоких показателей развития её фито- и зооконсортов [7]. В районе СЗЧМ, очевидно, совокупность факторов среды неблагоприятна для формирования всего комплекса эпибионтов.

Для зооконсортов рапаны характерна неоднородность распределения на раковинах различных особей, что выражается как в степени покрытия поверхности (0–100 %), так и в видовом разнообразии. По результатам наших исследований, фауна консорции *R. venosa* представлена видами, относящимися к 7 биологическим типам: Annelida, Arthropoda, Bryozoa, Cnidaria, Mollusca, Porifera, Chordata. Указанное таксономическое разнообразие превышает известные данные [7] всего о 7 видах животных — эпибионтов рапаны, относящихся к 4 типам.

По биотопическому признаку рапану принято делить на две основные экоформы — скальную (обитающую на различных типах твёрдых субстратов, в том числе искусственных) и песчаную [7, 19]; раковина последней в Адриатическом море имеет менее развитый комплекс обрастателей [19]. Песчаная форма рапаны фактически является одной из разновидностей экоформы, обитающей на рыхлых грунтах. По нашим данным, в Чёрном море обрастание раковин рапаны, собранной на рыхлых грунтах, может быть ниже, сопоставимо или даже выше, чем у её скальных экоморф (табл. 1). Аналогичные результаты приведены и в работе [7]. При этом максимальные показатели развития макрофитов и макрозообентоса зафиксированы именно у песчаной экоформы рапаны (р-н 3, табл. 1).

Противопоставление двух экоформ рапаны по обрастанию их раковин достаточно условно, поскольку во время нереста песчаная форма *R. venosa* зачастую откладывает яйцевые капсулы на скальный грунт, откуда на неё могут перемещаться подвижные формы бентоса. Контакт между особями рапаны

во время спаривания также создаёт условия для перемещения эпибионтов и возможного пополнения консорции новыми элементами.

Тем не менее часть видов отдаёт предпочтение (вплоть до абсолютного) определённой экоформе рапаны, а другая обнаруживается исключительно на одной из них (табл. 2). Это определило целесообразность рассмотрения состава эпибионтов рапаны с учётом данного экологического аспекта. Ниже рассмотрены представители эпибионтов рапаны, относящихся к 4 типам животных (Bryozoa, Cnidaria, Porifera, Chordata).

**Таблица 2.** Список таксонов Cnidaria, Bryozoa, Porifera, Chordata в консорции *R. venosa* и их встречаемость на раковинах экоформ рыхлых (1) и скальных (2) грунтов

**Table 2.** List of taxa of Cnidaria, Bryozoa, Porifera, Chordata in consortium *R. venosa* and their occurrence on the shells the loose (1) and rocky ground (2) ecomorphs

Таксон	Встречаемость		Глубина, м
	1	2	
Porifera, Demospongia			
<i>Pione vastifica</i>	+++	++++	0.0–40.0
Cnidaria, Anthozoa			
<i>Actinia equina</i>	–	+	2.5–3.0
<i>Diadumene lineata</i>	+	–	34.0
Bryozoa, Gymnolaemata			
<i>Cryptosula pallasiana</i>	++++	+++	0.0–40.0
<i>Schizomavella auriculata</i>	+	–	1.5–23.0
<i>Conopeum seurati</i>	++	–	1.5–23.0
<i>Amathia imbricata</i>	–	+	3.0
<i>Hippothoa</i> sp.	–	+	3.0
Chordata, Ascidiacea			
<i>Botryllus schlosseri</i>	+	–	8.0–10.0
<i>Ciona intestinalis</i>	+	–	19.5–40.0
Pisces, Actinopterygii			
<i>Diplecogaster bimaculata</i>	+	–	3.0
<i>Parablennius tentacularis</i>	+	–	4.0–6.0
<i>Scorpaena porcus</i>	+	–	4.0–6.0

Тип Porifera (Губки), класс Demospongia, семейство Clionaidae, *Pione vastifica* (Hancock, 1849) (= *Cliona vastifica* (Hancock, 1849)). Широко распространённый паразит раковинных моллюсков, являющийся причиной гибели промысловых видов (устриц, мидий) [8], часто встречается на раковинах *R. venosa*.

Губка пиона может просверливать раковину рапаны насквозь, поражая всю поверхность, за исключением новообразованного края [17]. Сильно повреждённые губкой участки раковины, особенно макушечная часть, подвержены большему риску дальнейшего разрушения, чем здоровая раковина. Есть мнение, что взаимоотношения между *P. vastifica* и заселяемыми ею моллюсками представляют собой аменсализм [11], при котором один из взаимодействующих организмов (ингибитор) наносит ущерб другому (аменсалу), не получая при этом от аменсала никакой выгоды. С нашей точки зрения, взаимоотношение сверлящая губка — моллюск представляет собой один из типов паразитизма, когда пиона-паразит использует моллюска-хозяина как среду обитания (среду первого порядка), нанося ему вред. Отметим при этом, что раковина рапаны, являясь эктосоматическим органом, выполняет различные

функции, важнейшая из которых — механическая термостатическая защита [17]. Перфорированная пионой шероховатая поверхность раковины моллюска, очевидно, оптимальна для развития водорослей, особенно *Cladophora* spp., которые могут полностью покрывать раковину рапаны.

По данным предшествующих исследований, в Чёрном море поражение раковин рапаны сверлящей губкой *P. vastifica* обнаружено в 15 из 16 исследованных районов. Исключением является район Керченского пролива. Процент поражённых варьировал в пределах 0–32 % (в среднем 13 %) от общего числа исследованных особей рапаны. И только в одном районе (мыс Киик-Атлама, Восточный Крым) поражение сверлящей губкой обнаружено у 54 % особей *R. venosa* [7]. С увеличением возраста в популяциях рапаны возрастают степень поражения и количество поражённых моллюсков; среди моллюсков старше 6 лет количество особей со следами воздействия губки превышает 95 %.

В Адриатическом море следы перфораций в раковинах *R. venosa*, являющиеся результатом воздействия родственного черноморскому виду — сверлящей губки *Cliona lobata* Hancock, 1849, обнаружены у 44 % песчаной и 62 % скальной рапаны. Степень повреждения раковин губкой возрастает с увеличением возраста и размера рапаны [18].

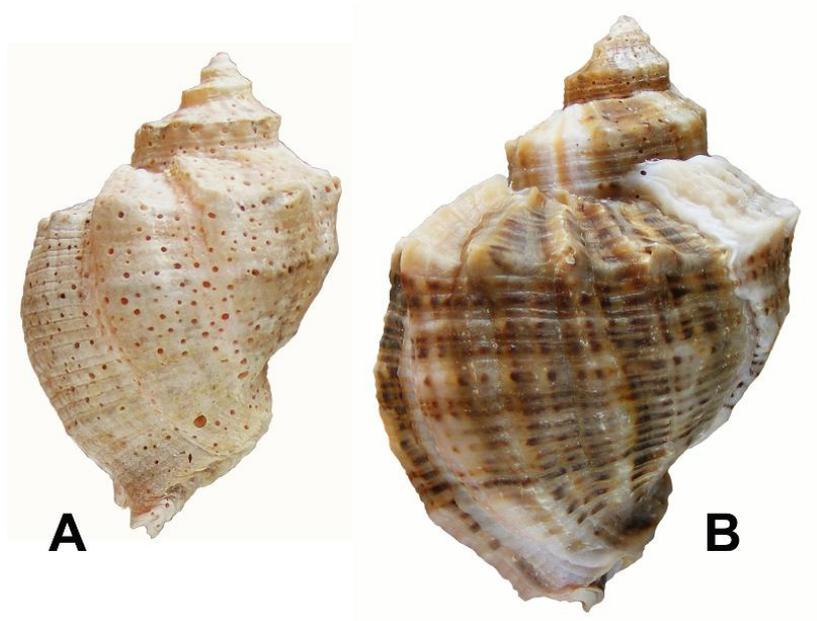
Среди обследованных нами локальных популяций *R. venosa* следов воздействия сверлящей губки *P. vastifica* на раковине не обнаружено только в р-не 2 (СЗЧМ, 19.5–25.0 м). В р-не 1 поражение пионой не превышало 7 % поверхности раковин при повреждении до 30 % общего числа особей. Процент раковин, поражённых *P. vastifica*, в остальных районах составлял 25–60 % (в среднем 35 %) для песчаной формы рапаны и 20–90 % (в среднем 45 %) — для скальной. При этом в разных бухтах р-на 3 у локальных популяций песчаной формы *R. venosa* процент поражения раковин пионой различен. У рапаны из Голубой бухты он не превышает 25 % общей численности, а в б. Круглой имеет максимальные для песчаной формы рапаны значения — 60 %. Поражение площади поверхности раковин составило до 30 % (в среднем около 15 %) и до 100 % (в среднем 25 %) в Голубой и Круглой бухтах соответственно.

Для скальной формы рапаны минимальное количество раковин, поражённых пионой, отмечено в р-не Алупки (р-н 4) — 20 %, там же зафиксирована и минимальная площадь поражения раковин (до 10 %). Максимум раковин (90 %) со следами воздействия *P. vastifica* обнаружен в локальной популяции скальной рапаны бухты Стрелецкая (р-н 3), с поражением до 30 % (в среднем 20 %) их поверхности.

Известно, что поражение пионой раковин культивируемого в Чёрном море двустворчатого моллюска *Crassostrea gigas* (Thunberg, 1793) приводит к замедлению его роста и потере в общей массе и массе мягких тканей на 31 и 14 % соответственно в сравнении с аналогичными показателями незаражённых устриц [11]. В условиях фермы для моллюска-фильтратора получить достоверную информацию значительно проще, чем в естественной популяции хищника. Тем не менее можно утверждать, что аналогичное негативное воздействие пионы имеет место и в случае с *R. venosa*.

Примером такого воздействия может служить одновозрастная (8 лет) пара рапаны из бухты Круглой. Самец имеет поверхность раковины, полностью покрытую следами сверления пионой, а у самки перфорирована только макушечная часть (рис. 2). Одновозрастные самки в этой популяции, как правило, уступают по размерно-массовым показателям самцам, и эти различия увеличиваются с возрастом [4]. Восьмилетние самцы и самки *R. venosa* бухты Круглой имеют размерно-массовые средние 73 мм — 81 г и 65 мм — 68 г соответственно. В отношении же рассматриваемой нами пары перфорированных моллюсков ситуация противоположная: самка в возрасте 8 лет ( $H = 71.5$  мм,  $W = 73$  г), имеющая незначительные повреждения раковины, оказывается явно крупнее и тяжелее одновозрастного самца ( $H = 52.0$  мм,  $W = 29$  г) с сильно повреждённой *P. vastifica* раковиной (рис. 2). Таким образом, самка, имеющая незначительные повреждения сверлящей губкой, для своего возраста имеет показатели  $H$  и  $W$  выше среднего для пола в популяции. И наоборот: самец с высокой степенью поражения раковины отстаёт в своём развитии, что вполне может быть результатом негативного влияния сверлящей губки *P. vastifica*.

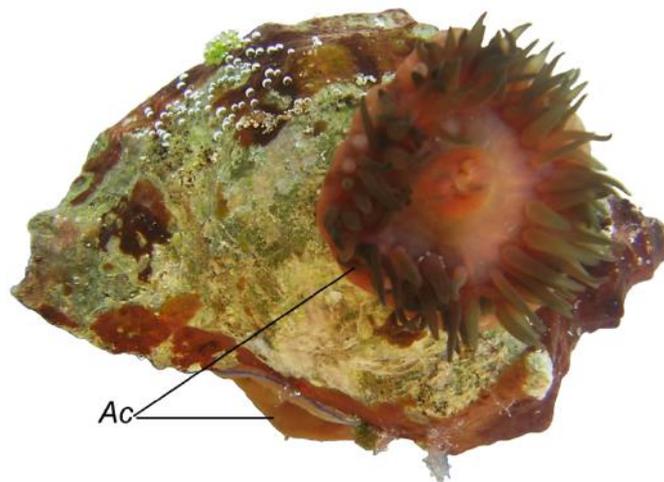
Тип Cnidaria (Стрекающие). На раковинах рапаны представлен двумя видами класса Anthozoa, относящимися к двум семействам.



**Рис. 2.** Раковины *R. venosa*: А — самец 8 лет, Н = 52.0 мм с поверхностью раковины, перфорированной *P. vastifica*, В — самка 8 лет, Н = 71.5 мм с перфорированной макушкой

**Fig. 2.** Shells of *R. venosa*: А – male 8 years, Н = 52.0 mm with a perforated whorls' surface *P. vastifica*, В – female 8 years, Н = 71.5 mm with perforated spire

Семейство Actiniidae. *Actinia equina* (Linnaeus, 1758) — широко распространённый в Чёрном море вид [13]. Обнаружен нами дважды в 2015 г. и один раз — в 2016 г. на скальной рапане в б. Голубой (р-н 3) на глубине 2.5–3.0 м. В сборах 2015 г. в обоих случаях на рапане присутствовали по одной, а в 2016 г. — две актинии на одном экземпляре *R. venosa* (рис. 3). Средний вес одной актинии — 1.98 г.



**Рис. 3.** Рапана с двумя экземплярами *Actinia equina* (Ac)

**Fig. 3.** Rapa whelk with two specimens of *Actinia equina* (Ac)

Семейство Diadumenidae. Одна особь вида-вселенца *Diadumene lineata* (Verrill, 1869) (рис. 4) обнаружена на дорсальной стороне раковины *R. venosa*, поднятой дночерпателем «Океан-50» с илистого дна с глубины 34 м в р-не 5 (табл. 1). Вес особи составил 0.363 г.

*D. lineata* впервые обнаружена в Чёрном море в конце 1980-х, но была ошибочно идентифицирована как *Actinothoe clavata*. Инвазийный вид *D. lineata* родом, как считается, из западной части Тихого



**Рис. 4.** Рапана с анемоном *Diadumene lineata* и яйцевыми капсулами *R. venosa*

**Fig. 4.** Rapa whelk with anemone *Diadumene lineata* and *R. venosa* egg capsules

океана (Япония, Китай и Гонконг). Впервые указан для Чёрного моря (в его северной части) в 2012 г., где формирует поселения на макрофитах и камнях в диапазоне глубин 0.3–15.0 м [10].

Cnidaria без указания видовой принадлежности (*Anemonia* sp.) в Адриатическом море встречаются на рапане у 24 % скальной экоформы и у 5 % песчаной [19]. В Чёрном море *A. equina* ранее отмечалась только на мёртвых раковинах рапаны, занятых раками отшельниками (*Paguroidea*) [7].

Книдарии являются комменсалами рапаны, которые особенно нуждаются в партнёрских отношениях на рыхлых грунтах, где существует дефицит твёрдого субстрата, необходимого для прикрепления анемонов.

Тип Bryozoa (Мшанки) относится к одной из наиболее распространённых групп организмов в консорции черноморской рапаны. В работе по Чёрному морю [7] Bryozoa как консорты рапаны без дальнейшего таксономического деления приведены для 10 из 12 исследованных районов, где их встречаемость варьировала в пределах 17–83 %. В Адриатическом море встречаемость мшанок несколько ниже: на скальной экоморфе рапаны — 35 %, на песчаной — 5 [19].

Присутствие мшанок в обрастании более характерно для прибрежной, относительно мелководной зоны [6]. По нашим данным, мшанки массово встречаются как на песчаной (до 100 %), так и на скальной (до 60 %) рапане. У обеих экоформ площадь покрытия раковины *R. venosa* мшанкой может достигать 85 % (чаще в пределах 20–25 %). Встречаемость и площадь покрытия мшанками значительно различаются от района к району.

Наибольший диапазон показателей развития мшанок отмечен на раковинах рапаны в биотопе рыхлых грунтов: встречаемость 0–100 %, площадь покрытия 0–85 %. Наименьший процент покрытия раковин мшанкой отмечен у *R. venosa* в р-не 5 на глубинах 34.0–40.0 м и в р-не 2 на глубинах 19.5–25.0 м (0–5 %, средний 2 %), при встречаемости 25 %. При этом на сходных глубинах (21.8–23.0 м) в р-не 6 процент покрытия мшанкой достигал максимальных значений — 85 % (5–85 %, в среднем 15 %) при встречаемости 100 %. Сравнительно небольшой показатель покрытия мшанкой (0–30 %, средний 5 %) при встречаемости 30 % отмечен для песчаной рапаны в р-не 1 на глубинах 0.0–1.5 м. У скальной рапаны показатели развития мшанки-эпибионта варьируют в меньшем диапазоне (встречаемость 25–60 %, покрытие 15–30 %), что является результатом более однородных условий по глубине распространения скальных грунтов и сопутствующему набору природных факторов.

Из всех обрастателей с известковым скелетом Bryozoa оказывают наименьшее воздействие на поверхность раковины рапаны: при удалении скелета мшанки поверхность раковины рапаны сохраняет

даже мелкие элементы скульптуры. Только в редких случаях на раковине *R. venosa* остаётся след сетчатой структуры скелета самой мшанки. Колония мшанки является многолетним образованием, и её развитию на рапане мешает длительное полное или частичное зарывание *R. venosa* в зимний период. В связи с этим мшанки, являясь фильтраторами [6], как и другие эпibiонты консорции, в зимний период сохраняются только на дорсальной стороне раковины *R. venosa*, выступающей над поверхностью грунта, и разрастаются в период активного перемещения рапаны по поверхности дна (весной — осенью).

В консорции рапаны нами были диагностированы 5 видов мшанок, относящихся к 5 семействам класса Gymnolaemata.

Семейство Cryptosulidae. *Cryptosula pallasiana* (Moll, 1803) (= *Lepralia pallasiana* (Moll, 1803)), по нашим данным, является наиболее распространённым (до 90 % от общей площади покрытия всеми мшанками и их встречаемости) видом, который массово присутствует как на песчаной (рис. 5), так и на скальной рапане с частотой до 100 % и до 60 % соответственно.



**Рис. 5.** Рапана, покрытая на 70 % мшанкой *Cryptosula pallasiana*, глубина 4.0 м, Голубая бухта, р-н 3

**Fig. 5.** Rapa whelk, covered with bryozoans *Cryptosula pallasiana* on 70 %, depth 4.0 m, Golubaya Bay, region 3

Семейство Bitectiporidae. *Schizomavella auriculata* (Hassall, 1842) обнаружена только на рапане, обитающей на рыхлых грунтах в р-нах 3 и 6, где имеет встречаемость 3 и 25 % соответственно. Площадь покрытия — до 5 %.

Семейство Electridae. *Conopeum seurati* (Cantu, 1928) — второй по встречаемости вид (до 30 %), обнаружен на рапане биотопа рыхлых грунтов в р-нах 3, 6, 7 на глубинах 1.5–23.0 м. Наиболее характерен для Керченского р-на (7), где имеет максимальную встречаемость и площадь покрытия раковин рапаны (до 25 %).

Семейство Vesiculariidae. *Amathia imbricata* (Adams, 1798) (= *Bowerbankia imbricata* (Adams, 1798)) единично определена нами на скальной рапане с глубины 3 м по сборам в р-не 6 (Золотые Ворота, Карадаг), проведённым В. А. Гринцовым 27.06.2007.

Семейство Hippothoidae. *Hippothoa* sp. была обнаружена единично и определена В. А. Гринцовым (личное сообщение) на рапане со скалы Золотые Ворота (Карадаг, р-н 6), глубина 3 м.

Тип Chordata, класс Ascidiacea, семейство Styelidae, *Botryllus schlosseri* (Pallas, 1766). Колонии размером до 1.6 см в поперечнике обнаружены единично на раковинах рапаны и на макрофитах — обрастателях раковины рапаны, обитающей на илистом песке на глубине 8–10 м в р-не 3.

Семейство Cionidae. *Ciona intestinalis* (Linnaeus, 1767) в Чёрном море встречается на глубине 20–70 м [9]. В условиях отсутствия твёрдого субстрата в зоне распространения рыхлых грунтов раковины рапаны являются важнейшим компонентом для существования сессильных организмов (в частности, асцидий). Как элемент консорции один экземпляр ционы высотой 3.4 см обнаружен в качестве эпифитона на кустике *Cocotylus truncatus* (Pallas) M. J. Wynne et J. N. Heine, 1992 (= *Phyllophora brodiei* (Turner) Endlicher, 1843), прикрепленном на дорсальной стороне *R. venosa*, поднятой с глубины 19.5 м в СЗЧМ (р-н 2). Пять экземпляров с высотой мантии до 4.5 см и общим весом 3.5 г обнаружены прикрепленными к раковине рапаны на глубине 40 м в р-не 5. Ранее в составе обрастания раковин рапаны не указывалась.

Раковина *R. venosa* и её обрастания создают дополнительные возможности для выживания молодежи некоторых представителей ихтиофауны Чёрного моря [5].

Подтип Vertebrata, Надкласс Pisces, Класс Actinopterygii. В консорции рапаны отмечено три вида рыб, относящихся к трём семействам.

Семейство Blenniidae, *Parablennius tentacularis* (Brünnich, 1768) (Длиннощупальцевая морская собачка). На глубинах 2–4 м использует *R. venosa* как элемент рельефа дна для укрытия и наблюдения за добычей и потенциальными хищниками [5].

Семейство Scorpenidae, *Scorpaena porcus* Linnaeus, 1758 (Черноморская скорпена). Молодь скорпены размером до 2 см дважды была обнаружена среди водорослей, которые покрывают раковину рапаны, обитающей на песке. Мальки скорпены прячутся среди эпифитов от хищников и находят среди консортов рапаны объекты питания.

Семейство Gobiesocidae, *Diplecogaster bimaculata* (Bonnaterre, 1788) (Присоска двухпятнистая). Её малёк длиной около 1 см, прикрепленный к новообразованной внешней части раковины рапаны, не покрытой обрастателями, обнаружен на глубине 3 м.

Уровень и характер взаимодействия ихтиофауны и рапаны различен, что позволяет расширить сведения об этологии и экологии вышеуказанных видов рыб.

**Заключение.** *R. venosa* является ядром консорций, таксономический состав и биотическая структура которых количественно и качественно неоднородны и разнообразны. По результатам наших исследований, в консорции *R. venosa* тип Porifera представлен 1 видом, Cnidaria — 2, Bryozoa — 5, Chordata — 5 видами.

Эпибионты рапаны имеют разные показатели развития и различный характер взаимодействия с рапаной и между собой. Наименьшую степень воздействия на моллюска оказывают подвижные (рыбы) и некоторые седентарные (анемоны) комменсальные формы организмов. Наибольшее негативное воздействие оказывает сверлящий паразит *P. vastifica*. Эпибионты могут находиться в конкурентных отношениях при борьбе за полезную площадь поверхности раковины рапаны или создавать благоприятные условия для развития других видов (топические, трофические). Степень обрастания, равно как и степень повреждения поверхности раковин эпибионтами, естественным образом растёт с увеличением возраста моллюска. Это правило более явно проявляется внутри отдельно взятой популяции, поскольку различные популяции имеют специфические экологические условия для развития эпибионтов.

В условиях отсутствия твёрдого субстрата в зоне распространения рыхлых грунтов раковины рапаны являются важнейшим компонентом для существования прикрепленных и малоподвижных (седентарных) бентосных организмов. Песчаная экоформа рапаны в целом отличается, по нашим данным, от скальной по степени обрастания и таксономическому набору обрастателей. Для рассмотренных четырёх типов животных организмов список видов — эпибионтов рапаны биотопа рыхлых грунтов в два раза больше, чем таковой для скальной *R. venosa* (10 видов против 5 соответственно). При этом индивидуальные, популяционные и региональные отличия эпибионтов для одной и той же экоформы *R. venosa* могут быть более значительными, чем между разными экоформами.

Таксономическое разнообразие обрастателей раковины рапаны, разнообразие связей внутри создаваемой ей консорции организмов бентоса и достаточно широкое биотопическое и географическое распространение существенно изменяют наши представления о рапане как исключительно инвазивном виде черноморской экосистемы. Её функция ядра консорта, тем более в условиях дефицита твёрдого субстрата, способствует общему увеличению биологического разнообразия бентоса.

Работа выполнена в рамках госзадания ФГБУН ИМБИ по теме «Мониторинг биологического разнообразия гидробионтов Черноморско-Азовского бассейна и разработка эффективных мер по его сохранению» (№ 1001-2014-0014).

**Благодарность.** Авторы признательны канд. биол. наук Гринцову В. А. (ФГБУН ИМБИ, Севастополь) за информацию и предоставленный материал для изучения мшанок из района Карадага.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Бондарев И. П. Морфогенез раковины и внутривидовая дифференциация рапаны *Rapana venosa* (Valenciennes, 1846) // *Ruthenica*. 2010. Т. 20, № 2. С. 69–90. [Bondarev I. P. Shell morphogenesis and intraspecific differentiation of *Rapana venosa* (Valenciennes, 1846). *Ruthenica*, 2010, vol. 20, no. 2, pp. 69–90. (in Russ.)].
2. Бондарев И. П. Современное состояние популяций рапаны *Rapana venosa* (Valenciennes, 1846) в крымской части ареала // *Промысловые биоресурсы Чёрного и Азовского морей* / ред.: В. Н. Еремеев, А. В. Гаевская, Г. Е. Шульман, Ю. А. Загородняя. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2011. Гл. 5. С. 177–189. [Bondarev I. P. Sovremennoe sostoyanie populyatsii rapany *Rapana venosa* (Valenciennes, 1846) v krymskoi chasti areala. In: *Promyslovye bioresursy Chernogo i Azovskogo morei* V. N. Eremeev, A. V. Gaevskaaya, G. E. Shulman, Yu. A. Zagorodnyaya (Eds.). Sevastopol: EKOSI-Gidrofizika, 2011, ch. 5, pp. 177–189. (in Russ.)].
3. Бондарев И. П. Особенности питания и перспективы развития рапаны *Rapana venosa* (Valenciennes, 1846) в Чёрном море // *Вопросы сохранения биоразнообразия водных объектов: материалы Междунар. конф. (Ростов-на-Дону, 27 ноября 2015 г.)*. Ростов-н/Д.: АЗНИИРХ, 2015. С. 44–48. [Bondarev I. P. Feeding habits and development prospects of rapa – whelk *Rapana venosa* (Valenciennes, 1846) in the Black Sea. In: *Voprosy sokhraneniya bioraznoobraziya vodnykh ob'ektov: materialy Mezhdunar. konf.*, (Rostov-on-Don, 27 Nov. 2015). Rostov-n/D.: AzNIIRKH, 2015, pp. 44–48. (in Russ.)].
4. Бондарев И. П. Структура популяций *Rapana venosa* (Gastropoda, Muricidae) Севастопольских бухт (Чёрное море) // *Морской биологический журнал*. 2016. Т. 1, № 3. С. 14–21. [Bondarev I. P. Structure of *Rapana venosa* (Gastropoda, Muricidae) population of Sevastopol bays (the Black Sea). *Morskoj biologicheskij zhurnal*, 2016, vol. 1, no. 3, pp. 14–21. (in Russ.)].
5. Бондарев И. П. Экологические связи рапаны (*Rapana venosa* Valenciennes, 1846) с представителями ихтиофауны в Чёрном море // *Морской биологический журнал*. 2016. Т. 1, № 4. С. 76–77. [Bondarev I. P. Enviromental relations *Rapana* (*Rapana venosa* Valenciennes, 1846) with the ichthyofauna in the Black Sea. *Morskoj biologicheskij zhurnal*, 2016, vol. 1, no. 4, pp. 76–77. (in Russ.)].
6. Брайко В. Д. Класс мшанки – Bryozoa // *Определитель фауны Чёрного и Азовского морей*. Киев: Наукова думка, 1968. Т. 1. С. 406–418. [Brajko V. D. Klass mshanki — Bryozoa. In: *Opredelitel' fauny Chernogo i Azovskogo morei*. Kiev: Naukova dumka, 1968, vol. 1, pp. 406–418. (in Russ.)].
7. Емельянов И. Г., Комиссарова М. С., Марченко В. С. Консортивные связи инвазивного вида гастропод *Rapana venosa* (Valenciennes, 1846) на шельфе Черного моря. (Консортивні зв'язки інвазійного виду гастропод *Rapana venosa* (Valenciennes, 1846) на шельфі Чорного моря) // *Екологія та ноосферологія*. 2010. Т. 21, № 3-4. С. 92–97. [Emel'yanov I. G., Komisarova M. S., Marchenko V. S. Consorting correlation of the invasive species *Rapana venosa* (Valenciennes, 1846) in the shelf area of the Black Sea. *Ecologiya i Noosferologiya*, 2010, vol. 21, no. 3-4, pp. 92–97. (in Ukrainian)].

8. Каминская Л. И. Тип Губки – Porifera // *Определитель фауны Чёрного и Азовского морей*. Киев: Наукова думка, 1968. Т. 1. С. 35–55. [Kaminskaya L. I. Tip Gubki – Porifera. In: *Opredelitel' fauny Chernogo i Azovskogo morei*. Kiev: Naukova dumka, 1968, vol. 1, pp. 35–55. (in Russ.)].
9. Киселёва М. И. Класс асцидии – Ascidiacea // *Определитель фауны Чёрного и Азовского морей*. Киев: Наукова думка, 1972. Т. 3. С. 294–300. [Kiseleova M. I. Klass ascidia– Ascidiacea. In: *Opredelitel' fauny Chernogo i Azovskogo morei*. Kiev: Naukova dumka, 1972, vol. 3, pp. 294–300. (in Russ.)].
10. Ковтун О. А., Санамян Н. П., Мартынов А. В. Вселенец – актиния *Diadumene lineata* (Anthozoa: Actiniaria: Diadumenidae) в северной части Чёрного моря // *Морской экологический журнал*. 2012. Т. 11, № 4. С. 27–38. [Kovtun O. A., Sanamyam N. P., Martynov A. V. Invasive anemone *Diadumene lineata* (Anthozoa: Actiniaria: Diadumenidae) in northern part of the Black Sea. *Morskoj ekologicheskij zhurnal*, 2013, vol. 11, no. 4, pp. 27–38. (in Russ.)].
11. Лебедовская М. В. Морфометрические и микробиологические показатели гигантской устрицы *Crassostrea gigas* при поражении сверлящей губкой *Pione vastifica* // *Морской экологический журнал*. 2013. Т. 12, № 1. С. 48–51. [Lebedovskaya M. V. Morphometric and microbiological indices of giant oyster *Crassostrea gigas* at involving boring sponge *Pione vastifica*. *Morskoj ekologicheskij zhurnal*, 2013, vol. 12, no. 1, pp. 48–51. (in Russ.)].
12. Марченко В. С. Состав сообществ обрастателей на раковинах *Rapana thomasi* на шельфе Крымского полуострова // *Летопись природы*. 2008. Т. 23. С. 367–369. [Marchenko V. S. Sostav soobshchestv obrastateley na rakovinakh *Rapana thomasi* na shelfe Krymskogo poluostrova. *Letopis prirody*, 2008, vol. 23, pp. 367–369. (in Russ.)].
13. Наумов Д. В. Тип кишечнополостные – Coelenterata // *Определитель фауны Чёрного и Азовского морей*. Киев: Наукова думка, 1968. Т. 1. С. 56–82. [Naumov D. V. Typ kishchnopolostnyie – Coelenterata. In: *Opredelitel' fauny Chernogo i Azovskogo morei*. Kiev: Naukova dumka, 1968, vol. 1, pp. 56–82. (in Russ.)].
14. Ревков Н. К. Макрозообентос. Таксономический состав донной фауны Крымского побережья Чёрного моря // *Современное состояние биоразнообразия прибрежных вод Крыма (Черноморский сектор)*. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2003. С. 209–218, 326–338. [Revkov N. K. Macrozoobenthos. Taxonomical composition of the bottom fauna at the Black Sea Crimean coast. In: *Sovremennoe sostoyanie bioraznoobraziya prirodnikh vod Kryma (Chernomorskii sektor)*. Sevastopol: EKOSI-Gidrofizika, 2003, pp. 209-218, 326-338. (in Russ.)].
15. Ревков Н. К. Макрозообентос Украинского шельфа Чёрного моря. Современное состояние зооресурсов бентали Азово-Черноморского бассейна // *Промысловые биоресурсы Чёрного и Азовского морей*. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2011. С. 140–162. [Revkov N. K. Makrozoobentos Ukrainского shelfa Chernogo morya. Sovremennoe sostoyanie zooresursov bentali Azovo-Chernomorskogo basseina. In: *Promyslovye resursy Chernogo i Azovskogo morei*. Sevastopol: EKOSI-Gidrofizika, 2011, pp. 140–162. (in Russ.)]. doi: [10.13140/RG.2.1.4583.7280](https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4583.7280).
16. Чухчин В. Д. *Экология брюхоногих моллюсков Чёрного моря*. Киев: Наукова думка, 1984. 176 с. [Chukhchin V. D. *Ekologiya bryukhonogikh mollyuskov Chernogo morya*. Kiev: Naukova dumka, 1984, 176 p. (in Russ.)].
17. Bondarev I. P. Ecomorphological Analyses of Marine Mollusks' Shell Thickness of *Rapana venosa* (VALENCIENNES, 1846) (Gastropoda: Muricidae). *International Journal of Marine Science*, 2013, vol. 3, no. 45, pp. 368–388 doi: [10.5376/ijms.2013.03.0045](https://doi.org/10.5376/ijms.2013.03.0045).
18. Bondarev I. P. Dynamics of *Rapana venosa* (VALENCIENNES, 1846) (Gastropoda: Muricidae) population in the Black Sea. *International Journal of Marine Science*, 2014, vol. 4, no. 3, pp. 42–56. doi: [10.5376/ijms.2014.04.0003](https://doi.org/10.5376/ijms.2014.04.0003).
19. Savini D., Castellazzi M., Favruzzo M., Occhipinti-Ambrogi A. The alien mollusk *Rapana venosa* (VALENCIENNES, 1846; GASTROPODA, MURICIDAE) in the northern Adriatic Sea: population structure and shell morphology. *Chemical Ecology*, 2004, no. 20, pp. 411–424.

20. Snigirov S., Medinets V., Chichkin V., Sylantyev S. Rapa whelk controls demersal community structure off Zmiinyi Island, Black Sea. *Aquatic Invasions*, 2013, vol. 8, iss. 3, pp. 289–297. doi:10.3391/ai.2013.8.3.05.

**CONSORTS OF GASTROPOD *RAPANA VENOSA* (VALENCIENNES, 1846)  
IN THE NORTHERN BLACK SEA.  
PART I: PORIFERA, CNIDARIA, BRYOZOA, CHORDATA**

**I. P. Bondarev, N. K. Revkov**

Kovalevsky Institute of Marine Biological Research RAS, Sevastopol, Russian Federation

E-mail: igor.p.bondarev@gmail.com

Gastropod mollusk-invader *Rapana venosa* (Valenciennes, 1846) in the 1940s took a free ecological niche terminal predator in benthic communities of the Black Sea shelf and has become an important element of the ecosystem. The ability of rapa whelk to have a devastating impact on the biocenosis filter feeders determines the necessity of constant monitoring of this species populations' state. The study of rapa whelk showed that the ecological role of this species is not limited to predation. Fairly large shell *R. venosa* is a solid substrate for alga, attached and restrictedly movable (sedentary) benthic animal organisms, among which mobile free-living forms sometimes find shelter. The aim of the work is to describe specific complex of epibiotic organisms formed on rapa-whelk shells, which is regarded as a consortium, where of *R. venosa* is the core. To study the consort community of *R. venosa* a sampling was made in 7 regions of the northern part of the Black Sea: 1 – Mamaia beach, Romania, 2 – the north-western part of the Black Sea (NWBS), Crimean sector, 3 – Sevastopol, 4 – Alupka, 5 – Yalta – Alushta, 6 – Karadag, 7 – the Kerch Strait. The sampling in the coastal zone (less than 15 m depth) was carried out by SCUBA and snorkel diving, deeper (up to 40 m) was used "Ocean-50" grab corer was used. Totally of 856 specimens of *R. venosa* were collected and analyzed. The main bulk of the material in the amount of 750 specimens of *R. venosa* was sampled in the coastal zone in Sevastopol vicinity (south-western Crimea) at the depth range of 1.5–10.0 m. The collection of the rapa whelk specimens was carried out totally and each specimen was placed in a separate plastic bag indicating the collection area, depth and biotope. Along with the mollusks sampling, visual observations and photographic fixation of hydrobionts *in situ* were carried out. Based on the research results the taxonomic list of rapa whelk epibiotic organisms was extended and for the first time the taxonomic composition of the mobile forms permanently or temporarily present in the *R. venosa* consortium was given. The first part of the investigation provides a list of rapa whelk epibionts taxa relating to four (Porifera, Cnidaria, Bryozoa, Chordata) of the seven detected Phyla with indication of sampling depths and bottom type and comments on the frequency of occurrence, the quantity and of their interaction with the consortium core. Phylum Porifera is represented by 1, Bryozoa – 3 Cnidaria – 2 and Chordata – 4 species. The drilling sponge *Pione vastifica* was found in all the investigated areas, except region 2 (NWBS), with a frequency of 20 to 90 % and the shell surface area damage was up to 100 % (average 30–35 %). Not numerous representatives of Cnidaria were found singly in the region 3 (*Actinia equina*) and in the region 5 (*Diadumene lineata*). Bryozoans are the most common group of animal-consorts of rapa whelk present in all the areas of our research. The frequency of their occurrence ranged from 10 to 100 %, the covering area of the shell surface was from 0 to 85 %. More than 90 % of the total surface area of rapana shell cover with bryozoans and their occurrence is in *Cryptosula pallasiana*. The second bryozoans' species on development indices is *Conopeum seurati*, which was found in areas 3, 6 and 7, where the occurrence was up to 30 % and the coverage was up to 25 %. The other 3 species of bryozoans (*Schizomavella auriculata*, *Bowerbankia imbricata*, *Hippothoa* sp.) were found rarely. Representatives of Chordata – 2 species of ascidians (*Botryllus schlosseri*, *Ciona intestinalis*) and 3 species of fish (*Diplecogaster bimaculata*, *Parablennius tentacularis*, *Scorpaena porcus*) were recorded singly in regions 2, 3, 5. For the four Phyla of animal organisms considered the consorts list of *R. venosa* of the sandy bottom biotopes (10 species) is twice more numerous than that of the rocky eco-form (5 species). The organisms studied are of a different degree and nature of relations with the core consortium from commensalism to parasitism. Generalized information on periphyton and total coverage of rapa whelk shells with epibiotic complex is given. The results of the work show that in the Black Sea *R. venosa* has become an important element of the ecosystem, increasing biological diversity of the bottom fauna due to the formation of its own consortium complexes of epibiontic organisms.

**Keywords:** consortium, ecology, epibionts, *Rapana venosa*, Porifera, Cnidaria, Bryozoa, Chordata, Black Sea

УДК 582.232:574.55:577.114

## ПРОДУКТИВНОСТЬ МИКРОВОДОРОСЛИ *DUNALIELLA SALINA* TEOD. ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБАХ ВНЕСЕНИЯ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА В КУЛЬТУРУ

© 2017 г. **И. Н. Гудвилевич**, канд. биол. наук, с. н. с., **А. Б. Боровков**, канд. биол. наук, с. н. с.

Институт морских биологических исследований им. А. О. Ковалевского РАН, Севастополь, Россия

E-mail: [gudirina2008@yandex.ru](mailto:gudirina2008@yandex.ru)

Поступила в редакцию 05.02.2017 г. Принята к публикации 23.06.2017 г.

Недостаток углерода может являться основным лимитирующим фактором при выращивании микроводорослей, поэтому подбор оптимального способа подачи углерода в культуральную среду для конкретной культуры и фотобиореактора является определяющим для их интенсивного культивирования. Культуру микроводоросли *Dunaliella salina* выращивали в лабораторных фотобиореакторах плоскопараллельного типа при круглосуточном искусственном освещении 15 кЛк. Подачу воздуха осуществляли аквариумным компрессором со скоростью 0.8 л·л<sup>-1</sup>·мин<sup>-1</sup> культуры в минуту. В первом варианте барботаж осуществляли через стеклянную трубку, во втором — через специальный распылитель воздуха. Экспериментально показана возможность интенсивного выращивания культуры *D. salina* на распыляемом атмосферном воздухе с максимальной продуктивностью 0.34 г сухой биомассы с 1 л в сутки. Проведена сравнительная оценка затрат для выращивания культуры зелёной микроводоросли *D. salina* на распыляемом атмосферном воздухе и с дополнительным введением CO<sub>2</sub> в газоздушную смесь.

**Ключевые слова:** *D. salina*, интенсивная культура, максимальная продуктивность, углекислый газ, воздух

Исследования по подбору и оптимизации режимов получения плотных высокопродуктивных культур особенно актуальны для биотехнологически ценных видов микроводорослей. Так, зелёная галофильная микроводоросль *Dunaliella salina* Teod., известная своей уникальной способностью накапливать в клетках более 10 % β-каротина, культивируется в промышленных масштабах в ряде стран с 50-х годов прошлого века. Кроме того, данная микроводоросль — классический модельный объект, культура которой способна расти с высокой скоростью и выдерживать широкий спектр воздействия экстремальных факторов. Общеизвестно, что выращивание дуналиеллы для получения биомассы, обогащённой β-каротином, осуществляется в две стадии: на первой происходит активный рост культуры и накопление биомассы, а на второй происходит накопление β-каротина в клетках микроводоросли, но отсутствует рост культуры [6, 11]. Однако первоначальный этап — наращивание биомассы за минимальный временной период — основа для производства любых ценных веществ. Осуществляется это обычно в накопительном режиме, который является основой самого простого из разработанных на сегодняшний день методов культивирования [11]. Для обеспечения на этом этапе активного роста культуры и деления клеток *D. salina*, как и любых других фототрофов, необходим достаточный уровень элементов минерального питания в среде — биогенных элементов. Высокая скорость роста микроводорослей при интенсивном выращивании в значительной степени зависит от содержания достаточного количества углерода в доступной форме в питательной среде, а его недостаток может являться основным лимитирующим фактором, сдерживающим рост водорослей [2, 8, 13, 15]. При автотрофном

выращивании снабжение водорослей углеродом обычно осуществляется с помощью газовой смеси (воздух + CO<sub>2</sub>). Различные режимы подачи углекислоты в жидкую фазу направлены на поддержание оптимальной концентрации углерода в доступной форме в питательной среде. С другой стороны, известно, что углекислый газ в определённых количествах содержится в атмосферном воздухе. Представляется актуальным с помощью ряда технических приёмов интенсифицировать процесс его растворения в культуральной среде в форме, оптимальной для потребления клетками микроводорослей. На сегодняшний день существует ряд исследований на данную тему с неоднозначными результатами в практическом плане [5, 15].

Таким образом, создание условий для интенсификации растворения углекислого газа воздуха в культуральной среде при выращивании микроводоросли *D. salina* и использование его как дешёвого источника углерода является одним из ведущих факторов по снижению себестоимости получаемой биомассы.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Экспериментальные исследования проводились с культурой зелёной микроводоросли *Dunaliella salina* Teod. (штамм IMBR-2) из коллекции культур ФГБУН ИМБИ. Температуру поддерживали на уровне 28 °С, рН среды — 8–9 ед. Культуру микроводоросли выращивали на питательной среде по Тренкеншу [9] в лабораторных фотобиореакторах плоскопараллельного типа толщиной 5 см при круглосуточном искусственном освещении, средняя освещённость на поверхности фотобиореакторов была одинаковой и составляла 15 кЛк. Освещённость поверхности фотобиореактора определяли люксметром Ю-116. Барботаж культур осуществляли аквариумным компрессором, скорость подачи воздуха была одинаковой для обоих фотобиореакторов и составляла 0.8 л·л<sup>-1</sup>·мин<sup>-1</sup>. В первом варианте барботаж осуществляли через стеклянную трубку с внутренним диаметром 4 мм с дополнительным введением 3 % CO<sub>2</sub> от объёма подаваемого воздуха, во втором — через аквариумный распылитель воздуха, представляющий собой пластиковую трубку длиной 5 см и диаметром 5 мм, у которой диаметр пор не превышает 0.1 мм. Перед отбором проб для определения рН, оптической плотности культуры микроводоросли объём суспензии в фотобиореакторе доводили дистиллированной водой до начального, компенсируя испарение. Оптическую плотность рассчитывали по формуле:

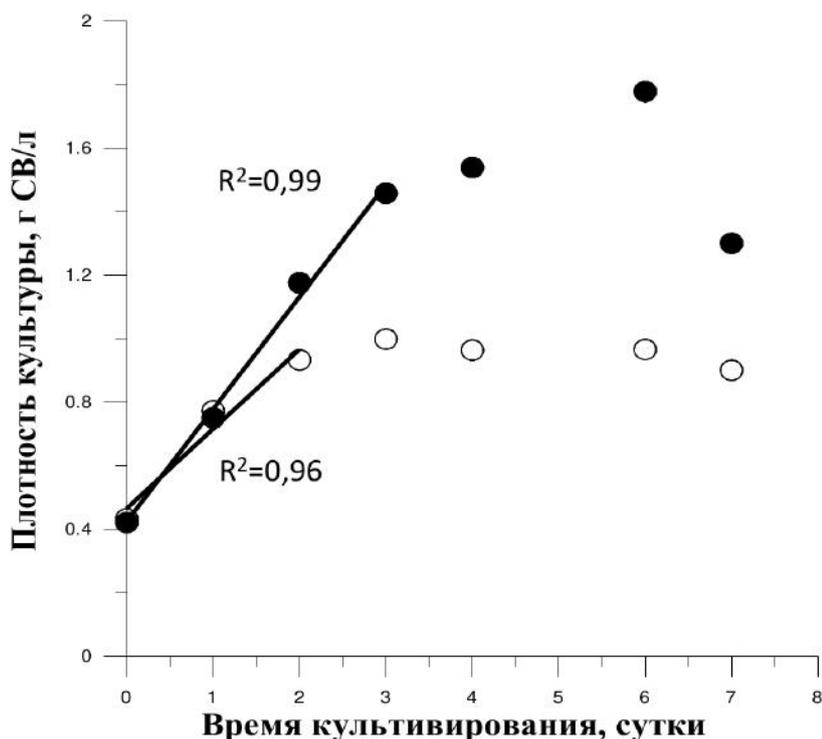
$$D = -lg(T), \quad (1)$$

где  $T$  — величина пропускания, определяемая на фотометре КФК-3 при длине волны 750 нм, погрешность измерения величины пропускания не превышала 1 %.

При определении сухого веса культуры микроводоросли величину оптической плотности умножали на эмпирический коэффициент  $k = 0.78 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1} \cdot \text{ед. опт. пл.}^{-1}$  [2]. Рассчитывали средние арифметические ( $\bar{X}$ ), стандартные отклонения ( $S$ ), основные ошибки средних, доверительные интервалы для средних ( $\pm \Delta_{\bar{X}}$ ). Все расчёты проводили для уровня значимости  $\alpha = 0.05$ . В таблицах и на графиках представлены средние значения; значения ошибок не превышали 5–7 %.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Выращивание микроводорослей предполагает значительные затраты как на техническое оснащение, так и на химические реактивы, в том числе закупку углекислого газа, что в конечном итоге приводит к удорожанию получаемой биомассы. Выходом из такой ситуации может быть использование углекислого газа, содержащегося в воздухе. Предварительно была проведена оценка предельной продуктивности культуры морских микроводорослей при использовании в качестве источника углерода



**Рис. 1.** Накопительные кривые роста *D. salina* при различных способах подачи воздуха в фотобиореактор; ○ — барботаж через аквариумный распылитель воздуха, ● — барботаж через стеклянную трубку с добавлением CO<sub>2</sub>. Линия — аппроксимация линейной фазы роста уравнением (2). Значения коэффициентов в тексте

**Fig. 1.** Cumulative growth curves for *D. salina* under different ways of air injection into photobioreactor; ○ — sparging via aquarium air sprayer, ● — sparging via capillary with addition of CO<sub>2</sub>. Linear phase growth approximation line with equation (2). Coefficients values in text

CO<sub>2</sub> воздуха [2]. При этом считали, что: объёмная концентрация углекислого газа в атмосферном воздухе составляет 0.03 % [7]; условия для растворения CO<sub>2</sub> идеальны (углекислый газ полностью переходит в культуральную жидкость); скорость подачи воздуха — 1 л·л<sup>-1</sup>·мин<sup>-1</sup>; содержание углерода в биомассе микроводорослей составляет 50 % [10].

Предельное значение продуктивности с 1 л культуры микроводоросли в сутки составило 0.463 г сухой биомассы.

Для верификации полученных значений продуктивности были проведены экспериментальные исследования по выращиванию культуры микроводоросли *D. salina* на распыляемом атмосферном воздухе. В качестве контрольного варианта был выбран режим выращивания при дополнительном внесении CO<sub>2</sub> в газоздушную смесь (рис. 1), когда заранее можно быть уверенным в максимальных значениях продуктивности культуры водорослей.

С учётом заданной скорости подачи воздуха (0.8 л·л<sup>-1</sup>·мин<sup>-1</sup>), максимально возможная скорость роста культуры *D. salina* при выращивании на атмосферном воздухе могла составить 0.37 г СВ·л<sup>-1</sup>·сут<sup>-1</sup>. Аппроксимация линейной фазы роста уравнением:

$$B = B_l + P_m \cdot t, \quad (2)$$

где  $B$  — плотность культуры,  $B_l$  — плотность культуры в момент начала линейной фазы роста,  $P_m$  — максимальная продуктивность,  $t$  — время, позволила определить величины максимальной продуктивности культуры *D. salina* для двух вариантов эксперимента (табл. 1).

**Таблица 1.** Продуктивность культуры *D. salina* при различных способах подачи воздуха в среду**Table 1.** *D. salina* culture productivity under different ways of air injection into culture medium

Способ подачи воздуха	Продуктивность			
	Пределная (1.0 л·л <sup>-1</sup> ·мин <sup>-1</sup> ) [5], г СВ·л <sup>-1</sup> ·сут <sup>-1</sup>	Пределная (0.8), г СВ·л <sup>-1</sup> ·сут <sup>-1</sup>	Максимальная (0.8), г СВ·л <sup>-1</sup> ·сут <sup>-1</sup>	Средняя, (0.8), г СВ·л <sup>-1</sup> ·сут <sup>-1</sup>
Распыление воздуха	0.46	0.37	0.34	0.19±0.01
Подача через трубку (воздух +3 % CO <sub>2</sub> )	–	–	0.38	0.28±0.02

На сегодняшний день в лабораторных условиях отработаны режимы интенсивного культивирования *D. salina*, способные обеспечить высокую продуктивность культуры для наращивания существенных количеств её биомассы [12, 14]. Однако результаты проведённых ранее экспериментов показали, что скорость роста данной культуры резко снижается при уменьшении концентрации CO<sub>2</sub> в газовой смеси (от 3 до 1 % v/v), поэтому выращивание данной культуры при барботировании воздухом для решения биотехнологических задач нецелесообразно. Теоретическая возможность достижения продуктивности культуры микроводоросли 0.46 г с 1 л в сутки при выращивании на распыляемом воздухе показана предварительными расчётами. Априори получаемые экспериментально значения продуктивности должны быть ниже в силу различных потерь. Первоначальные условия эксперимента были заданы таким образом, чтобы рост культуры ограничивался только уровнем углеродного обеспечения. Известно, что в растворы углекислый газ переходит в формах H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>, причём бикарбонат-ионы, наиболее предпочтительные при выращивании микроводорослей, преобладают в питательной среде при pH 8.0–8.3 [4]. Также известно, что на растворимость углекислого газа в водной фазе одновременно оказывают влияние различные факторы, важнейшие из которых — pH, температура и солёность. Кроме того, растворимость газов повышается с увеличением удельной площади соприкосновения жидкой и газообразной фаз. Для интенсификации процесса растворения CO<sub>2</sub> в водной среде в форме, оптимальной для использования клетками микроводорослей, при проведении эксперимента создали благоприятные условия – использовали распылитель воздуха и поддерживали подходящую pH культуральной среды.

Максимальная продуктивность культуры *D. salina* как в случае её выращивания на распыляемом атмосферном воздухе, так и в случае дополнительного введения CO<sub>2</sub> в газозвушную смесь значительно не отличалась. Что касается средней скорости роста микроводоросли при накопительном культивировании, то при выращивании на распылении атмосферного воздуха она была в 1.5 раза ниже, чем при выращивании на газозвушной смеси с CO<sub>2</sub> (табл. 1). Тем не менее полученные в данном эксперименте значения средней продуктивности при выращивании на распыляемом воздухе сопоставимы с таковыми культуры *D. salina*, выращиваемой с добавлением 1 % CO<sub>2</sub> в газозвушную смесь [2]. Таким образом, выращивание микроводоросли в накопительном режиме на распыляемом атмосферном воздухе за счёт пролонгированной адаптационной стадии лишено смысла. Можно предположить, что в непрерывном режиме выращивания, когда физико-химические условия не меняются, появится возможность реализовать предлагаемый способ насыщения культуральной среды углекислым газом.

Дополнительное введение CO<sub>2</sub> в газозвушную смесь значительно увеличивает продукцию культуры *D. salina*, однако повышает стоимость единицы произведённой биомассы. Чтобы определить затра-

ты на углекислый газ, необходимый для выращивания 1 грамма биомассы микроводорослей, провели расчёты, аналогичные предыдущим. При этом также считали, что содержание углерода в биомассе — примерно 50 % [10], поэтому для синтеза 1 г биомассы необходимо подать 0.5 г чистого углерода, или, учитывая долю углерода в углекислом газе, 1.83 г  $\text{CO}_2$ . Объём  $\text{CO}_2$  определили с учётом известной молярной массы для нормальных условий. Он оказался равным 0.933 л.

То есть для синтеза 1 г сухой биомассы микроводорослей необходимо около 1 л углекислого газа в доступной форме. Учитывая растворимость  $\text{CO}_2$  в водной среде при заданных условиях выращивания культуры *D. salina* (рН = 8–9, температура 25–28 °С, концентрация солей около 150 г·л<sup>-1</sup>) [3], максимальную продуктивность культуры для данных условий (табл. 1), а также стоимость сжиженной углекислоты, для синтеза 1 г сухой биомассы в сутки необходимо использовать 2.6 л углекислого газа, что предполагает дополнительные затраты в денежном эквиваленте — около 42 рублей.

Таким образом, себестоимость 1 г биомассы при использовании  $\text{CO}_2$  значительно возрастает, и это без учёта затрат на установку, техническое оснащение и обслуживание углекислотной системы. Кроме того, эффективность использования газообразной  $\text{CO}_2$  при выращивании микроводорослей на концентрированных средах снижается, так как его растворимость в жидкой среде при оптимальных условиях культивирования невысока (около 35 %) [3]. Следовательно, выращивание *D. salina* на распыляемом атмосферном воздухе более выгодно, чем использование газовой смеси, обогащённой  $\text{CO}_2$ , так как, несмотря на снижение продукции, стоимость единицы получаемой биомассы будет ниже. Можно также предположить, что увеличение площади распылителя повысит продуктивность культуры, что, в свою очередь, позволит продолжить данное исследование. Возможно, увеличив в 3 раза площадь распылителя, удастся достичь продуктивности культуры, характерной для использования газовой смеси, обогащённой  $\text{CO}_2$ .

**Заключение.** Проведена сравнительная оценка затрат для выращивания культуры зелёной микроводоросли *D. salina* как с дополнительным введением  $\text{CO}_2$  в газоздушную смесь, так и без него, только за счёт повышения растворимости углекислого газа воздуха при увеличении удельной поверхности соприкосновения фаз воздух — жидкая среда. Показано, что культивирование дуналиеллы в апробированном режиме имеет преимущество по стоимости единицы получаемой биомассы по сравнению с её выращиванием в сопоставимых условиях с использованием углекислого газа.

Показана возможность интенсивного выращивания *D. salina* без дополнительного введения  $\text{CO}_2$  в газоздушную смесь (только на распыляемом воздухе). Экспериментально показано, что при таком способе выращивания максимальная продуктивность культуры *D. salina* составляет 0.34 г СВ с 1 л в сутки, а средняя за 4 суток выращивания — 0.19 г СВ с 1 л культуры в сутки (при скорости продувки 0.8 л·л<sup>-1</sup>·мин<sup>-1</sup>). Дополнительное введение  $\text{CO}_2$  в газоздушную смесь при аналогичной скорости подачи не оказывало значительного влияния на максимальную продуктивность культуры *D. salina*. Полученные данные согласуются с проведёнными предварительными расчётами и оставляют простор для оптимизации способа культивирования на распыляемом атмосферном воздухе для повышения скорости роста культуры.

Работа выполнена в рамках госзадания ФГБУН ИМБИ, тема № 1001-2014-0017.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Боровков А. Б. *Динамика пигментов и роста микроводорослей в хемостате на примере Dunaliella salina Teod.* : автореф. дис. ... канд. биол. наук. Севастополь, 2008. 28 с. [Borovkov A. B. *Dinamika pigmentov i rosta mikrovodoroslei v khemostate na primere Dunaliella salina Teod.* : avtoref. dis. ... kand. biol. nauk. Sevastopol, 2008, 28 p. (in Russ.)].
2. Боровков А. Б., Гудвиллович И. Н. Влияние концентрации  $\text{CO}_2$  в газовой смеси на продукционные характеристики квазинепрерывной культуры *Dunaliella salina* // *Актуальные вопросы теории и практики современной биотехнологии* : материалы Всерос. науч.-практ. конф. (Луга, 15 сент. 2015 г.). Санкт-Петербург, 2015. С. 6–13. [Borovkov A. B., Gudvilovich I. N. Vliyanie kontsentratsii

- SO<sub>2</sub> v gazovoi smesi na produktsionnye kharakteristiki kvazinepreryvnoi kul'tury *Dunaliella salina*. In: *Aktual'nye voprosy teorii i praktiki sovremennoi biotekhnologii* : materialy Vseros. nauch.-prakt. konf. (Luga, 15 Sept. 2015). Saint-Petersburg, 2015. P. 6–13. (in Russ.).
3. Гороновский И. Т., Назаренко Ю. П., Некряч Е. Ф. *Краткий справочник по химии*. Киев: Наук. думка, 1987. 829 с. [Goronovsky I. T., Nazarenko Yu. P., Nekryach E. F. *Kratkii spravochnik po khimii*. Kiev: Nauk. dumka, 1987, 829 p. (in Russ.).]
  4. Крупнова Т. Г., Сухарев Ю. И. *Химия окружающей среды: учебное пособие*. Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2005. Ч. 2. 36 с. [Krupnova T. G., Sukharev Yu. I. *Khimiya okruzhayushchei sredy: uchebnoe posobie*. Chelyabinsk: Izd-vo YuUrGU, 2005, pt. 2, 36 p. (in Russ.).]
  5. Лелеков А. С., Гудвиллович И. Н., Геворгиз Р. Г., Тренкеншу Р. П., Бадисова А. О. Оценка коэффициента абсорбции углерода культурой *Porphyridium purpureum* (Bory) Ross // *Морские биологические исследования: достижения и перспективы*: в 3-х т. : сборник материалов Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием, приуроч. к 145-летию Севастопольской биологической станции (Севастополь, 19-24 сент. 2016 г.) / под общ. ред. А. В. Гаевской. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2016. Т. 3. С. 404–407. [Lelekov A. S., Gudvilovich I. N., Gevorgiz R. G., Trenkenshu R. P., Badisova A. O. Otsenka koeffitsienta absorptsii ugleroda kul'turoi *Porphyridium purpureum* (Bory) Ross. In: *Morskie biologicheskie issledovaniya: dostizheniya i perspektivy*: v 3-kh t. : sbornik materialov Vseros. nauch.-prakt. konf. s mezhdunar. uchastiem, priuroch. k 145-letiyu Sevastopol'skoi biologicheskoi stantsii (Sevastopol, 19-24 Sept. 2016) / pod obshch. red. A. V. Gaevskoi. Sevastopol: EKOSI-Gidrofizika, 2016, vol. 3, pp. 404–407. (in Russ.).]
  6. Масюк Н. П. *Морфология, систематика, экология, географическое распространение рода *Dunaliella Teod.** Киев: Наук. думка, 1973. 487 с. [Masyuk N. P. *Morfologiya, sistematika, ekologiya, geograficheskoe rasprostranenie roda Dunaliella Teod.* Kiev: Nauk. Dumka, 1973, 487 p. (in Russ.).]
  7. Полевой В. В. *Физиология растений*. Москва: Высшая школа, 1989. 464 с. [Polevoi V. V. *Fiziologiya rastenii*. Moscow: Vysshaya shkola, 1989, 464 p. (in Russ.).]
  8. Пронина Н. А. Организация и физиологическая роль CO<sub>2</sub>-концентрирующего механизма при фотосинтезе микроводорослей // *Физиология растений*. 2000. Т. 47, № 5. С. 801–810. [Pronina N. A. Organizatsiya i fiziologicheskaya rol' CO<sub>2</sub>-kotsentriruyushchego mekhanizma pri fotosinteze mikrovodoroslei. *Fiziologiya rastenii*, 2000, vol. 47, no. 5, pp. 801–810. (in Russ.).]
  9. Тренкеншу Р. П. *Ростовые и фотоэнергетические характеристики морских микроводорослей в плотной культуре* : автореф. дис. ... канд. биол. наук. Красноярск, 1984. 28 с. [Trenkenshu R. P. *Rostovye i fotoenergeticheskie kharakteristiki morskikh mikrovodoroslei v plotnoi kul'ture*: avtoref. dis. ... kand. biol. nauk. Krasnoyarsk, 1984, 28 p. (in Russ.).]
  10. Anderson L. A. On the hydrogen and oxygen-content of marine phytoplankton. *Deep Sea Research Pt. I*, 1995, vol. 42, pp. 1675–1680.
  11. Ben-Amotz A. Industrial production of microalgal cell-mass and secondary products – major industrial species – *Dunaliella*. In: *Handbook of microalgal culture*. Oxford: Blackwell, 2004, pp. 273–280.
  12. Borovkov A. B., Gudvilovich I. N. Intensive cultivation of *Dunaliella salina* for production of biomass with elevated β-carotene content. Communication 1. Effect of cultivation factors. *Hydrobiological Journal*, 2015, vol. 51, no. 3, pp. 69–76.
  13. Giordano M., Bowes G. Gas exchange and C allocation in *Dunaliella salina* cells in response to the N source and CO<sub>2</sub> concentration used for growth. *Plant Physiology*, 1997, vol. 115, pp. 1049–1056.
  14. Ramos A. A., Polle J., Tran D., Cushman J. C., Jin E.-S., Varela J. C. The unicellular green alga *Dunaliella salina* Teod. as a model for abiotic stress tolerance: genetic advances and future perspectives. *Algae*, 2011, vol. 26, no. 1, pp. 3–20.
  15. Ying K., Al-Mashhadani M. K. H., Hanotu J. O., Gilmour D. J., Zimmerman W. B. Enhanced mass transfer in microbubble driven airlift bioreactor for microalgal culture. *Engineering*, 2013, vol. 5, pp. 735–743.

***DUNALIELLA SALINA* TEOD. MICROALGAE PRODUCTIVITY,  
WHEN GROWN UNDER THE DIFFERENT ADDITION  
OF CARBON DIOXIDE IN CULTURE**

**I. N. Gudvilovich, A. B. Borovkov**

Kovalevsky Institute of Marine Biological Research RAS, Sevastopol, Russian Federation

E-mail: [gudirina2008@yandex.ru](mailto:gudirina2008@yandex.ru)

Lack of carbon can be the main limiting factor in microalgae cultivation, that is why selection of optimum way for carbon to be injected into the culture environment for a particular species and photobioreactor is critical for its mass cultivation. *D. salina* culture was grown in laboratory photobioreactors under day-and-night lamplight of 15 kLx. Air was supplied with the aquarium compressor at the rate of  $0.8 \text{ l} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ . In the first test, bubbling was arranged via capillary of 4 mm diameter; in the second test — via aquarium air sprayer (plastic tube 5 cm length, 5 mm diameter, pore size not more than 0.1 mm). *D. salina* potential for the microalgae mass cultivation through increase of specific air-fluid phase surface (without additional CO<sub>2</sub> injection into gas-air mixture) with maximum productivity of 0.34 g of dry biomass from 1 liter per day has been shown experimentally. Average productivity of the culture when grown in the proposed regime is 1.5 times lower than in standard approved case.

**Keywords:** *D. salina*, mass culture, maximum productivity, carbon dioxide, air



УДК 597.42/.55(262.5)

**РАСПРОСТРАНЕНИЕ РЕДКОГО ВИДА МОРСКИХ УТОЧЕК —  
МАЛОГОЛОВОЙ ПРИСОСКИ *APLETODON DENTATUS*  
(ACTINOPTERYGII, GOBIESOCIDAE) — У БЕРЕГОВ КРЫМА**

© 2017 г. **Е. П. Карпова**, н. с., **А. Р. Болтачев**, канд. биол. наук, зав. отд., **О. Н. Данилюк**, вед. инж.

Институт морских биологических исследований им. А. О. Ковалевского РАН, Севастополь, Россия

E-mail: [karpova\\_je@mail.ru](mailto:karpova_je@mail.ru)

Поступила в редакцию 09.04.2017 г. Принята к публикации 23.06.2017 г.

Исследования криптобентической фауны имеют высокую актуальность при изучении биоразнообразия регионов. С целью уточнения ихтиофаунистических списков различных районов черноморской прибрежной зоны Крыма проведены исследования видового состава семейства морских уток *Gobiesocidae* и обнаружен новый для прибрежной зоны Крыма вид — малоголовая присоска, или аплетодон. Вследствие малой изученности и дискуссионного таксономического статуса этого вида сведения о его морфологии, биологии, поведении и других особенностях представляют немалую научную ценность. Доказано обитание малоголовой присоски у черноморских берегов Крыма, описаны популяционно-биологические (размерно-массовые, морфометрические) характеристики и особенности распространения. В результате морфологических исследований крымских экземпляров показано отсутствие существенных различий между ними и представителями вида из атлантическо-средиземноморских популяций. Выявлены особенности местообитаний, которые предпочитает этот вид, и особенности локализации, представляющие преимущества при внутрисемейственной конкуренции. Приведены ключевые признаки, облегчающие видовое определение.

**Ключевые слова:** малоголовая присоска, *Apletodon dentatus*, видовые признаки, криптобентический вид, натурализация, морфометрия, экология, ареал, Крым, Чёрное море

В прибрежной зоне морей существует немногочисленная и чрезвычайно мало изученная группа криптобентических гидробионтов, отличительными особенностями которых являются малые размеры и крайне скрытное существование. В отношении таких видов, известных обычно по немногим находкам, часто делается вывод об их редкости, эндемизме и узколокальном распространении. В морях Средиземноморского бассейна, включая Чёрное море, криптобентические виды чаще входят в состав таких семейств, как *Blenniidae*, *Gobiesocidae* и *Gobiidae* (роды *Chromogobius*, *Didogobius*, *Gammogobius*, *Millerigobius*, *Pomatoschistus*, *Thorogobius*, *Gobius*) [10, 15, 16]. С распространением новых методов исследования, включающих визуальное обследование биотопов с применением дайвинга, фото- и видеофиксации, а также с использованием анестезирующих препаратов для сбора рыб, количество регистраций криптобентических видов существенно возросло. В результате значительно расширились данные об особенностях распространения и распределения оседлых донных видов, считавшихся ранее узколокальными эндемиками.

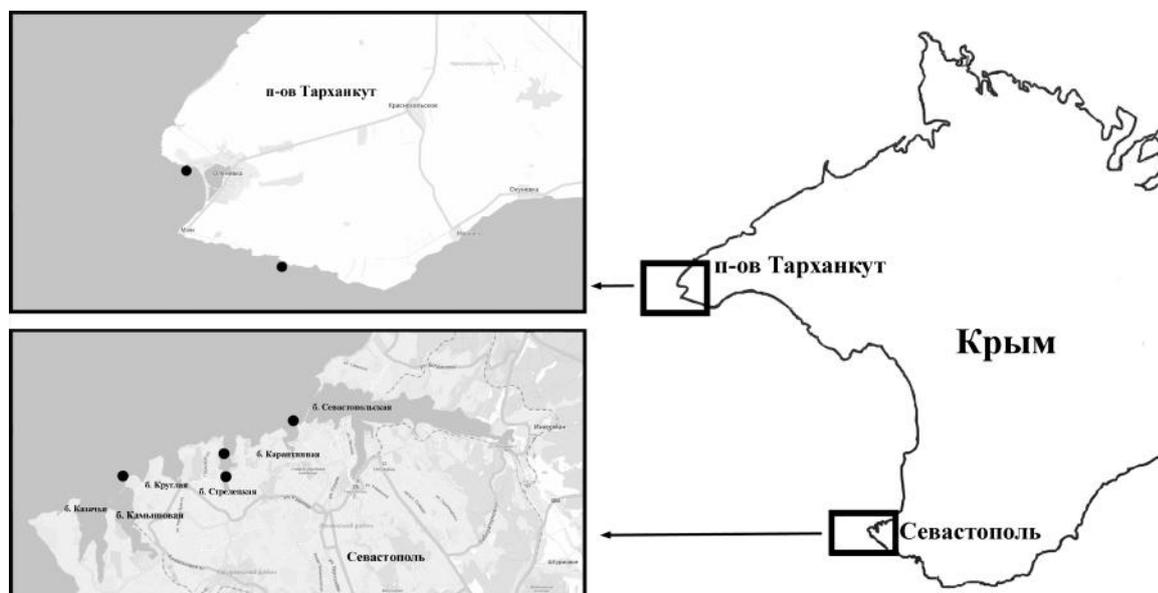
В Чёрном море внимание к криптобентическим видам связано в первую очередь с активизацией фаунистических исследований, в частности по обнаружению чужеродных либо крайне редких для региональной ихтиофауны видов рыб в таких малоизученных биоценозах, как сообщества гидробионтов сумеречных зон подводных пещер и гротов [2, 3], а также поселения мидий [15]. Следует отметить, что к настоящему времени естественные бентосные сообщества на значительной акватории прибрежной

зоны Крымского полуострова претерпели существенные структурные изменения. В первую очередь это касается мидийных поселений, которые по большей части находятся в депрессивном состоянии и весьма разрежены. В то же время на искусственных субстратах (коллекторах, садках) мидийно-устричных хозяйств двусторчатые моллюски образуют плотные скопления и играют важную ценозообразующую роль, что способствует формированию локальных сообществ, в которых, в свою очередь, создаются подходящие условия для обитания криптобентических видов. К таковым относится, в частности, малоголовая присоска *Apletodon dentatus* (Fasciolià, 1887).

Малоголовая присоска — один из наиболее редких и малоизученных среди 6 видов рода *Apletodon* [7, 8]. Сведения о его биологии практически отсутствуют, а для черноморских популяций дискуссионным является и таксономический статус этой рыбы, что и определяет актуальность полученных новых данных о находках, особенностях биологии и этологии малоголовой присоски у берегов Крыма.

### МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Материал собран в прибрежной зоне г. Севастополя и Тарханкутского полуострова в 2013–2016 гг. (рис. 1). У побережья Тарханкута один неполовозрелый экземпляр был пойман в районе Малого Атлеша в сентябре 2013 г., ещё один, взрослый, — вблизи п. Оленевка в июле 2016 г. В районе Севастополя одна особь была отловлена в апреле 2014 г. в средней части б. Стрелецкой при тралении по дну креветочным саком, имеющим входное отверстие полукруглой формы размером 1.6×0.8 м, площадью 1 м<sup>2</sup>, оснащённым хамсеросом с размером ячеек 6.5 мм. Во время обследования мидийных коллекторов, находящихся недалеко от выхода из б. Стрелецкой, в мае 2014 г. было собрано пять особей этого вида. Один экземпляр был пойман сачком у открытого берега между б. Камышовой и Круглой в мае 2014 г. Для изучения состава и особенностей формирования сообщества криптобентических видов гидробионтов были созданы и установлены в гавани около радиобиологического корпуса ФГБУН ИМБИ на выходе из б. Карантинной модули «искусственный биотоп» (патент на полезную модель RU № 162868 U1), в которых было обнаружено по одной особи малоголовой присоски в мае 2015 г. и феврале 2016 г.



**Рис. 1.** Карта-схема мест находок малоголовой присоски *Apletodon dentatus* у берегов Крыма

**Fig. 1.** Schematic map of finds places of *Apletodon dentatus* near the coast of the Crimean Peninsula

Видовую принадлежность устанавливали по [9, 12]. Для 8 экземпляров рыб после поимки в свежем виде был проведён неполный биологический анализ, включающий определение общей (TL) и стандартной (SL) длины, а также массы (W), а после фиксации 4 % раствором формалина — морфометрический

**Таблица 1.** Пластические признаки малоголовой присоски *Apletodon dentatus* (прибрежная зона Крыма)**Table 1.** Meristic features of small-headed clingfish *Apletodon dentatus* (the coastal zone of Crimea)

Характеристика	Среднее значение	Минимальное значение	Максимальное значение	Средняя ошибка
TL, мм	23.1	16.7	29.6	
SL, мм	18.6	13.4	23.8	
W, г	0.116	0.044	0.173	
в % от SL				
Длина присоски	20.6	20.0	21.6	0.3
Длина спинного плавника	21.8	19.4	24.1	1.0
Длина анального плавника	21.8	19.4	25.0	1.2
Предорзальное расстояние	69.0	62.9	74.4	2.5
Преанальное расстояние	68.9	65.7	70.5	1.1
Расстояние между задней границей присоски и анусом	14.4	11.4	15.5	1.0
Расстояние между анусом и началом анального плавника	12.9	12.2	14.1	0.4
Длина хвостового стебля	4.7	3.8	6.0	0.5
Высота тела	20.8	19.0	23.5	1.1
Длина головы	33.4	30.6	35.9	1.1
в % от длины головы				
Глубина головы	80.4	64.3	91.5	6.4
Горизонтальный диаметр глаза	24.7	21.4	27.4	1.4
Предорбитальное расстояние	22.5	20.0	25.0	1.3
Межглазничное расстояние	22.4	17.5	27.4	2.1
Расстояние между верхушкой рыла и передним краем диска присоски	78.9	70.0	96.4	6.2

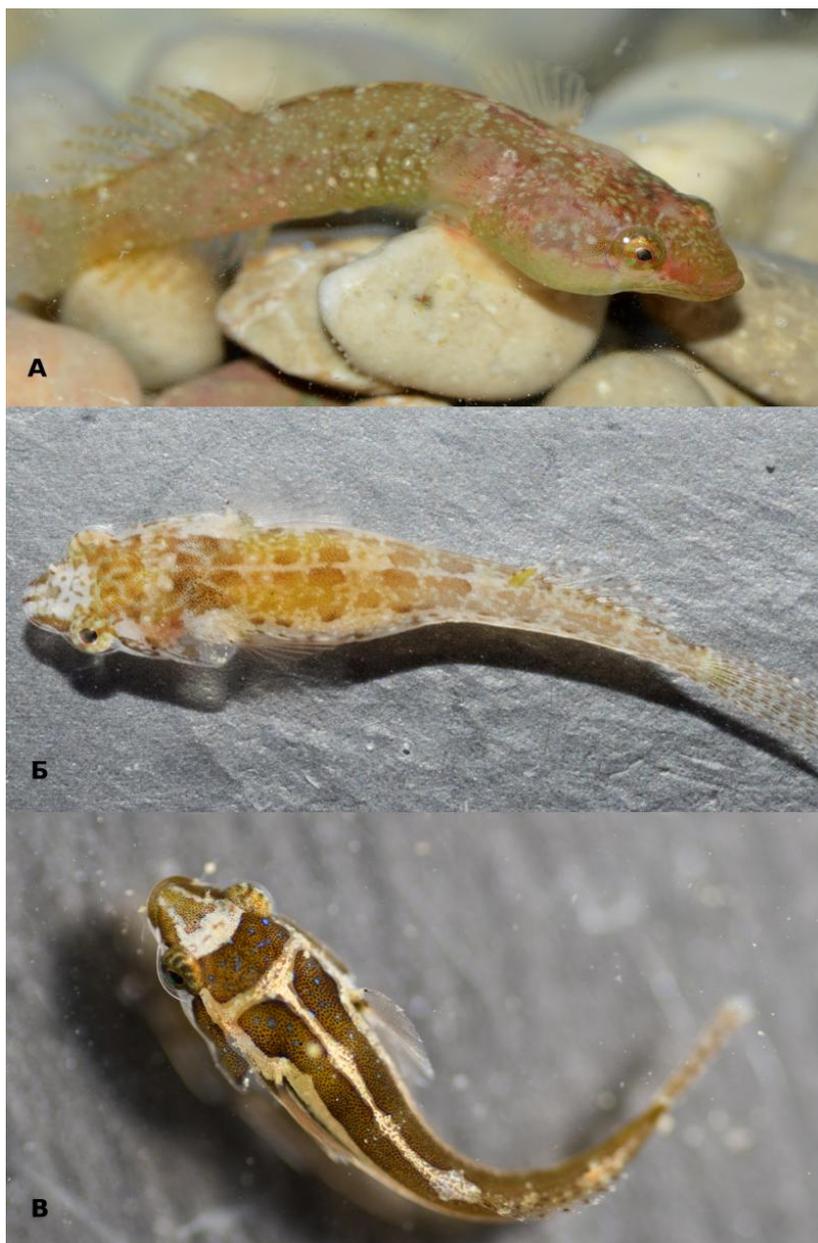
анализ согласно общепринятым методикам. Длину измеряли при помощи штангенциркуля и окуляр-микрометра с точностью до 0.1 мм. Массу определяли на электронных весах с точностью до 0.001 г.

Четыре экземпляра *A. dentatus* хранятся в коллекции ИМБИ под №№ АВ-0834 (1 экз.) и АВ-0946 (3 экз.).

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

*Краткий диагноз:* голова и тело в передней части уплощённые, чешуя отсутствует, рыло сужается к концу, в передней части верхней и нижней челюстей мелкие закруглённые резцы, за которыми имеются от 1 до 3 хорошо заметных изогнутых клыков с последующим рядом мелких конических зубов; брюшные плавники трансформированы в присоску. У проанализированных особей в спинном плавнике 7–8 лучей, в анальном — 6–8, грудном — 19, хвостовом — 13, есть утолщённая и пигментированная мембрана в передней части спинного и анального плавников (рис. 2); первый луч анального плавника расположен под 1–2 лучом дорзального; имеется анальная папилла (табл. 1).

Наибольшая известная длина *A. dentatus* для Чёрного моря составляет 36 мм. По нашим наблюдениям, окраска представителей этого вида весьма изменчива. Для самцов характерна зеленоватая окраска



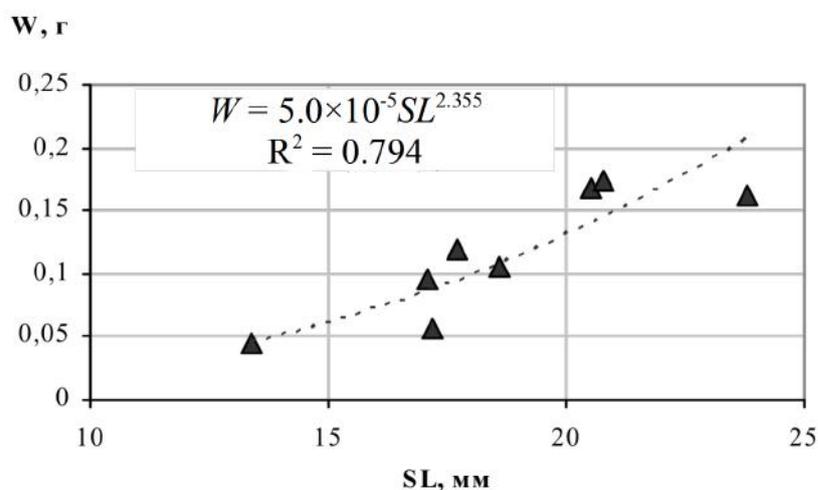
**Рис. 2.** Окраска малоголовой присоски *Apletodon dentatus*: А — самец, Б — самка, В — ювенильная особь

**Fig. 2.** Coloration of small-headed clingfish *Apletodon dentatus*: A – male, Б – female, В – juvenile

со светлыми точками, выраженными более или менее ярко, верхняя часть головы имеет розоватый оттенок, губы оранжево-розовые (рис. 2А). У самок тело мраморной красновато-зелёной окраски, с двумя слабо выраженными светлыми поперечными полосами (между глаз и на затылке) и с продольными с седловидными расширениями полосами (до 5) на спине; нижняя и боковые части головы под глазами белые, на жаберных крышках белое пятно треугольной формы, направленное вершиной вверх; по телу и голове разбросаны голубоватые точки (рис. 2Б). Неполовозрелые особи имеют оливковую или коричневую окраску с хорошо выраженными продольными и поперечными светлыми полосами. Кроме того, присутствует широкая светлая полоса по середине бока. По телу разбросаны яркие синие точки (рис. 2В).

Зависимость массы тела от стандартной длины удовлетворительно аппроксимируется степенным уравнением со сравнительно невысоким коэффициентом детерминации  $R^2$  (рис. 3), хотя ввиду малого количества проанализированных особей такие результаты можно считать предварительными. Обраща-

ет на себя внимание то, что степенной коэффициент уравнения свидетельствует об изометрическом росте, характерном для большинства рыб.



**Рис. 3.** Размерно-массовая характеристика малоголовой присоски *Apletodon dentatus*

**Fig. 3.** Length-weight relationship of small-headed clingfish *Apletodon dentatus*

*Распространение и таксономические замечания.* Малоголовая присоска впервые была выловлена в Чёрном море в конце 1930-х в малом количестве экземпляров у берегов Болгарии (в районе мыса Калиакра и в Бургасском заливе) и описана как подвида *Apletodon dentatus bacescui* (Murgoci, 1940) [5, 17]. В 2003 году — после значительного перерыва — ещё один экземпляр был пойман у берегов Турции (в районе Синопа) [6]. Средиземноморско-атлантические популяции, населяющие прибрежную зону Восточной Атлантики у берегов Франции, Шотландии и Великобритании, Средиземного и Мраморного морей, были отнесены к подвиду *Apletodon dentatus dentatus Facciola, 1887* [9]. В настоящее время нет единого мнения в отношении таксономического статуса этой рыбы. Согласно мнению одних авторов, валидным видом признаётся *Apletodon dentatus* (Facciola, 1887) [13], а предлагающийся рядом исследователей как самостоятельный вид *A. bacescui* (Murgoci, 1940) [14] сведён к его синониму. На уровне подвида, как *A. dentatus bacescui*, он также признаётся не всеми ихтиологами в связи с тем, что отличия в меристических признаках, имеющиеся у черноморских экземпляров, считаются отклонениями в пределах морфологической изменчивости данного вида [1]. Сравнение немногочисленных меристических и пластических признаков по этим подвидам из разных источников показывает, что диапазоны изменчивости большинства из них весьма близки и частично перекрываются [15], а экземпляры, собранные нами, по большинству признаков занимают промежуточное положение.

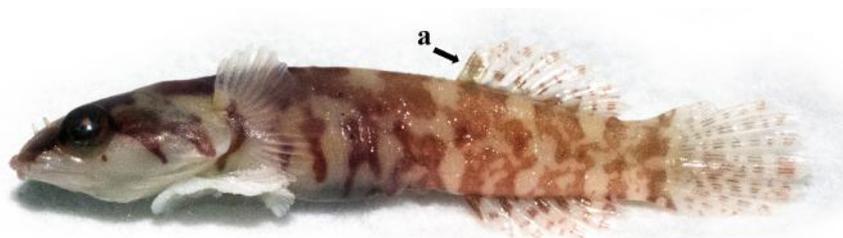
В районе Крыма этот вид был нами отмечен только в районе г. Севастополя (как в бухтах, так и у открытого побережья) и у берегов полуострова Тарханкут (рис. 1). Находки малоголовой присоски в Чёрном море в основном приурочены к биотопам, включающим выходы пористых понтических известняков, что, очевидно, связано с криптобентическим образом жизни вида.

Особенности биологии малоголовой присоски совершенно не изучены. В работах по Средиземному морю сообщается, что молодь этого вида чаще встречается на водорослях, а взрослые особи отмечаются на валунах и камнях, покрытых бурыми водорослями [8, 11]. По нашим наблюдениям, рыбы в основном обитают на верхних и боковых поверхностях крупных камней, покрытых слоем водорослевых обрастаний, в углублениях и трещинах, либо среди поселений моллюсков на коллекторах ферм, на незначительном удалении от поверхности воды.

При определении вида мы столкнулись с трудностями при использовании в качестве ключевых ограниченного набора признаков, выявление которых к тому же требует применения техники микроскопирования [1], что усложняет проведение работ в полевых условиях. Поэтому с учётом морфологи-

ческих особенностей данного вида при определении представителей семейства *Gobiesocidae* в Чёрном море целесообразно использовать следующий набор ключевых признаков [1, 4, 9, 12]:

- 1) имеется утолщённая и пигментированная мембрана в передней части спинного и анального плавников (рис. 4); присутствует анальная папилла; на челюстях имеются хорошо развитые клыки; первый луч анального плавника расположен под 1–2-м лучом дорзального . . . . . *Apletodon dentatus*
- 2) утолщённая и пигментированная мембрана в передней части спинного и анального плавников, анальная папилла и развитые клыки отсутствуют . . . . . 3
- 3) спинной и анальный плавники короткие, в спинном менее 10 лучей, в анальном менее 8; первый луч анального плавника расположен под 3-м лучом дорзального . . . . . *Diplecogaster bimaculata*
- 4) спинной и анальный плавники длинные, в спинном более 10 лучей, в анальном не менее 8 . . . . . 5
- 5) спинной и анальный плавники слиты с хвостовым, передние носовые отверстия с длинными лопастиками . . . . . *Lepadogaster lepadogaster*
- 6) спинной и анальный плавники заметно отделены от хвостового, передние носовые отверстия в виде коротких трубочек, без развитых лопастинок . . . . . *Lepadogaster candolii*.



**Рис. 4.** Внешний вид самки малоголовой присоски с выраженным ключевым признаком — пигментированной мембраной (а)

**Fig. 4.** Exterior view a female of *Apletodon dentatus* with marked key feature – pigmented membrane (a)

**Заключение.** Мозаичное распределение малоголовой присоски в Чёрном море связано с особенностями образа жизни, а именно с её высокой селективностью в отношении определённых типов субстратов. Представители семейства в Чёрном море чётко разделяются по обитанию в различных экологических нишах. Представители рода *Lepadogaster* обитают под камнями и булыжниками, прикрепляясь с помощью присоски к их нижней стороне, при этом *L. lepadogaster* значительно более требователен к структуре субстрата и поселяется только на гладко окатанных камнях, тогда как *L. candolii* можно обнаружить и на грубообломочном субстрате. *Diplecogaster bimaculata* чаще всего встречается на пологом дне, покрытом створками раковин или песчано-галечными отложениями. *A. dentatus* обитает либо на твёрдых поверхностях, испещрённых углублениями и трещинами, в подводных пещерах, либо на больших камнях и скалах, покрытых водорослями, либо среди плотных поселений крупных двустворчатых моллюсков (в первую очередь мидий).

Анализ морфологических особенностей черноморских экземпляров показал их высокое сходство со средиземноморско-атлантическими, что не позволяет выделить первые в отдельные таксономические единицы на основании внешних признаков.

Работы выполнены в рамках госбюджетной темы ФГБУН ИМБИ «Мониторинг биологического разнообразия гидробионтов Черноморско-Азовского бассейна и разработка мер по его сохранению», гос. рег. № 1001-2014-0014.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Васильева Е. Д. *Рыбы Чёрного моря. Определитель морских, солоноватоводных, эвригаллиных и проходных видов с цветными иллюстрациями, собранными С. В. Богородским*. Москва: Изд-во ВНИРО, 2007. 238 с. [Vasil'eva E. D. *Ryby Chernogo morya. Opredelitel' morskikh, solonovatovodnykh, ehvrigalinykh i prohodnykh vidov s cvetnymi illyustraciyami, sobrannymi S. V. Bogorodskim*. Moscow: Izd-vo VNIRO, 2007, 238 p. (in Russ.)].
2. Ковтун О. А., Карпова Е. П. *Chromogobius zebratus* (Kolombatovic, 1891) (Actinopterygii, Perciformes, Gobiidae) – новый для Чёрного моря вид бычка из морской подводной пещеры полуострова Тарханкут (западный Крым) // *Морской экологический журнал*. 2014. Т. 13, № 1. С. 72. [Kovtun O. A., Karpova E. P. *Chromogobius zebratus* (Kolombatovic, 1891) (Actinopterygii, Perciformes, Gobiidae) from marine underwater cave of Tarhankut peninsula (western Crimea), a species new for the Black Sea. *Morskoj ekologicheskij zhurnal*, 2014, vol. 13, no. 1, p. 72. (in Russ.)].
3. Ковтун О. А., Пронин К. К. Морфолого-биологическая характеристика подводной пещеры «Тарзанка» (полуостров Тарханкут, Малый Атлеш) // *Спелеология и карстология*. 2011. № 6. С. 53–56. [Kovtun O. A., Pronin K. K. Morphological and biological features of underwater caves Tarzanka (Tarhankut Peninsula, Maliy Atlesh). *Speleologiya i karstologiya*, 2011, no. 6, pp. 53–66. (in Russ.)].
4. Световидов А. Н. *Рыбы Чёрного моря*. Москва: Наука, 1964. 550 с. [Svetovidov A. N. *Ryby Chernogo morya*. Moscow: Nauka, 1964, 550 p. (in Russ.)].
5. Banarescu P. *The fauna of the popular Republic of Romania. Pisces – Osteichthyes*. V. XIII. Romania: Academici Republicii Populare Romine Press, 1964, 959 p. (in Romanian).
6. Bat L., Demirci G. G., Öztürk M. Occurrence of *Apletodon dentatus bacescui* (Murgoci, 1940) (Gobiesocidae) and *Coryphoblennius galerita* (Linnaeus, 1758) (Blenniidae) at the central Black Sea coast of Turkey. *Journal of Black Sea / Mediterranean Environment*, 2006, vol. 12, pp. 59–65.
7. Bilecenoglu M., Kaya M. The occurrence of *Apletodon incognitus* Hofrichter & Patzner, 1997 (Gobiesocidae) in the Eastern Mediterranean Sea. *Acta Ichthyologica et Piscatoria*, 2006, vol. 36, no. 2, pp. 143–145.
8. Brandl S. J., Wagner M., Hofrichter R. Patzner R. First record of the clingfish *Apletodon dentatus* (Gobiesocidae) in the Adriatic Sea and a description of a simple method to collect clingfishes. *Bulletin of Fish Biology*, 2012, vol. 13, no. 1/2, pp. 65–69.
9. Briggs J. C. Gobiesocidae / Whitehead P. J. P., Bauchot M-L., Hureau J-C., Nielsen J., Tortonese E. (eds) *Fishes of the Northeastern Atlantic and the Mediterranean*. Vol. 3. Paris: UNESCO, 1986, pp. 1351–1359.
10. Colombo M., Langeneck J. The importance of underwater photography in detecting cryptobenthic species: new in situ records of some gobies (Teleostei: Gobiidae) from Italian Seas with ecological notes. *Acta Adriatica*, 2013, vol. 54, no. 1, pp. 101–110.
11. Gonçalves E. J., Barbosa M. Cabral H. N. Henriques, M. Ontogenetic shifts in patterns of microhabitat utilization in the small-headed clingfish, *Apletodon dentatus* (Gobiesocidae). *Environmental Biology of Fishes*, 2002, vol. 63, iss. 3, pp. 333–339. doi: [10.1023/A:1014302319622](https://doi.org/10.1023/A:1014302319622).
12. Hofrichter R., Patzner R. A new species of *Apletodon* from the Mediterranean Sea and the eastern Atlantic with notes on the differentiation between *Apletodon* and *Diplecogaster* species (Pisces: Teleostei: Gobiesociformes: Gobiesocidae). *Senckenbergiana Biologica*, 1997, vol. 77, no. 1, pp. 15–22.
13. Eschmeyer W. N., Fricke R. van der Laan R. (eds). Catalog of fishes: genera, species, references. Available at: <http://researcharchive.calacademy.org/research/ichthyology/catalog/fishcatmain.asp> [accessed 27.05. 2017].
14. WoRMS Editorial Board. World Register of Marine Species. 2017. Available at: <http://www.marinespecies.org>. [Accessed 2017-05-30]. doi: [10.14284/170](https://doi.org/10.14284/170).
15. Karpova E., Boltachev A., Statkevich S., Danylyuk O., Turbanov I. Cryptobenthic Fauna of the Mussel

- Farm's Collectors. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 2015, vol. 15, pp. 511–521. doi: [4194/1303-2712-v15\\_2\\_38](https://doi.org/10.4194/1303-2712-v15_2_38).
16. La Mesa G., Di Mucchio S., Vacchi M. Structure of a Mediterranean cryptobenthic fish community and its relationships with habitat characteristics. *Marine Biology*, 2006, vol. 149, pp. 149–167.
17. Murgoci A. A. Etude sur quelques especes du genre *Lepadogaster* de la mer Noire. *Comptes Rendus des Seances de l'Institut des Sciences de Roumanie, ancienne Academie des Sciences de Roumanie*, 1940, vol. 4 (5–6), pp. 380–386 (in Romanian).

**DISTRIBUTION OF THE RARE SPECIES OF CLINGFISHES —  
SMALL-HEADED CLINGFISH *APLETODON DENTATUS*  
(ACTINOPTERYGII, GOBIESOCIDAE) — NEAR CRIMEAN COASTS**

**E. P. Karpova, A. R. Boltachev, O. N. Danylyuk**

Kovalevsky Institute of Marine Biological Research RAS, Sevastopol, Russian Federation

E-mail: [karpova\\_je@mail.ru](mailto:karpova_je@mail.ru)

Cryptobenthic fauna investigations are highly relevant at studying biodiversity of regions. Studies of the species composition of Gobiesocidae family were carried out in order to clarify ichthyofauna of different regions, and a new species for the Black Sea coastal zone of Crimea was found. Information about its morphology, biology, behavior and other characteristics is very important because of weak study and indeterminate taxonomic status of this species. As a result of morphological studies of the Crimean specimens no significant difference with the type of the Atlantic-Mediterranean populations has been proven. Naturalization of small-headed clingfish in coastal waters of Crimea has been confirmed and some population characteristics, such as a length-weight relationship, have been described. Peculiarities of habitat which which small-headed clingfish prefers and features of localization, enabling competitiveness have been identified. Identification keys were compiled and are given in the paper.

**Keywords:** small-headed clingfish, *Apletodon dentatus*, specific features, cryptobenthic species, naturalization, morphometry, ecology, areal, Crimea, Black Sea



УДК [628.193:665.61+577.115]:582.272(262.5)

**НЕФТЯНЫЕ УГЛЕВОДОРОДЫ И ОБЩИЕ ЛИПИДЫ  
В БЕРЕГОВЫХ ВЫБРОСАХ *CYSTOSEIRA BARBATA* (STACKH.) С. AGARDH  
В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ СЕВАСТОПОЛЯ (ЧЁРНОЕ МОРЕ)**

© 2017 г. **О. А. Миронов**, канд. биол. наук, н. с., **И. П. Муравьева**, канд. биол. наук, м. н. с.Институт морских биологических исследований им. А. О. Ковалевского РАН, Севастополь, Россия  
E-mail: [mironov87@gmail.com](mailto:mironov87@gmail.com)

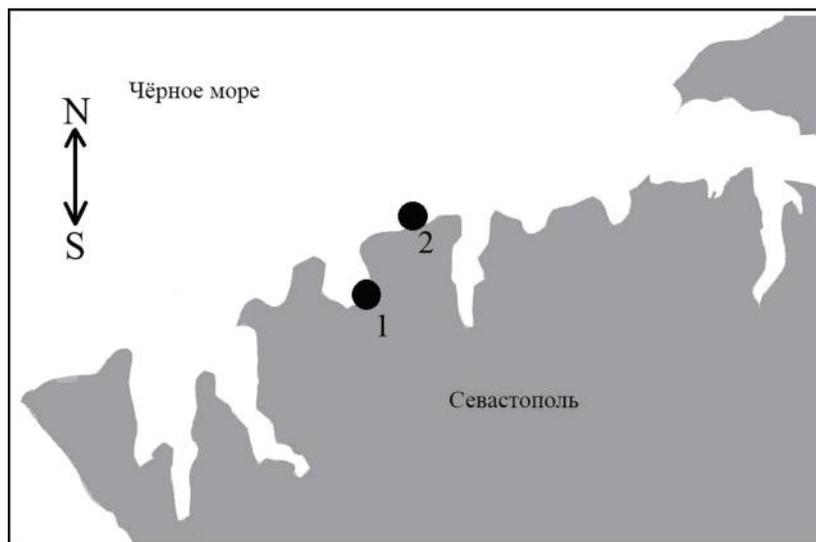
Поступила в редакцию 15.02.2017 г. Принята к публикации 23.06.2017 г.

Прибрежная зона Севастополя, особенно её рекреационная часть, испытывает существенное антропогенное воздействие в результате пребывания большого количества отдыхающих, а также из-за поступления сюда городских и ливневых стоков, имеющих в своём составе и нефтяные углеводороды. Здесь обширные подводные заросли образует бурая водоросль *Cystoseira barbata*. Оторванные от субстрата водоросли, находящиеся у кромки воды, перемешиваются с береговыми выбросами, что приводит к вторичному загрязнению как береговой полосы, так и прибрежной акватории. В то же время свежоторванные растения используются представителями различных таксономических групп, активно включаясь в пищевую цепь. В этой связи целью настоящей работы является изучение липидно-углеводородного состава *Cystoseira barbata* в береговых выбросах. Количество нефтяных углеводородов определялось гравиметрическим методом, а количество общих липидов — по цветной реакции с фосфо-ванилиновым реактивом. Полученные данные свидетельствуют о более высоких уровнях содержания хлороформ-экстрагируемых веществ, общих липидов и нефтяных углеводородов в макрофитах в б. Круглой по сравнению с таковыми в акватории парка Победы. Береговые выбросы цистозеры могут быть источником вторичного загрязнения нефтяными углеводородами прибрежных акваторий.

**Ключевые слова:** цистозера, нефтяные углеводороды, общие липиды, вторичное загрязнение

Экологическое состояние прибрежных вод в значительной степени связано с состоянием береговой зоны. Прибрежная зона моря отличается от его открытых районов повышенной биологической продуктивностью и высоким рекреационным потенциалом и является объектом активной хозяйственной деятельности человека. Важная роль в техногенном воздействии принадлежит углеводородным энергоносителям, которые являются источником загрязнения прибрежных вод, почвы и атмосферного воздуха. Относительная замкнутость системы морских мелководий делает её особенно уязвимой как в отношении нарушения экологии гидробионтов, так и в отношении биоаккумуляции веществ, опасных для человека [2].

Водоросли макрофиты являются ценным морепродуктом, который используется человеком на протяжении многих веков. По данным А. А. Калугиной-Гутник, в Чёрном море наиболее высокой продукционной способностью обладала *Cystoseira* (8615 г·м<sup>-2</sup>), что делало её объектом промысла [3]. Следует отметить, что данный вид и населяющая его фауна использовались для оценки экологического состояния прибрежной акватории, в частности для изучения биопотоков нефтяных углеводородов. На основании многолетних исследований нами впервые получены данные о содержании нефтяных углеводородов и общих липидов в цистозере, произрастающей в прибрежной мелководной зоне акватории



**Рис. 1.** Схема расположения станций отбора проб

**Fig. 1.** The scheme of sampling stations

Юго-Западного Крыма [5]. Однако в настоящее время цистозира занесена в Красную книгу, что не только исключает её из промысла, но и делает невозможным сбор материала для научного изучения данного макрофита. В этой связи возрастает интерес к выбросам на берег водорослевой массы, которая после штормов оказывается на линии уреза [8]. Формирование, появление и накопление штормовых выбросов — процесс естественный и обусловленный не только гидродинамическими нагрузками, но и биологическими особенностями донной растительности (естественной регуляцией плотности водорослевого покрытия, отмиранием растений, циклами развития и др.) [1]. Выбросы цистозеры, являясь ценным сырьём, с другой стороны, при отмирании разлагаются, и значительная часть органических и минеральных веществ попадает в море, что приводит к вторичному загрязнению морской воды [1, 2].

Целью настоящей работы является изучение липидно-углеводородного состава *Cystoseira barbata* в береговых выбросах.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Отбор проб проводился ежемесячно с января по декабрь 2016 г. на двух станциях (рис. 1).

Станция 1 располагалась в вершине б. Круглой на песчаном берегу, а станция 2 — на открытом галечном пляже парка Победы, в зоне интенсивного водообмена. Несмотря на различия в гранулометрическом составе грунтов данных станций, цистозира везде произрастала на отдельных валунах. Многолетние санитарно-экологические исследования отдела морской санитарной гидробиологии Института морских биологических исследований (ранее Института биологии южных морей) показывают более высокую степень загрязнённости б. Круглой, особенно её вершинной части, что может быть связано с её закрытостью и более интенсивной антропогенной нагрузкой [6, 7, 9].

Береговые выбросы цистозеры, собранные на линии уреза, во влажном состоянии помещали в полиэтиленовые пакеты и доставляли в лабораторию. Макрофиты в количестве 100 г непродолжительное время (около 30 секунд) обмывали хлороформом для снятия поверхностного загрязнения; за короткий период воздействия растворитель не успевал глубоко проникнуть в таллом цистозеры. Смыв упаривали и взвешивали. Затем с поверхности водорослей смывали микроперифитон интенсивным перемешиванием стеклянной палочкой в стакане объёмом 1 л с дистиллированной водой в течение 10 мин. Дистиллированная вода применялась для исключения солей морской воды на последующих этапах анализа. Смыв отстаивали в течение суток, затем надосадочную воду осторожно сливали, а оставшийся осадок высушивали при температуре 25 °С. Параллельно 10 г сырой массы цистозеры высушивали

в сушильном шкафу при температуре 100 °С в течение 5 ч. Липидно-углеводородный комплекс из поверхностного загрязнения и навесок высушенных и измельченных образцов (макрофиты, микроперифитон) экстрагировали смесью хлороформ — этанол в соотношении 2 : 1. В полученном хлороформ-экстрагированном веществе (ХЭВ), включающем липиды и углеводороды, в том числе нефтяные, количество нефтяных углеводородов (НУ) определяли гравиметрическим методом [4] после пропускания пробы через колонку с окисью алюминия для отделения полярных соединений, а количество липидов — по цветной реакции с фосфо-ванилиновым реактивом. Все анализы проводили в трёхкратной повторности.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Количество ХЭВ, общих липидов и нефтяных углеводородов в поверхностном загрязнении штормовых выбросов представлено в табл. 1.

**Таблица 1.** Среднесезонная концентрация ХЭВ, общих липидов и нефтяных углеводородов ( $\text{мг} \cdot 10^{-2}$  г сырого веса) в поверхностном загрязнении штормовых выбросов  
**Table 1.** Average seasonal concentrations of chloroform-extracted substances, total lipids and oil hydrocarbons ( $\text{mg} \cdot 10^{-2}$  g of wet weight) in the surface contamination of storm casts

Район	Зима	Весна	Лето	Осень
ХЭВ				
б. Круглая	1.68±0.01	3.04±1.30	2.61±0.01	2.31±0.11
парк Победы	1.09±0.01	4.12±3.13	1.29±0.27	1.63±0.19
Липиды				
б. Круглая	0.44±0.01	0.44±0.03	1.23±0.01	0.42±0.01
парк Победы	0.36±0.01	0.37±0.23	0.42±0.03	0.27±0.04
НУ				
б. Круглая	0.10±0.01	0.37±0.19	0.23±0.01	0.17±0.10
парк Победы	0.06±0.01	1.14±1.00	0.14±0.02	0.13±0.02

Отметим, что береговые выбросы цистозир в б. Круглой с июля по сентябрь отсутствовали, что соотносится с сезонными гидрологическими и синоптическими особенностями данной акватории.

Поскольку поверхностное загрязнение смывалось с нативных водорослей, его количество пересчитывалось в  $\text{мг} \cdot 10^{-2}$  г сырого веса, и его непосредственно нельзя сравнить с данными по цистозире и микроперифитону, полученными из сухой навески, однако по его количеству можно судить о наличии пленочной формы нефтяного загрязнения.

Как видно из табл. 1, количество ХЭВ в б. Круглой превышало таковое в парке Победы во все сезоны. Однако весной этот показатель в парке Победы был выше из-за единичного аномально большого значения  $10.24 \text{ мг} \cdot 10^{-2}$  г сырого веса в марте. Это, по-видимому, связано с локальным попаданием загрязнителя на макрофиты. Подобная картина наблюдалась и с количеством общих липидов. Среднегодовое количество ХЭВ в поверхностном загрязнении б. Круглой составляло  $2.41 \pm 0.28 \text{ мг} \cdot 10^{-2}$  г, а в парке Победы —  $2.03 \pm 0.7$ ; общих липидов —  $0.63 \pm 0.2$  и  $0.36 \pm 0.03 \text{ мг} \cdot 10^{-2}$  г соответственно. Количество нефтяных углеводородов также было выше в б. Круглой за весь период наблюдений, кроме мартовского выброса, за счёт которого среднегодовое количество НУ в парке Победы оказалось выше —  $0.37 \pm 0.26$  против  $0.22 \pm 0.06 \text{ мг} \cdot 10^{-2}$  г.

**Таблица 2.** Среднесезонная концентрация ХЭВ, общих липидов и нефтяных углеводородов ( $\text{мг} \cdot 10^{-2}$  мг сухого веса) в цистозире и микроперифитоне штормовых выбросов

**Table 2.** Average seasonal concentrations of chloroform-extracted substances, total lipids and oil hydrocarbons ( $\text{mg} \cdot 10^{-2}$  mg of dry weight) in *Cystoseira* and microperiphyton of storm casts

	Цистозира		Микроперифитон	
	б. Круглая	парк Победы	б. Круглая	парк Победы
Зима				
ХЭВ	2.38±0.13	2.52±0.11	3.34±1.01	1.48±0.84
Общие липиды	0.99±0.07	0.85±0.15	0.94±0.51	0.53±0.39
НУ	0.12±0.01	0.15±0.02	0.38±0.13	0.15±0.09
Весна				
ХЭВ	3.23±0.09	1.36±0.12	3.50±0.33	2.19±1.06
Общие липиды	1.58±0.66	0.62±0.19	1.01±0.29	0.43±0.23
НУ	0.09±0.02	0.12±0.02	0.23±0.04	0.46±0.38
Лето				
ХЭВ	2.10±0.01	1.48±0.51	3.52±0.01	1.57±0.43
Общие липиды	1.10±0.01	0.76±0.16	1.71±0.01	0.61±0.15
НУ	0.14±0.01	0.06±0.03	0.19±0.01	0.17±0.03
Осень				
ХЭВ	3.64±0.76	1.70±0.36	2.22±0.12	1.04±0.15
Общие липиды	1.38±0.06	0.58±0.06	0.61±0.01	0.22±0.07
НУ	0.21±0.03	0.10±0.03	0.22±0.01	0.22±0.05

Количество ХЭВ в цистозире штормовых выбросов также достоверно было больше в б. Круглой. Среднегодовое значение содержания ХЭВ в б. Круглой —  $2.84 \pm 0.36 \text{ мг} \cdot 10^{-2}$  мг, а в парке Победы —  $1.76 \pm 0.26$  (табл. 2).

Количество общих липидов имело ту же закономерность:  $1.26 \pm 0.13$  и  $0.69 \pm 0.06 \text{ мг} \cdot 10^{-2}$  мг соответственно, то есть было практически вдвое выше в б. Круглой. Интересно отметить, что концентрации НУ зимой и весной были выше в парке Победы, а летом и осенью — в б. Круглой. Это, возможно, связано с увеличивающейся в летне-осеннее время антропогенной нагрузкой на акваторию б. Круглой, в частности с наличием большого количества источников хозяйственно-бытовых стоков по периметру бухты.

Исходя из данных табл. 2, можно сказать, что количество ХЭВ, общих липидов и нефтяных углеводородов в микроперифитоне с цистозире штормовых выбросов также было выше в б. Круглой. При этом максимальное значение количества ХЭВ было отмечено летом ( $3.52 \pm 0.01 \text{ мг} \cdot 10^{-2}$  мг). Среднегодовое количество ХЭВ в б. Круглой составило  $3.15 \pm 0.31$ , в парке Победы —  $1.57 \pm 0.24 \text{ мг} \cdot 10^{-2}$  мг, общих липидов —  $1.07 \pm 0.23$  и  $0.45 \pm 0.08 \text{ мг} \cdot 10^{-2}$  мг, нефтяных углеводородов —  $0.26 \pm 0.04$  и  $0.25 \pm 0.07 \text{ мг} \cdot 10^{-2}$  мг соответственно. То есть количество ХЭВ и общих липидов в б. Круглой было практически в 2 раза выше, чем в парке Победы, а нефтяных углеводородов — почти одинаковым.

**Выводы. 1.** Впервые получены данные о количестве ХЭВ, общих липидов и НУ в береговых выбросах цистозире в прибрежной зоне Севастополя, которые в среднем составили: для ХЭВ  $2.84 \pm 0.36 \text{ мг} \cdot 10^{-2}$  мг в б. Круглой и  $1.76 \pm 0.26$  в парке Победы, для общих липидов —  $1.26 \pm 0.13$  и  $0.69 \pm 0.06 \text{ мг} \cdot 10^{-2}$  мг, для НУ —  $0.14 \pm 0.02$  и  $0.11 \pm 0.02 \text{ мг} \cdot 10^{-2}$  мг соответственно. **2.** Полученные данные свидетельствуют о более высоких уровнях содержания хлороформ-экстрагируемых веществ, об-

щих липидов и нефтяных углеводородов в макрофитах в б. Круглой по сравнению с таковыми в акватории парка Победы. **3.** Береговые выбросы цистозирры могут быть источником вторичного загрязнения нефтяными углеводородами прибрежных акваторий.

Работа выполнена в рамках госзадания ФГБУН ИМБИ по теме «Создание методов и технологий оперативного контроля экологического состояния биоты, оценки и прогноза качества морской среды» (гос. рег. № 1001-2014-0016).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Блинова Е. И., Сабурин М. Ю. Штормовые выбросы макрофитов. Условия формирования и влияние на экологическое состояние моря (на примере Анапской бухты, Чёрное море) // *Труды ВНИРО*. 2005. Т. 144. С. 286–293. [Blinova E. I., Saburin M. Yu. Shtormovye vybrosy makrofitov. Usloviya formirovaniya i vliyanie na ekologicheskoe sostoyanie morya (na primere Anapskoi bukhty, Chernoe more). *Trudy VNIRO*, 2005, vol. 144, pp. 286–293. (in Russ.)].
2. Жильцова Л. В. Штормовые выбросы макрофитов в Приморье: источник загрязнения моря или полезное сырьё? // *Вестник Морского государственного университета. Серия: Теория и практика защиты моря*. Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2011. Вып. 48/2011. С. 7–12. [Zhiltsova L. V. Shtormovye vybrosy makrofitov v Primor'e: istochnik zargyazneniya morya ili poleznoe syr'e. *Vestnik Morskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Teoriya i praktika zashchity morya*. Vladivostok: Mor. gos. un-t, 2011, iss. 48/2011, pp. 7–12. (in Russ.)].
3. Калугина-Гутник А. А. *Фитобентос Чёрного моря*. Киев: Наукова думка, 1975. 247 с. [Kalugina-Gutnik A. A. *Fitobentos Chernogo morya*. Kiev: Naukova dumka, 1975, 247 p. (in Russ.)].
4. Леоненко И. И., Антонович В. П., Андрианов А. М., Безлущкая И. В., Цымбалюк К. К. Методы определения нефтепродуктов в водах и других объектах окружающей среды (обзор) // *Методы и объекты химического анализа*. 2010. Т. 5, № 2. С. 58–72. [Leonenko I. I., Antonovich V. P., Andrianov A. M., Bezlutskaaya I. V., Tsymbalyuk K. K. Metody opredeleniya nefteproduktov v vodakh i drugikh ob'ektakh okruzhayushei sredy (obzor). *Metody i ob'ekty khimicheskogo analiza*, 2010, vol. 5, no. 2, pp. 58–72. (in Russ.)].
5. Миронов О. А. *Нефтяные углеводороды в массовых организмах зарослевых сообществ прибрежной зоны Севастополя (Чёрное море)* : автореф. дис. ... канд. биол. наук : 03.02.10. Севастополь, 2014. 24 с. [Mironov O. A. *Neftyanye uglevodorody v massovykh organizmakh zaroslevykh soobshchestv pribrezhnoy zony Sevastopolya (Chernoe more)* : avtoref. dis. ... kand. biol. nauk : 03.02.10. Sevastopol, 2014, 24 p. (in Russ.)].
6. Миронов О. Г. Техногенное воздействие нефтяных углеводородов на прибрежную зону моря // *Вестник СевНТУ*. 2005. Вып. 39. С. 132–137. [Mironov O. G. Tekhnogennoe vozdeistvie neftyanykh uglevodorodov na pribrezhnyuyu zonu morya. *Vestnik SevNTU*, 2005, iss. 39, pp. 132–137. (in Russ.)].
7. *Санитарно-биологические исследования в прибрежной акватории региона Севастополя* / ред. О. Г. Миронов; ИнБЮМ НАН Украины. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2009. 192 с. [Sanitarno-biologicheskie issledovaniya v pribrezhnoi akvatorii regiona Sevastopolya / red. O. G. Mironov; InBYuM NAN Ukrainy. Sevastopol: EKOSI-Gidrofizika, 2009, 192 p. (in Russ.)].
8. Смирнов Г. Н. *Океанология*. Москва: Высшая школа, 1987. 407 с. [Smirnov G. N. *Okeanologiya*. Moscow: Vysshaya shkola, 1987, 407 p. (in Russ.)].
9. Тихонова Е. А. Многолетняя динамика загрязнения органическими веществами донных осадков бухты Круглая (Севастополь, Чёрное море) // *Морской биологический журнал*. 2016. Т. 1, № 1. С. 70–75. [Tikhonova E. A. Mnogoletnyaya dinamika zagryazneniya organicheskimi veshchestvami donnykh osadkov bukhty Kruglaya (Sevastopol, Chernoe more). *Morskoy biologicheskij zhurnal*, 2016, vol. 1, no. 1, pp. 70–75. (in Russ.)].

**OIL HYDROCARBONS AND TOTAL LIPIDS  
IN THE COASTAL CASTS OF *CYSTOSEIRA BARBATA* (STACKH.) C. AGARDH  
IN THE LITTORAL ZONE OF SEVASTOPOL (BLACK SEA)**

**O. A. Mironov, I. P. Muraviova**

Kovalevsky Institute of Marine Biological Research RAS, Sevastopol, Russian Federation

E-mail: [mironov87@gmail.com](mailto:mironov87@gmail.com)

The coastal zone of Sevastopol, especially the recreational part, feels great anthropogenic impact due to hosting a large number of tourists, but also because of the urban and stormwater discharge, containing oil hydrocarbons in its composition. Brown algae *Cystoseira barbata* forms vast underwater thickets here. Cut off from the substrate algae are at the edge of the water, mixed with coastal casts, resulting in secondary pollution of both coastline and coastal waters. At the same time freshly detached plants are used by representatives of different taxonomic groups and are actively involved in the food chain. In this context, the aim of this work is to study the lipid-hydrocarbon composition of *Cystoseira* from the coastal storm casts. The amount of oil hydrocarbons was determined by gravimetric method and the amount of lipids by color reaction with phospho-vanillin reagent. The results obtained indicate higher levels of chloroform-extracted substances, total lipids and oil hydrocarbons in macrophytes of Kruglaya Bay in comparison with the levels in water area of Park Pobedy. Onshore casts of *Cystoseira* may be the source of secondary pollution of the coastal waters by oil hydrocarbons.

**Keywords:** *Cystoseira*, oil hydrocarbons, total lipids, secondary pollution



УДК 597.42/.55:591.4(28)(470.6)

**МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОПУЛЯЦИЙ  
ПУХЛОЩЁКОЙ ИГЛЫ-РЫБЫ *SYNGNATHUS ABASTER* RISSO, 1827  
(PISCES, ACTINOPTERYGII, SYNGNATHIDAE) ИЗ НЕКОТОРЫХ ВОДОЁМОВ  
СЕВЕРНОГО КАВКАЗА**

© 2017 г. **А. Н. Пашков**, канд. биол. наук, зам. рук. отд.

Краснодарское отделение Азовского научно-исследовательского института рыбного хозяйства,  
Краснодар, Россия  
E-mail: [apashkov@mail.ru](mailto:apashkov@mail.ru)

Поступила в редакцию 20.05.2017 г. Принята к публикации 23.06.2017 г.

Приводятся сведения по величинам 6 меристических и 20 пластических признаков, а также по основным линейно-массовым характеристикам пухлощёкой иглы-рыбы из трёх водоёмов Северного Кавказа (озёр Сазальникское и Старая Кубань, Чограйского водохранилища). Обнаружены статистически значимые отличия между популяциями по средним значениям большинства пластических и меристических показателей. Установлено, что наиболее высокой степенью морфологической обособленности характеризуется популяция из Чограйского водохранилища. Обсуждаются возможные пути проникновения вида в изученные водоёмы.

**Ключевые слова:** пухлощёкая игла-рыба, *Syngnathus abaster*, линейно-массовые показатели, меристические признаки, пластические признаки, изменчивость

Пухлощёкая игла-рыба *Syngnathus abaster* Risso, 1827 (Pisces, Actinopterygii, Syngnathidae) широко распространена в морях средиземноморского бассейна, в т. ч. в Средиземном, Эгейском, Мраморном, Чёрном и Азовском, в Атлантическом океане у берегов Европы и Северной Африки, а также в Каспийском море [4, 22, 23].

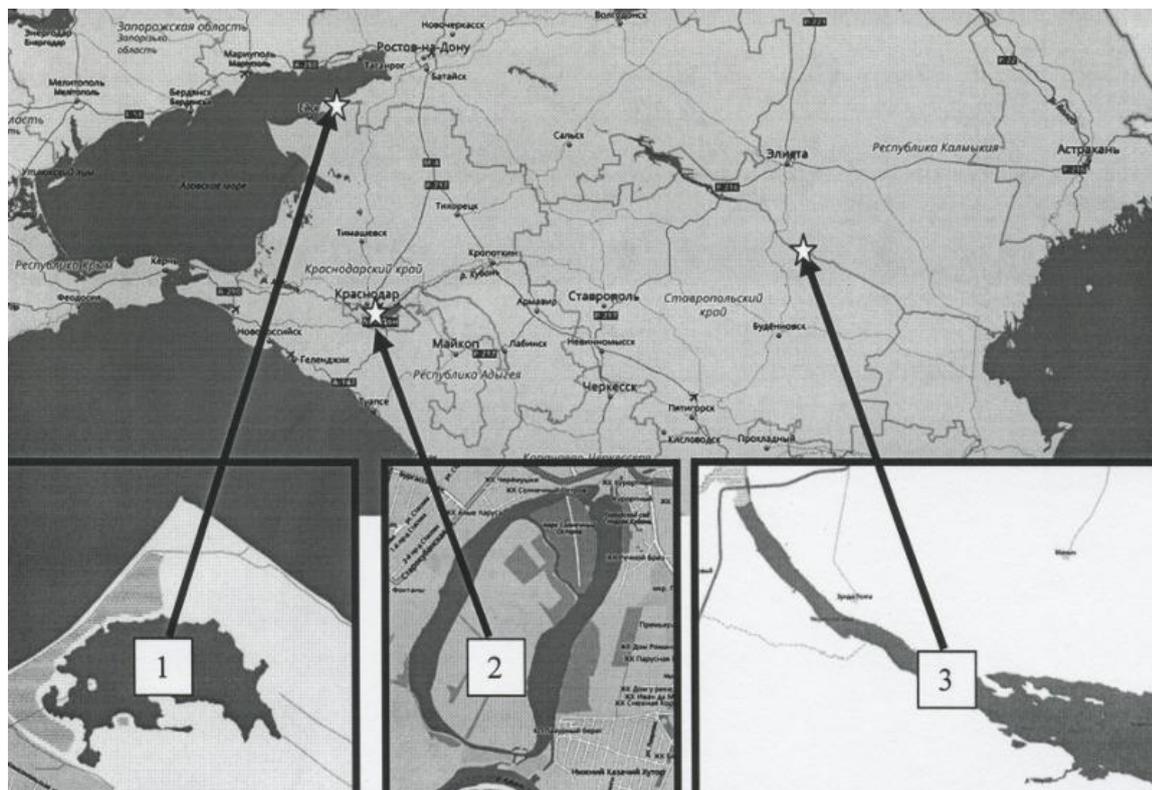
Специалистами давно отмечены её эвригалинность и способность обитать в водах с различной солёностью — от морских до пресных. В частности, пухлощёкая игла-рыба зарегистрирована в бассейнах рек Днестр, Буг, Днепр, Дунай, Прут, Дон, Волга, Урал, Терек, в ряде внутренних водных объектов Крыма, в Азово-Кубанских лиманах [6, 7, 22–25].

В последние годы наблюдается широкая экспансия этого вида в пресноводные водоёмы Северного Кавказа с образованием в них устойчивых популяций [30]. Распространению *S. abaster* способствует зарегулирование стока рек в сочетании с широкой пластичностью вида в отношении солёности воды. В частности, к настоящему времени пухлощёкая игла-рыба заселила нижнее течение р. Кубань, включая Краснодарское водохранилище и некоторые пойменные водоёмы [5, 14, 19], бассейн Сазальникского озера [17], а также Чограйское водохранилище [16, 20].

Целью данной работы являлось изучение основных меристических и пластических признаков популяций пухлощёкой иглы-рыбы из трёх водоёмов Северного Кавказа и оценка степени их сходства как по значениям отдельных признаков, так и по их комплексу.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Материалом для настоящей работы послужили результаты изучения 129 экземпляров пухлощёкой иглы-рыбы, отловленных с использованием мальковой волокуши из хамсероса в нескольких водоёмах Северного Кавказа: озере Старая Кубань, Чограйском водохранилище и озере Сазальникском (Долгом, Сазальницком) (рис. 1).



**Рис. 1.** Карта-схема размещения изученных водоёмов: 1 — оз. Сазальникское; 2 — оз. Старая Кубань; 3 — Чограйское вдхр.

**Fig. 1.** Schematic map of the studied water bodies: 1 – Sazal'nikskoe Lake; 2 – Staraya Kuban Lake; 3 – Chograi Reservoir

Озеро Сазальникское расположено на мысе Сазальник в географических координатах  $46.8657^{\circ}$  с. ш. и  $38.4958^{\circ}$  в. д. (центр). Его гидрологический режим формируется за счёт атмосферных осадков и поступления вод из Азовского моря. Попадание в озеро азовской воды происходит во время нагонных ветров через искусственный канал, примыкающий к его восточной части. Вдоль берегов водоёма интенсивно развита высшая водная растительность. Грунт преимущественно илистый и ракушечный [17].

Озеро Старая Кубань — расположенная в черте г. Краснодара старица р. Кубань. Водоём состоит из восточной (холодной) и западной (тёплой) ветвей, разделённых дамбой. Из холодной ветви осуществляется водозабор для Краснодарской ТЭЦ, а в тёплую, в которой были отловлены рыбы, сбрасывается отработанная нагретая вода [18]. Через систему шлюзов обе ветви озера в его южной части соединены с основным руслом р. Кубань.

Чограйское водохранилище — одно из крупнейших на Северном Кавказе. Оно было создано в долине р. Восточный Маныч и введено в эксплуатацию в 1969 г. Его площадь при нормальном подпорном уровне составляет 17 400 га. В настоящее время водоём питается водами рек Терек и Кума, поступающими по Терско-Кумскому каналу, и водами местного стока от балок Голудь, Чограй и Рагули [1, 16].

Пойманные рыбы фиксировались и хранились в 4 % растворе формальдегида. У всех изученных особей определяли абсолютную длину ( $TL$ ), длину тела до начала хвостового плавника ( $SL$ ) и массу тела ( $M$ ), а затем изучали морфологические (меристические и пластические) признаки.

Из меристических признаков подсчитывали: число лучей в спинном ( $D$ ) и грудных плавниках ( $P$ ), количество туловищных ( $\kappa_m$ ), хвостовых ( $\kappa_x$ ), субдорсальных колец ( $\kappa_c$ ) и общее число колец ( $\kappa_{общ}$ ). Из пластических признаков измеряли: максимальную высоту тела ( $H$ ), минимальную высоту тела ( $h$ ), максимальную толщину тела ( $iH$ ), антедорсальное ( $aD$ ), постдорсальное ( $pD$ ) и антеанальное ( $aA$ ) расстояния, длину хвостового стебля ( $pl$ ), длину основания ( $ID$ ) и высоту наибольшего луча ( $hD$ ) спинного плавника, высоту наибольшего луча ( $hA$ ) и длину основания ( $IP$ ) грудного плавника, высоту наибольшего луча грудного плавника ( $hP$ ), антепектральное расстояние ( $aP$ ), длину наибольшего луча хвостового плавника ( $IC$ ), длину головы ( $c$ ), высоту головы на уровне глаза ( $hc$ ), длину рыла ( $r$ ), горизонтальный диаметр глаза ( $o$ ), посторбитальное расстояние ( $po$ ), ширину лба ( $io$ ).

Измерение пластических признаков рыб производили штангенциркулем с точностью до 0.1 мм, по левому боку. Все операции выполнял один оператор.

Взвешивание рыб производили на электронных весах CAS MW-150T с точностью до 0.01 г.

Полученные данные обработали с применением методов как вариационной, так и многомерной статистики [12, 26, 27]. При этом использовали абсолютные величины меристических признаков. Значения пластических признаков нормировали на длину тела ( $SL$ ) или на длину головы ( $c$ ) — для признаков, измеряемых на голове.

Общий объём обработанного материала по отдельным водоёмам был следующим: оз. Сазальникское — 39 экз., оз. Старая Кубань — 43 экз., Чограйское вдхр. — 47 экз.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

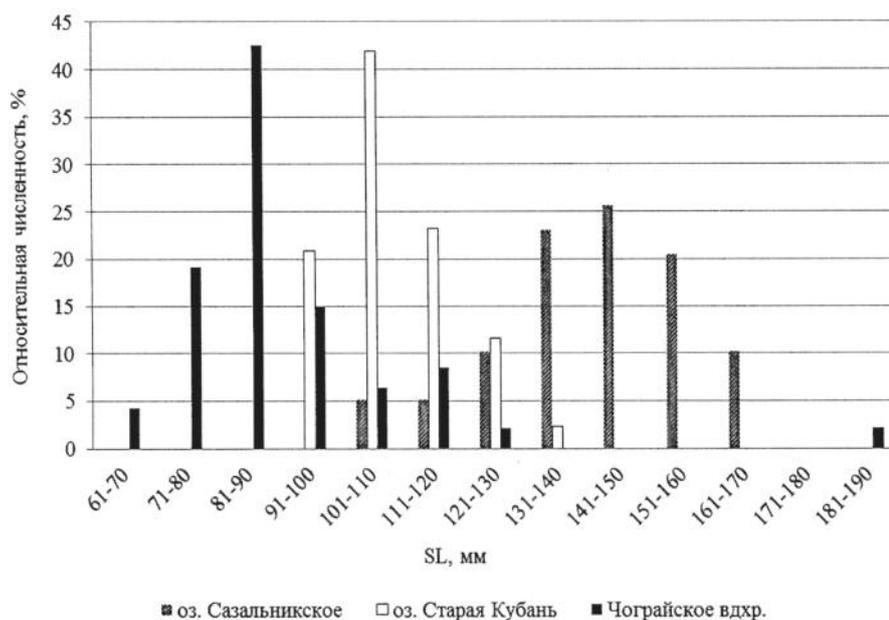
Основные линейно-массовые показатели изученных выборок пухлощёкой иглы-рыбы из трёх водоёмов приведены в табл. 1. Наиболее крупными размерами характеризовались особи из Сазальникского озера, имеющего гидрологическую связь с Азовским морем и характеризующегося более высокой минерализацией воды в сравнении с таковой двух других водоёмов. Достоверность имеющихся отличий в средних значениях длины и массы тела рыб в парах водоёмов оз. Сазальникское — оз. Старая Кубань и оз. Сазальникское — Чограйское вдхр. подтверждена на высоких уровнях значимости (во всех случаях — менее 0.001) при проведении попарных сравнений с использованием t-критерия Стьюдента.

**Таблица 1.** Основные линейно-массовые показатели пухлощёкой иглы-рыбы из трёх водоёмов Северного Кавказа

**Table 1.** The main length-weight characteristics of the black-striped pipefish from three North Caucasian water bodies

Водоём	$SL$ , мм		$M$ , г	
	$\bar{x} \pm m_{\bar{x}}$	min – max	$\bar{x} \pm m_{\bar{x}}$	min – max
Озеро Сазальникское	141±2.5	102–162	1.25±0.064	0.44–2.15
Озеро Старая Кубань	108±1.4	92–133	0.47±0.027	0.19–0.88
Чограйское водохранилище	91±2.9	67–190	0.33±0.063	0.11–3.05

Рыбы из оз. Сазальникского отличались от рыб из двух других водоёмов и линейной структурой. Среди них количественно преобладали особи длиной ( $SL$ ) 131–160 мм, в то время как в оз. Старая Кубань доминировали рыбы длиной 101–110 мм, а в Чограйском вдхр. — 81–90 мм (рис. 2).



**Рис. 2.** Гистограммы размерной структуры популяций пухлощёкой иглы-рыбы из изученных водоёмов

**Fig. 2.** Histogram of the length structure of the populations of the black-striped pipefish in the studied water bodies

Средние, минимальные, максимальные значения меристических признаков и коэффициенты их вариации у пухлощёкой иглы-рыбы из озёр Сазальникское и Старая Кубань, а также из Чограйского водохранилища приведены в табл. 2.

Коэффициенты вариации всех изученных меристических признаков пухлощёкой иглы-рыбы из озёр Сазальникское и Старая Кубань, а также из Чограйского водохранилища не превышали 10 %. Таким образом, уровень их изменчивости можно считать низким. Наиболее высокая изменчивость меристических признаков наблюдалась в популяции пухлощёкой иглы-рыбы из оз. Старая Кубань, где коэффициенты вариации трёх признаков из шести изученных были выше, чем таковые в двух других водоёмах.

Из исследованных меристических признаков наименьшим варьированием во всех трёх водоёмах характеризовались признаки «общее число колец» и «число хвостовых колец». Признаки с максимальным варьированием во всех водоёмах были разными (табл. 2). Анализ данных, представленных в табл. 2, показывает существование определённых отличий в средних значениях меристических признаков рыб из трёх водоёмов. Результаты однофакторных дисперсионных анализов, где в качестве фактора выступал водоём, а в качестве зависимых признаков — значения отдельных меристических показателей, выявили статистически достоверное влияние фактора «водоём» на величину всех меристических показателей (табл. 3).

Попарные сравнения средних значений меристических признаков рыб из разных водоёмов с помощью t-критерия Стьюдента показали, что наибольшей степенью сходства характеризуются популяции анализируемого вида из озёр Сазальникское и Старая Кубань. Для этой пары водоёмов статистически достоверные отличия обнаружены по трём меристическим признакам из шести (50 %). Наибольшая степень отличий была характерна для популяций пухлощёкой иглы-рыбы из оз. Сазальникское и Чограйского вдхр. Они достоверно отличались по средним значениям всех шести меристических признаков (100 %). Популяции данного вида из оз. Старая Кубань и Чограйского вдхр. отличались по пяти меристическим признакам из шести (83 %).

**Таблица 2.** Меристические признаки пухлощёкой иглы-рыбы из изученных водоёмов и коэффициенты их вариации

**Table 2.** Meristic characteristics of the black-striped pipefish from the studied water bodies and the coefficients of their variation

Признак	Значение признака		Cv, %
	$\bar{x} \pm m_{\bar{x}}$	min – max	
оз. Сазальникское			
$K_m$	16.3±0.08	15.0 – 17.0	3.2
$K_x$	38.5±0.11	37.0 – 40.0	1.9
$K_c$	8.4±0.09	7.0 – 9.0	7.0
$K_{общ}$	54.8±0.13	53.0 – 57.0	1.5
$P$	11.6±0.10	11.0 – 13.0	4.8
$D$	35.0±0.29	30.0 – 37.0	4.6
оз. Старая Кубань			
$K_m$	15.7±0.09	15.0 – 17.0	3.6
$K_x$	37.7±0.14	35.0 – 39.0	2.5
$K_c$	8.2±0.08	7.0 – 9.0	5.9
$K_{общ}$	53.4±0.16	50.0 – 55.0	1.9
$P$	11.4±0.09	11.0 – 12.0	4.3
$D$	35.7±0.38	31.0 – 39.0	5.2
Чограйское вдхр.			
$K_m$	14.8±0.09	14.0 – 16.0	4.2
$K_x$	38.1±0.10	36.0 – 40.0	1.8
$K_c$	8.9±0.04	8.0 – 9.0	3.1
$K_{общ}$	61.9±0.14	59.0 – 64.0	1.6
$P$	11.9±0.04	11.0 – 12.0	2.3
$D$	37.6±0.16	32. – 39.0	2.9

Примечания: расшифровка условных обозначений меристических признаков приведена в разделе «Материал и методы»; Cv — коэффициент вариации

Для выяснения степени сходства по меристическим признакам популяций пухлощёкой иглы-рыбы из изученных нами водоёмов и других водоёмов видового ареала была использована модель кластерного анализа. Для проведения расчётов использовались средние значения меристических признаков популяций этого вида из р. Днестр и Тендровского залива, относящихся к бассейну Чёрного моря, из Бердянского залива, относящегося к бассейну Азовского моря [13], а также из озёр Сазальникское и Старая Кубань и Чограйского вдхр.

Результаты анализа показали, что на уровне связи около 1.4 образуются три кластера водоёмов (рис. 3). В первый вошли рыбы только из Чограйского вдхр., во второй — из Тендровского залива и р. Днестр, а в третий — из Бердянского залива и озёр Сазальникское и Старая Кубань. Таким образом, второй кластер сформировали популяции пухлощёкой иглы-рыбы из бассейна Чёрного моря, а третий — из бассейна Азовского.

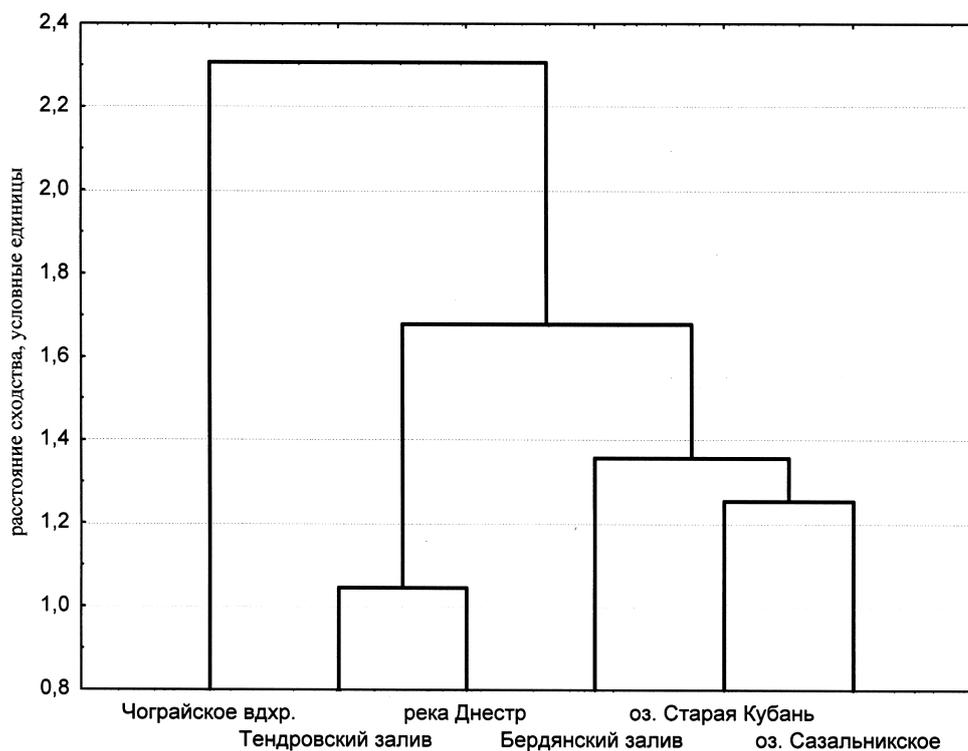
Средние значения пластических признаков и коэффициенты их вариации у рыб из исследованных водоёмов приведены в табл. 4. Наиболее высокая изменчивость пластических признаков наблюдалась у пухлощёкой иглы-рыбы из Чограйского вдхр., где коэффициенты вариации 11 признаков из 20 изученных были выше, чем таковые в двух других водоёмах.

**Таблица 3.** Результаты однофакторных дисперсионных анализов по оценке влияния водоёма на величину меристических признаков пухлощёкой иглы-рыбы

**Table 3.** Results of single-factor dispersion analysis in assessing the effect of the water body on the magnitude of the meristic characteristics of the black-striped pipefish

Признак	SS	df	MS	SS	df	MS	F	p
	Effect	Effect	Effect	Error	Error	Error		
$\kappa_m$	50.9	2	25.4	38.8	125	0.3	82.04	< 0.001
$\kappa_x$	11.4	2	5.7	75.8	125	0.6	9.42	< 0.001
$\kappa_c$	12.1	2	6.1	25.7	125	0.2	29.59	< 0.001
$\kappa_{общ}$	53.4	2	26.7	142.0	125	1.1	23.49	< 0.001
$P$	6.2	2	3.1	19.0	104	0.9	17.12	< 0.001
$D$	143.9	2	72.0	217.2	100	2.2	33.11	< 0.001

Примечания: SS Effect — факториальная сумма квадратов отклонений; MS Effect — факториальный средний квадрат отклонений; df Effect — факториальное число степеней свободы; SS Error — остаточная сумма квадратов отклонений; MS Error — остаточный средний квадрат отклонений; df Error — остаточное число степеней свободы; F — фактическое значение критерия Фишера; p — уровень значимости (влияние достоверно, если  $p < 0,050$ ); расшифровка условных обозначений признаков приведена в разделе «Материал и методы»



**Рис. 3.** Результаты кластерного анализа степени сходства популяции пухлощёкой иглы-рыбы из разных водоёмов её ареала по меристическим признакам

**Fig. 3.** Results of a cluster analysis of the similarity degree of the populations of the black-striped pipefish from different water bodies of its range according to meristic characters

**Таблица 4.** Средние значения пластических признаков пухлощёкой иглы-рыбы из изученных водоёмов и коэффициенты их вариации**Table 4.** Average values of the plastic characteristics of the black-striped pipefish from the studied water bodies and the coefficients of their variation

Признак	Озеро Сазальникское		Озеро Старая Кубань		Чограйское вдхр.	
	$\bar{x} \pm m_{\bar{x}}$	$Cv, \%$	$\bar{x} \pm m_{\bar{x}}$	$Cv, \%$	$\bar{x} \pm m_{\bar{x}}$	$Cv, \%$
<i>H / l</i>	3.2±0.05	9.9	2.9±0.08	17.9	2.8±0.04	9.8
<i>h / l</i>	0.7±0.02	18.1	0.6±0.03	32.4	0.8±0.06	51.4
<i>iH / l</i>	2.8±0.04	9.0	2.6±0.07	17.5	2.5±0.03	8.2
<i>aD / l</i>	37.8±0.16	2.7	38.5±0.14	2.4	37.7±0.21	3.8
<i>pD / l</i>	49.6±0.21	2.7	48.8±0.22	2.9	48.0±0.34	4.9
<i>aA / l</i>	38.6±0.17	2.8	38.0±0.19	3.2	38.5±0.29	5.2
<i>aP / l</i>	13.2±0.13	6.2	13.5±0.11	5.3	13.6±0.13	6.6
<i>pl / l</i>	59.2±0.19	2.0	60.8±0.22	2.3	59.6±0.47	5.4
<i>ID / l</i>	11.5±0.15	8.3	11.1±0.17	9.9	13.1±0.12	6.3
<i>hD / l</i>	2.7±0.07	16.4	2.6±0.07	17.5	2.7±0.07	17.8
<i>hA / l</i>	0.9±0.04	28.1	0.7±0.05	46.3	1.4±0.05	24.5
<i>IP / l</i>	1.4±0.04	18.1	1.5±0.04	17.3	1.7±0.04	16.1
<i>hP / l</i>	2.0±0.04	12.7	2.1±0.05	15.4	2.1±0.04	13.1
<i>IC / l</i>	3.0±0.07	14.8	3.0±0.07	15.1	3.2±0.08	17.1
<i>c / l</i>	12.4±0.10	5.1	12.7±0.12	6.1	12.5±0.08	4.4
<i>hc / c</i>	17.2±0.25	9.2	17.6±0.29	10.7	18.7±0.23	8.4
<i>r / c</i>	46.3±0.82	11.2	47.0±0.64	8.8	43.7±0.46	7.2
<i>o / c</i>	13.4±0.26	12.3	15.6±0.33	13.7	17.3±0.50	19.8
<i>po / c</i>	37.1±0.51	8.7	37.9±0.52	8.9	40.1±0.55	9.4
<i>io / c</i>	8.7±0.31	22.5	7.6±0.28	23.9	3.7±0.18	33.4

Примечание: расшифровка условных обозначений приведена в разделе «Материал и методы»

Из изученных пластических признаков наименьшим варьированием в озёрах Сазальникское и Старая Кубань характеризовались антедорсальное и постдорсальное расстояния и длина хвостового стебля, а в Чограйском водохранилище — антедорсальное расстояние, постдорсальное расстояние и длина головы.

Признаки с наибольшим варьированием в разных водоёмах также были различными: в оз. Сазальникском — высота наибольшего луча анального плавника и ширина лба, в оз. Старая Кубань — минимальная высота тела и высота наибольшего луча анального плавника, в Чограйском вдхр. — минимальная высота тела и ширина лба (табл. 4).

Оценка степени влияния водоёма на относительную величину пластических признаков, проведённая с использованием модели однофакторного дисперсионного анализа, где влияющим фактором выступал водоём, а зависимыми признаками — значения отдельных пластических показателей, показала, что воздействие фактора «водоём» на величину 16 пластических признаков из 20 изученных было статистически достоверным (80 %). И только на величину четырёх показателей (антеанального расстояния, высоты наибольшего луча спинного плавника, высоты наибольшего луча грудного плавника и длины наибольшего луча хвостового плавника) этот фактор воздействия не оказывал.

Попарное сравнение средних значений пластических признаков пухлощёкой иглы-рыбы из трёх водоёмов с помощью t-критерия Стьюдента показало, что наибольшей степенью сходства характеризуются популяции изучаемого вида из озёр Сазальникское и Старая Кубань. Для этой пары водоёмов

статистически достоверные отличия обнаружены по 10 признакам из 20 (50 %). Максимальная степень различий была характерна для популяций пухлощёкой иглы-рыбы из оз. Сазальникского и Чограйского вдхр. Они отличались по 12 пластическим признакам (60 %).

Таким образом, в результате серии проведённых расчётов было выяснено, что изученные популяции пухлощёкой иглы-рыбы отличаются по большому количеству признаков. Выявлено статистически достоверное влияние фактора «водоём» на величину 100 % меристических и 80 % пластических показателей.

Для изучения степени сходства трёх популяций по комплексу меристических и пластических признаков был применён один из методов многомерной статистики — дискриминантный анализ, позволяющий классифицировать многомерное наблюдение в одну или несколько совокупностей и найти комбинации признаков, наилучшим образом разделяющие эти совокупности, а также ранжировать признаки по степени их информативности и найти расстояние между классифицируемыми группами [26, 27]. Для его проведения были сформированы три группы рыб, соответствующие водоёмам («оз. Сазальникское», «оз. Старая Кубань» и «Чограйское вдхр.»).

Дискриминантный анализ по комплексу из всех изученных признаков (как пластических, так и меристических) показал, что точность отнесения рыб к априори выделенным группам оказалась очень высокой: для группы «оз. Сазальникское» — 96.9 %, для групп «оз. Старая Кубань» и «Чограйское вдхр.» — по 100.0 %.

В пространстве двух дискриминантных функций априори выделенные группы пухлощёкой иглы-рыбы образовали три чётко разделяющихся облака. В пространстве первой дискриминантной функции, учитывающей наибольший процент дисперсии статистического комплекса, одну группу образовали рыбы из озёр Сазальникское и Старая Кубань, вторую — из Чограйского водохранилища (рис. 4). Вторая дискриминантная функция также разделила рыб на две группы: одну группу образовали рыбы из оз. Сазальникского и Чограйского вдхр., другую — рыбы из оз. Старая Кубань.

Таким образом, две дискриминантные функции чётко разделили рыб по признаку их принадлежности к определённому водоёму на три группы.

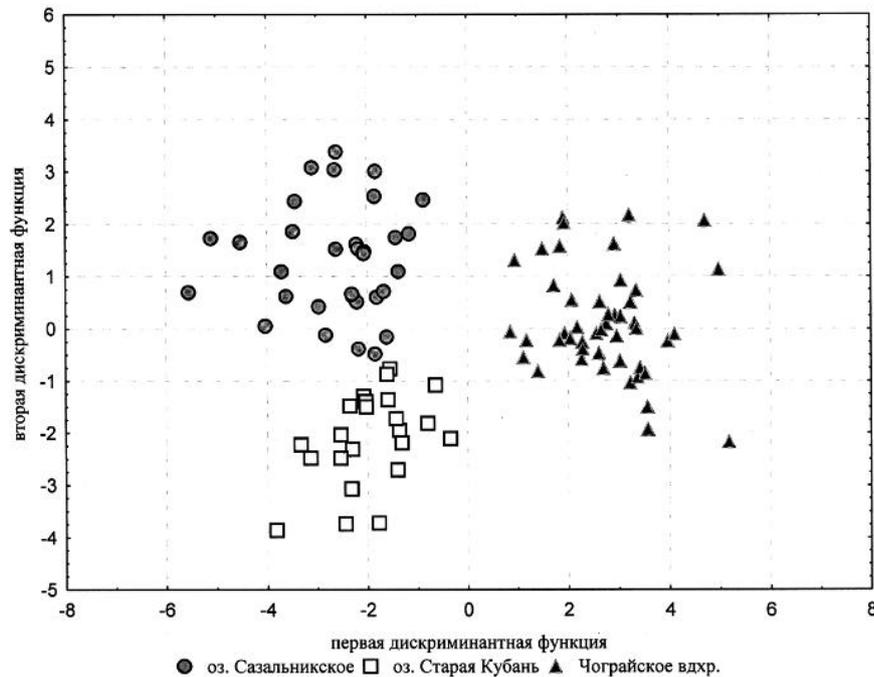
Величины расстояний Махаланобиса между центрами групп из разных водоёмов являлись статистически достоверными. Наибольшей степенью сходства по комплексу признаков характеризовались популяции изученного вида из озёр Сазальникское и Старая Кубань. Максимальные отличия были характерны для рыб из оз. Сазальникского и Чограйского вдхр. (табл. 5). Таким образом, результаты дискриминантного анализа по комплексу признаков подтвердили результаты попарных сравнений средних значений отдельных показателей с помощью t-критерия Стьюдента.

**Таблица 5.** Расстояния Махаланобиса между центрами групп пухлощёкой рыбы-иглы, полученные по результатам дискриминантного анализа

**Table 5.** Mahalanobis distances between centers of groups of the black-striped pipefish, obtained from the results of the discriminant analysis

Группа	Озеро Сазальникское	Озеро Старая Кубань	Чограйское водохранилище
Озеро Сазальникское	–	12.4	30.6
Озеро Старая Кубань	< 0.001	–	27.5
Чограйское водохранилище	< 0.001	< 0.001	–

Примечание: выше главной диагонали — расстояния Махаланобиса, ниже — уровень значимости (отличия достоверны, если значения уровня значимости < 0.050)



**Рис. 4.** Распределение групп пухлощёкой рыбы-иглы из трёх водоёмов в пространстве дискриминантных функций по комплексу морфологических признаков

**Fig. 4.** Distribution of the groups of the black-striped pipefish from three water bodies in the space of discriminant functions according to the complex of morphological characters

Вклад различных признаков в дискриминацию групп отличался. Так как наибольший процент дисперсии учитывает первая дискриминантная функция, их вклад в разделение групп оценён на основе значений именно этой функции (табл. 6).

Наибольший вклад в дискриминацию групп вносили признаки с ранговым номером от одного до трёх. Они характеризовались стандартизованными значениями дискриминантной функции от 0.422 до 0.548. Стандартизованные значения дискриминантной функции по остальным признакам были значительно ниже (менее 0.292). Следовательно, наибольший вклад в разделение групп пухлощёкой иглы-рыбы из трёх водоёмов внесли следующие признаки: высота наибольшего луча анального плавника, число туловищных колец и длина основания спинного плавника.

Таким образом, очевидно, что из трёх сравниваемых групп наибольшей степенью морфологической обособленности характеризуется популяция пухлощёкой иглы-рыбы из Чограйского вдхр. При этом отличия выявляются при сравнении как по отдельным признакам морфотипа, в т. ч. по меристическим показателям, так и по всему их комплексу. Причина этих отличий заключается, видимо, не столько во влиянии условий среды, сколько в генезисе изученных популяций.

В оз. Сазальникском обитает популяция пухлощёкой иглы-рыбы, связанная высокой степенью панмиксии с рыбами этого вида из Таганрогского залива Азовского моря. Фактически её можно рассматривать как субпопуляцию.

Популяция пухлощёкой иглы-рыбы оз. Старая Кубань сформировалась в результате проникновения в него рыб этого вида из основного русла р. Кубань, куда вид попал, в свою очередь, из Азовского моря после строительства плотин Краснодарского и Фёдоровского гидроузлов и уменьшения скорости течения в реке.

**Таблица 6.** Роль различных морфологических признаков в разделении популяций пухлощёкой иглы-рыбы из разных водоёмов (по результатам дискриминантного анализа)

**Table 6.** The role of different morphological features in the distribution of populations of the black-striped pipefish from different water bodies (according to the results of the discriminant analysis)

Признак	Стандартизованный коэффициент первой дискриминантной функции	Ранг признака
<i>H / l</i>	0.199	11
<i>h / l</i>	0.004	24
<i>iH / l</i>	0.213	10
<i>aD / l</i>	0.061	18
<i>pD / l</i>	0.069	16
<i>aA / l</i>	0.189	12
<i>pl / l</i>	0.019	21
<i>lD / l</i>	0.548	1*
<i>hD / l</i>	0.052	20
<i>hA / l</i>	0.422	3*
<i>lP / l</i>	0.132	14
<i>hP / l</i>	0.012	22
<i>lC / l</i>	0.077	15
<i>c / l</i>	0.138	13
<i>hc / c</i>	0.066	17
<i>r / c</i>	0.275	6
<i>o / c</i>	0.289	5
<i>po / c</i>	0.061	19
<i>io / c</i>	0.011	23
<i>D</i>	0.292	4
<i>P</i>	0.229	8
<i>aP / l</i>	0.255	7
<i>κ<sub>m</sub></i>	0.499	2*
<i>κ<sub>x</sub></i>	0.003	25
<i>κ<sub>c</sub></i>	0.224	9

Примечания: признаки, вносящие наибольший вклад в разделение групп, обозначены знаком «\*»; расшифровка условных обозначений признаков приведена в разделе «Материал и методы»

Пути заселения пухлощёкой иглой-рыбой Чограйского вдхр. менее очевидны. Его ихтиоценоз формировался за счёт нескольких векторов: аборигенной ихтиофауны, населявшей р. Восточный Маныч, видов, проникших по Терско-Кумскому и Кумо-Манычскому каналам, рыб водоёмов системы р. Западный Маныч, а также целенаправленно вселённых в него видов рыб — объектов пастбищной аквакультуры [16].

В. Г. Позняк считает наиболее вероятной версию проникновения пухлощёкой иглы-рыбы в Чограйское вдхр. из системы р. Западный Маныч (бассейн Азовского моря), в некоторых участках которой она встречалась и до зарегулирования стока плотинами гидроузлов [16, 21]. Против данной версии свидетельствует тот факт, что в 1969 г. на водоразделе Западного Маныча и Чограйского водохранилища была построена дамба, затруднившая проникновение в него рыб из указанной речной системы. Следовательно, пухлощёкая игла-рыба должна была попасть в водохранилище до указанного года, но вид впервые отмечен в водоёме только в 1990-х [11, 15, 20].

Также существует версия попадания вида в водохранилище через Кумо-Маньчский или Терско-Кумский каналы. В этом случае следует ожидать наличия существенной степени морфологической обособленности сформировавшейся в водоёме популяции каспийского происхождения от «азовских», что и было отмечено по результатам наших исследований. Однако изученные рыбы не имеют признаков, характерных для каспийских популяций пухлощёкой иглы-рыбы (более длинного рыла и существенно большего числа лучей в спинном плавнике).

Поэтому весьма вероятной нам представляется версия завоза в водохранилище молоди пухлощёкой иглы-рыбы вместе с рыбопосадочным материалом растительноядных рыб или сазана (карпа). В этом случае водоёмами-донорами могли являться водоёмы бассейна как Азовского, так и Каспийского моря, т. к. такие завозы осуществлялись неоднократно и из разных водных объектов.

В заключение следует отметить, что проблема таксономических отношений пухлощёкой рыбы-иглы из Азово-Черноморского и Каспийского бассейнов до сих пор полностью не ясна.

Как указывают Н. Г. Богуцкая и соавт. [3], Э. Эйхвальд одновременно описал особей черноморской и каспийской рыбы-иглы как два самостоятельных вида — *Syngnathus nigrolineatus* и *S. caspius*. В последующем их объединили в один вид, придав каспийской форме подвидовой статус (*S. nigrolineatus caspius*). В качестве основных морфологических отличий между подвидами указывают длину рыла [2] и число лучей в спинном плавнике [4]. Затем было показано, что *S. nigrolineatus* является младшим синонимом названия *S. abaster* Risso, 1827 [28].

А. М. Насека и Н. Г. Богуцкая [29] в рамках филогенетической концепции вида рассматривают каспийские популяции пухлощёкой иглы-рыбы как самостоятельный вид — эндемик бассейна Каспийского моря, встречающийся также в пресной воде в дельтах Волги, Урала, Терека, Куры и рек южного побережья Каспия. При этом они полагают, что в р. Волга выше дельты распространилась инвазионная черноморская пухлощёкая игла-рыба из бассейна Азовского моря.

Н. А. Кирюхина [10] подчёркивает морфологическую близость каспийских и азово-черноморских популяций пухлощёкой иглы-рыбы и указывает, что ни один из изученных ею признаков морфотипа не подходит для определения подвидовой принадлежности, а также для установления происхождения волжских популяций, т. к. существует значительное перекрытие диапазонов значений признаков между выборками. Анализ главных компонент по трём ключевым признакам (отношению длины головы к длине тела, отношению длины рыла к длине тела и числу лучей в спинном плавнике) не позволил выявить отдельные группы популяций.

Однако проведённый Кирюхиной анализ мтДНК показал, что игла-рыба волжских водохранилищ и дельты Волги близка к азово-черноморской игле-рыбе [8, 9], что может быть как результатом продолжающегося расселения иглы-рыбы из волжских водохранилищ вниз по течению, так и результатом проникновения азово-черноморских гаплотипов во время последнего контакта Каспийского и Чёрного морей. Автор также сделала интересное предположение о том, что более высоким инвазионным потенциалом с точки зрения заселения пресноводных экосистем может обладать именно азово-черноморский подвид пухлощёкой иглы-рыбы [8].

### Выводы.

1. Рыбы из трёх изученных водоёмов статистически достоверно отличались по средним значениям длины и массы тела. Наиболее крупными средними размерами характеризовались рыбы из оз. Сазальникского, имеющего гидрологическую связь с Азовским морем.
2. По результатам проведённых однофакторных дисперсионных анализов установлено статистически достоверное влияние фактора «водоём» на величину всех шести изученных меристических признаков и 16 из 20 исследованных пластических признаков. Максимальной степенью сходства характеризовались выборки пухлощёкой иглы-рыбы из озёр Сазальникское и Старая Кубань, минимальной — из оз. Сазальникского и Чограйского вдхр.

3. В пространстве двух дискриминантных функций рыбы сформировали три чётко разделяющихся облака, соответствующих отдельным водоёмам. Точность отнесения к априори выделенным группам составила от 96.9 (оз. Сазальникское) до 100.0 % (оз. Старая Кубань и Чограйское вдхр.). Максимальный вклад в разделение групп вносят три признака — длина наибольшего луча анального плавника, число туловищных колец и длина основания спинного плавника.
4. Наиболее вероятной версией заселения пухлощёкой иглой-рыбой Чограйского вдхр. является её завоз вместе с рыбопосадочным материалом растительноядных рыб или сазана (карпа).

**Благодарности.** Автор благодарит М. А. Сумарокову за помощь в обработке части материала, Е. В. Моисееву — за предоставление для анализа рыб, отловленных в Чограйском водохранилище, В. Г. Позняка — за ценные замечания при подготовке рукописи статьи.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Абаев Ю. И. *Товарное рыбоводство на внутренних водоёмах (на примере отдельных водохранилищ и озёр Северного Кавказа)*. Москва: Пищевая пром-ть, 1980. 112 с. [Abaev Yu. I. *Tovarnoe rybovodstvo na vnutrennikh vodoemakh (na primere otidel'nykh vodokhranilishch i ozer Severnogo Kavkaza)*. Moscow: Pishchevaya promyshlennost', 1980. 112 p. (in Russ.)].
2. Берг Л. С. *Рыбы пресных вод СССР и сопредельных стран*. Москва; Ленинград: Изд-во АН СССР, 1949. Ч. 3. С. 927–1382. [Berg L. S. *Ryby presnykh vod SSSR i sopredel'nykh stran*. Moscow; Leningrad: Izd-vo AN SSSR, 1949, pt. 3, pp. 927–1382. (in Russ.)].
3. Богущкая Н. Г., Кияшко П. В., Насека А. М., Орлова М. И. *Определитель рыб и беспозвоночных Каспийского моря. Т. 1. Рыбы и моллюски*. Санкт-Петербург; Москва: Тов-во науч. изд. КМК, 2013. 543 с. [Bogutskaya N. G., Kiyashko P. V., Naseka A. M., Orlova M. I. *Opredelitel' ryb i bespozvonochnykh Kaspiiskogo morya. T. 1. Ryby i mollyuski*. Sankt-Petersburg; Moscow: Tov-vo nauch. izd. KMK, 2013, 543 p. (in Russ.)].
4. Васильева Е. Д. *Рыбы Чёрного моря. Определитель морских, солоноватоводных, эвригалинных и проходных видов с цветными иллюстрациями, собранными С. В. Богородским*. Москва: Изд-во ВНИРО, 2007. 238 с. [Vasil'eva E. D. *Ryby Chernogo morya. Opredelitel' morskikh, solonovotovodnykh, evrigalinnykh i prohodnykh vidov s tsvetnymi illyustratsiyami, sobrannymi S. V. Bogorodskim*. Moscow: Izd-vo VNIRO, 2007, 238 p. (in Russ.)].
5. Емтыль М. Х. *Рыбы Краснодарского края и республики Адыгея: Справочное пособие*. Краснодар: Изд-во КубГУ, 1997. 157 с. [Emtyl' M. H. *Ryby Krasnodarskogo kraya i respubliky Adygeya: Spravochnoe posobie*. Krasnodar: Izd-vo KubGU, 1997, 157 p. (in Russ.)].
6. Завьялов Е. В., Ручин А. В., Шляхтин Г. В. и др. *Рыбы севера Нижнего Поволжья: в 3 кн. Кн. 1. Состав ихтиофауны, методы изучения*. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 2007. 208 с. [Zav'yalov E. V., Ruchin A. V., Shyakhtin G. V. i dr. *Ryby severa Nizhnego Povolzh'ya: v 3 kn. Kn. 1. Sostav ikhtiofauny, metody izucheniya*. Saratov: Izd-vo Sarat. un-ta, 2007, 208 p. (in Russ.)].
7. Карпова Е. П. *Трансформация сообществ рыб водоёмов Крымского полуострова под воздействием антропогенных факторов: дис. ... канд. биол. наук: 03.02.08*. Севастополь, 2017. 196 с. [Karpova E. P. *Transformatsiya soobshchestv ryb vodoemov Krymskogo poluostrova pod vozdeistviem antropogennykh faktorov* [dissertation]. Sevastopol, 2017, 196 p. (in Russ.)].
8. Кирюхина Н. А. *Молекулярно-генетическая и морфологическая изменчивость черноморской пухлощёкой иглы-рыбы *Syngnathus nigrolineatus* (Eichwald, 1831) в связи с её инвазией в водоёмы бассейна Волги: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.02.06*. Москва, 2013. 22 с. [Kiryukhina N. A. *Molekulyarno-geneticheskaya i morfologicheskaya izmenchivost' chernomorskoi pukhloshchokoi igly-ryby Syngnathus nigrolineatus (Eichwald, 1831) v svyazi s ee invaziei v vodoemy basseina Volgi: avtoref. dis. ... kand. biol. nauk: 03.02.06*. Moscow, 2013. 22 p. (in Russ.)].

9. Кирюхина Н. А. Молекулярно-генетическое разнообразие в популяциях иглы-рыбы *Syngnathus nigrolineatus* Eichwald 1831 и пути расселения в водоёмы бассейна Волги на основании анализа последовательностей митохондриальной ДНК // *Российский журнал биологических инвазий*. 2013. № 3. С. 60–68. [Kiryukhina N. A. Molecular and genetic variability in populations of *Syngnathus nigrolineatus* Eichwald 1831 and the ways of settling into the Volga River basins on the basis of mitochondrial dna sequence analysis. *Rossiiskii zhurnal biologicheskikh invazii*, 2013, no. 3, pp. 60–68. (in Russ.)].
10. Кирюхина Н. А. Морфологическая изменчивость пухлощёкой иглы-рыбы *Syngnathus nigrolineatus* в связи с её инвазией в водоёмы бассейна Волги // *Российский журнал биологических инвазий*. 2013. № 2. С.2–10. [Kiryukhina N. A. Morphological variability of black-striped pipefish *Syngnathus nigrolineatus* in connection with its invasion into reservoirs of the Volga basin. *Rossiiskii zhurnal biologicheskikh invazii*, 2013, no. 2, pp. 2–10. (in Russ.)].
11. Круглова В. М., Горис И. Я., Рейх Е. М. Формирование гидрохимического и биологического режимов Чограйского водохранилища (Калмыцкая АССР) // *Рыбохозяйственные исследования Азовского моря: тез. докл.* Ростов-н/Д.: Ростовское кн. изд-во, 1972. С. 71–73. [Kruglova V. M., Goris I. Ya., Reikh E. M. Formation of the hydrochemical and biological regimes of the Chograi Reservoir (Kalmyk ASSR). In: *Rybokhozyaistvennye issledovaniya Azovskogo morya*. Rostov-n/D.: Rostovskoye kn. izd-vo, 1972, pp. 71–73. (in Russ.)].
12. Лакин Г. Ф. *Биометрия*. Москва: Высшая школа, 1990. 352 с. [Lakin G. F. *Biometriya*. Moscow: Vysshaya shkola, 1990, 352 p. (in Russ.)].
13. Мовчан Ю. В. Фауна Украины: в 40 т. Т. 8. Рыбы. Вып. 3. *Вьюновые, сомовые, икталуровые, пресноводные угри, конгеровые, саргановые, тресковые, колюшковые, игловые, гамбузиевые, зеусовые, сфиреновые, кефалевые, атериновые, ошшибневые*. Киев: Наукова думка, 1988. 368 с. [Movchan Ju. V. Fauna Ukrainy: v 40 t. T. 8. Ryby. Vyp. 3. *V'yunovye, somovye, iktalurovye, presnovodnye ugri, kongerovye, sarganovye, treskovye, kolyushkovye, iglovye, gambuzievye, zeusovye, sfirenovye, kefalevye, aterinovye, oshibnevye*. Kiev: Naukova dumka, 1988, 368 p. (in Russ.)].
14. Москул Г. А. *Рыбы водоёмов бассейна Кубани*. Краснодар: КрасНИИРХ, 1998. 177 с. [Moskul G. A. *Ryby vodoemov basseina Kubani*. Krasnodar: KrasNIIRH, 1998, 177 p. (in Russ.)].
15. Москул Г. А., Никитина Н. К., Гаврикова Е. Г. Современное состояние и пути развития рыбного хозяйства на водохранилищах Краснодарского и Ставропольского краёв // *Рыбохозяйственное освоение водохранилищ Северного Кавказа: сб. науч. тр. / ГосНИОРХ*. Ленинград, 1982. Вып. 186. С. 43–143. [Moskul G. A., Nikitina N. K., Gavrikova E. G. Current state and ways of development of fisheries in the reservoirs of the Krasnodar and Stavropol Territories. In: *Rybokhozyaistvennoye osvoenie vodokhranilishch Severnogo Kavkaza: sb. nauch. tr. / GosNIORKH*. Leningrad, 1982, vol. 186, pp. 43–143. (in Russ.)].
16. Никитенко Е. В., Щербина Г. Х. Ихтиофауна Чограйского водохранилища // *Вестник института комплексных исследований аридных территорий*. 2015. Т. 1, № 1 (30). С. 33–37. [Nikitenko E. V., Shcherbina G. H. Ikhtiofauna Chograiskogo vodokhranilishcha. *Vestnik instituta kompleksnykh issledovaniy aridnykh territorii*, 2015, vol. 1, no. 1 (30), pp. 33–37. (in Russ.)].
17. Пашков А. Н., Емтыль М. Х., Шаталов П. В., Сумароков В. С. Изменения ихтиофауны Сазальницкого озера // *Актуальные вопросы экологии и охраны природы экосистем южных регионов России и сопредельных территорий: материалы XVII Межреспубл. науч.-практ. конф.* Краснодар: Изд-во КубГУ, 2004. С. 112–115. [Pashkov A. N., Emtyl' M. H., Shatalov P. V., Sumarokov V. S. Changes in the ichthyozpphauna of the Sazalnitsky Lake. In: *Aktual'nye voprosy ekologii i okhrany prirody ekosistem yuzhnyh regionov Rossii i sopredel'nyh territorij: materialy XVII Mezhrespubl. nauch.-prakt. konf.* Krasnodar: Izd-vo KubGU, 2004, pp. 112–115. (in Russ.)].
18. Пашков А. Н., Зворыкин Д. Д. Некоторые морфоэкологические особенности восьмиполосой цихлазомы *Rocio octofasciata* (Perciformes, Cichlidae) популяции озера Старая Кубань // *Вопросы их-*

- тиологии. 2009. Т. 49, № 3. С. 396–401. [Pashkov A. N., Zvorykin D. D. Some Morphoecological Specific Features of Cichlasomine Rocio octofasciata (Perciformes, Cichlidae) from the Population in Lake Staraya Kuban. *Voprosy ikhtiologii*, 2009, vol. 49, no. 3, pp. 396–401. (in Russ.)].
19. Пашков А. Н., Плотников Г. К., Сумарокова М. А. Основные биологические характеристики черноморской пухлощёкой рыбы-иглы (*Syngnathus abaster nigrolineatus*) из озера Старая Кубань // *Актуальные вопросы экологии и охраны природы экосистем южных регионов России и сопредельных территорий*: материалы XXI Межреспубл. науч.-практ. конф. Краснодар: Изд-во КубГУ, 2008. С. 75–76. [Pashkov A. N., Plotnikov G. K., Sumarokova M. A. The main biological characteristics of the black-striped pipefish (*Syngnathus abaster nigrolineatus*) from Lake Staraya Kuban. In: *Aktual'nye voprosy ekologii i okhrany prirody ekosistem yuzhnykh regionov Rossii i sopredel'nykh territorii*: materialy XXI Mezhrespubl. nauch.-prakt. konf. Krasnodar: Izd-vo KubGU, 2008, pp. 75–76. (in Russ.)].
  20. Петрушкиева Д. С. *Рыбные ресурсы Калмыкии и биологические основы их рационального использования*: дис. ... канд. биол. наук: 03.00.10. Астрахань, 2002. 181 с. [Petrushkieva D. S. *Rybnye resursy Kalmykii i biologicheskie osnovy ikh ratsional'nogo ispol'zovaniya* [dissertation]. Astrakhan, 2002, 181 p. (in Russ.)].
  21. Позняк В. Г., Фроленко А. Н. К характеристике морских игл Пролетарского водохранилища // *Актуальные вопросы экологии и охраны природы экосистем южных регионов России и сопредельных территорий*: тез. докл. X Межреспубл. науч.-практ. конф. Краснодар: Изд-во КубГУ, 1997. С. 149–150. [Poznyak V. G., Frolenko A. N. To the characteristics of the sea pipefish of the Proletarian Reservoir. In: *Aktual'nye voprosy ekologii i okhrany prirody ekosistem yuzhnykh regionov Rossii i sopredel'nykh territorii*: tez. dokl. X Mezhrespubl. nauch.-prakt. konf. Krasnodar: Izd-vo KubGU, 1997, pp. 149–150. (in Russ.)].
  22. Решетников Ю. С. *Syngnathus nigrolineatus* Eichwald, 1831 – черноморская игла // *Атлас пресноводных рыб России*: в 2 т. Т. 2. Москва: Наука, 2003. С. 51–53. [Reshetnikov Ju. S. *Syngnathus nigrolineatus* Eichwald, 1831 – chernomorskaya igla. In: *Atlas presnovodnykh ryb Rossii*: v 2 t. Т. 2. Moscow: Nauka, 2003, pp. 51–53. (in Russ.)].
  23. Световидов А. Н. *Рыбы Чёрного моря*. Москва; Ленинград: Наука, 1964. 552 с. [Svetovidov A. N. *Ryby Chernogo morya*. Moscow; Leningrad: Nauka, 1964, 552 p. (in Russ.)].
  24. Слынько Ю. В., Терещенко В. Г. *Рыбы пресных вод Понто-Каспийского бассейна (Разнообразие, фауногенез, динамика популяций, механизмы адаптаций)*. Москва: Изд-во Полиграф-Плюс, 2014. 328 с. [Slyn'ko Ju. V., Tereshchenko V. G. *Ryby presnykh vod Ponto-Kaspiiskogo basseina (Raznoobrazie, faunogenez, dinamika populyatsii, mekhanizmy adaptatsii)*. Moscow: Izd-vo Poligraf-Plyus, 2014, 328 p. (in Russ.)].
  25. Троицкий С. К., Цуникова Е. П. *Рыбы бассейнов Нижнего Дона и Кубани*. Ростов-н/Д.: Кн. изд-во, 1988. 111 с. [Troitsky S. K., Tsunikova E. P. *Ryby basseinov Nizhnego Dona i Kubani*. Rostov-n/D.: Kn. izd-vo, 1988, 111 p. (in Russ.)].
  26. Тюрин В. В., Морев И. А., Волчков В. А. *Дискриминантный анализ в селекционно-генетических исследованиях*. Краснодар: Изд-во КубГУ, 2003. 23 с. [Tyurin V. V., Morev I. A., Volchkov V. A. *Diskriminantnyi analiz v selektsionno-geneticheskikh issledovaniyakh*. Krasnodar: Izd-vo KubGU, 2003, 23 p. (in Russ.)].
  27. Тюрин В. В., Щеглов С. Н. *Дискриминантный анализ в биологии: монография*. Краснодар: Изд-во КубГУ, 2015. 126 с. [Tyurin V. V., Shcheglov S. N. *Diskriminantnyi analiz v biologii: monografiya*. Krasnodar: Izd-vo KubGU, 2015, 126 p. (in Russ.)].
  28. Lueken W. Süßwasserfische der Türkei: 5 Teil. Syngnathidae. *Mitteilungen Hamburgisches Zoologisches Museum und Institut*, 1967, vol. 64, pp. 127–146.
  29. Naseka A. M., Bogutskaya N. G. Fishes of the Caspian Sea: zoogeography and updated check-list. *Zoosystematica Rossica*, 2009, vol. 18, no. 2, pp. 295–317.
  30. Vasil'eva E. D. Main alterations in ichthyofauna of the largest rivers of the northern coast of the Black

Sea in the last 50 years: a review. *Folia Zoologica*, 2003, vol. 4, pp. 337-358.

**MORPHOLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE POPULATIONS  
OF BLACK-STRIPED PIPEFISH *SYNGNATHUS ABASTER* RISSO, 1827  
(PISCES, ACTINOPTERYGII, SYNGNATHIDAE)  
IN SOME NORTH CAUCASIAN WATER BODIES**

**A. N. Pashkov**

Krasnodar department of Azov Sea Research Fisheries Institute, Krasnodar, Russian Federation  
E-mail: [apashkov@mail.ru](mailto:apashkov@mail.ru)

The data on the values of 6 meristic and 20 plastic characteristics as well as the main length-weight characteristics of the black-striped pipefish from three North Caucasian water bodies (lakes Szal'nikskoe and Staraya Kuban, Chograi Reservoir) are given. Statistically significant differences were found in the average values of the most meristic and plastic characteristics of the populations. It has been found that the population from the Chograi Reservoir is characterized by the highest degree of morphological isolation. Possible ways of penetrating of the species into the studied water bodies are discussed.

**Keywords:** black-striped pipe-fish, *Syngnathus abaster*, length-weight characteristics, meristic characteristics, plastic characteristics, variability



УДК 577.1:582.272:628.19(262.5)

**FUCOXANTHIN AND HEAVY METALS  
IN BROWN ALGAE OF GENUS *CYSTOSEIRA* C. AGARDH  
FROM WATER AREAS WITH DIFFERENT ANTHROPOGENIC INFLUENCES  
(BLACK SEA)**

© 2017 г. **V. I. Ryabushko**, Dr. Sc., Head of Dep., **A. V. Prazukin**, Dr. Sc., Leading Researcher,  
**E. V. Gureeva**, Chief Engineer, **N. I. Bobko**, Junior Researcher,  
**N. G. Kovrigina**, PhD, Senior Researcher, **M. V. Nekhoroshev**, PhD, Senior Researcher

Kovalevsky Institute of Marine Biological Research RAS, Sevastopol, Russian Federation  
E-mail: [rabushko2006@yandex.ru](mailto:rabushko2006@yandex.ru)

Поступила в редакцию 01.02.2017 г. Принята к публикации 23.06.2017 г.

Brown algae are recognized as bioindicators of heavy metal contamination in coastal waters. Comparison of morphological and functional characteristics of algae living in different environmental conditions is essential for understanding mechanisms of marine organism adaptation to anthropogenic environmental impact. The aim of this study is to determinate concentration of fucoxanthin and heavy metals in branches of brown seaweeds *Cystoseira barbata* (Stackhouse) C. Agardh and *Cystoseira crinita* Duby in water areas with different anthropogenic pressures. The content of fucoxanthin in the samples is determined by means of thin layer chromatography, and heavy metals are quantified using atomic absorption spectrophotometry. The maximum concentrations of fucoxanthin ( $3 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$  of dry weight), lead ( $48.5 \text{ } \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ ), zinc ( $62.6 \text{ } \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ ), and cadmium ( $3.2 \text{ } \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ ) are found in branches of 2- to 3-month-old seaweeds. The content of fucoxanthin in the branches of *C. barbata* is 1.5 times higher than that in *C. crinita*. The *Cystoseira* seaweeds living in a eutrophic bay have higher concentrations of the pigment and zinc than the macrophytes from open waters. The elevated levels of fucoxanthin in brown algae of this genus found in eutrophic and heavy-metal-polluted water areas demonstrate the important role of this carotenoid in the adaptation of the algal photosynthetic apparatus to anthropogenic environmental changes.

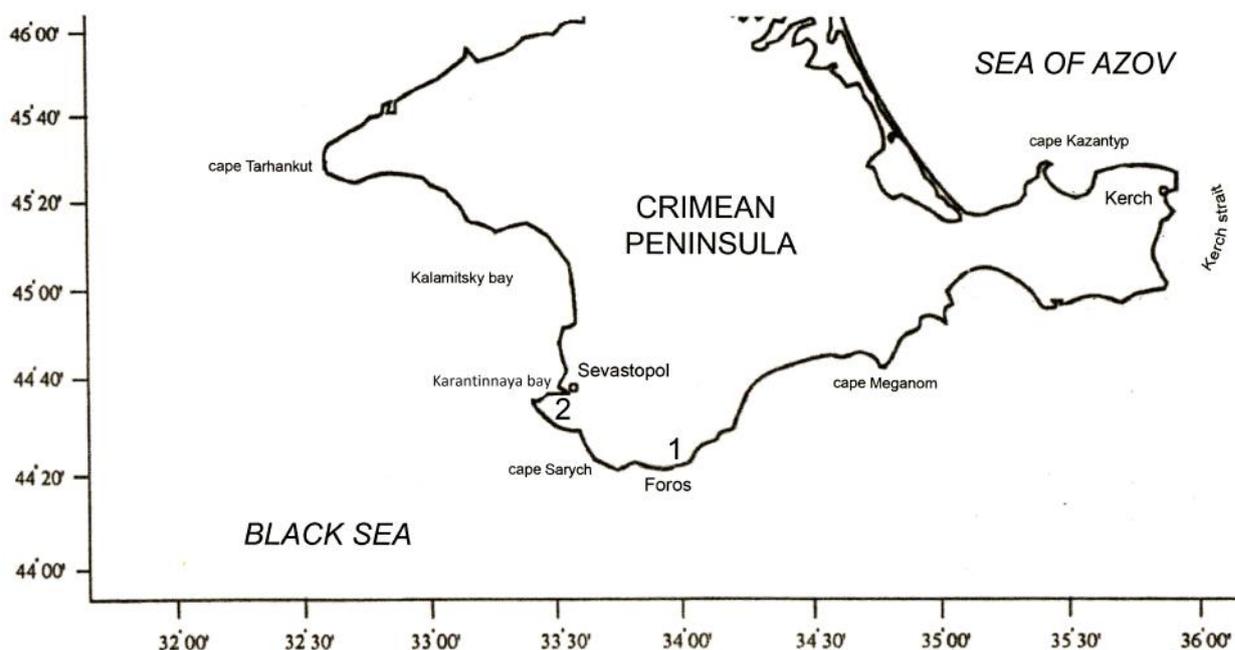
**Ключевые слова:** brown algae, *Cystoseira*, age, heavy metals, fucoxanthin, Black Sea

Heavy metal ions are among the most severe environmental contaminants, which pose serious threat to the land and water ecosystems, as well as to the human health. It is important in such investigations to include different systematic groups of organisms, such as brown algae, which are a the subject of the presented study. Brown algae *Cystoseira* abundantly grow along the shores of the Black Sea, where they are among prevailing species in benthic assemblages of the upper sublittoral zone. They are also good bioindicators of heavy metal contamination of coastal seawater. Accumulation of heavy metals in brown algae has been repeatedly discussed in scientific publications [1, 12]. However, some authors of monitoring studies did not take into consideration the age of the branches they used [1] whereas others just differentiated between young and old branches, or referred to the age of the whole thallus [6]. Little is known about responses of the brown algae to the increase in heavy metals in their natural environment. Seasonal cycles of metals in these macrophytes can depend on the amount of metals in the sea water and on vegetation processes typical for the season.

Fucoxanthin (Fc), the major pigment in brown algae, chrysophytes, and diatoms, contributes over 10 % to the integral content of carotenoids in natural conditions. Together with chlorophyll *a* (Chl *a*), this pigment forms Fc-Chl *a*-protein complexes in thylakoids where it participates in light harvesting and energy transfer. The pharmacologically active Fc has demonstrated its remarkable antioxidant, cytostatic, anti-inflammatory, hypotensive and antidiabetic properties [11]. More recently, brown algae of the genus *Cystoseira* from the Black Sea were studied in this respect as an interesting natural raw material [15]. Virtually no information is available on Fc stored in *Cystoseira*. The original data concerning the integral xanthophyll content (fucoxanthin, violaxanthin and neofucoxanthin *A*) were obtained half a century ago from determination of carotenoids in different parts of thallus of this alga [9]. It should be kept in mind that neither any techniques for determining the age of algal branches nor reliable methods of pigment structure determination (HPLC, NMR, etc.) were known at that time. Taking this into consideration, we aim in this work at establishing whether Fc content in branches of the Black Sea brown algae *Cystoseira barbata* (Stackhouse) C. Agardh 1820 and *Cystoseira crinita* Duby 1830 depends on their age and on anthropogenic pressure on the habitats.

### MATERIAL AND METHODS

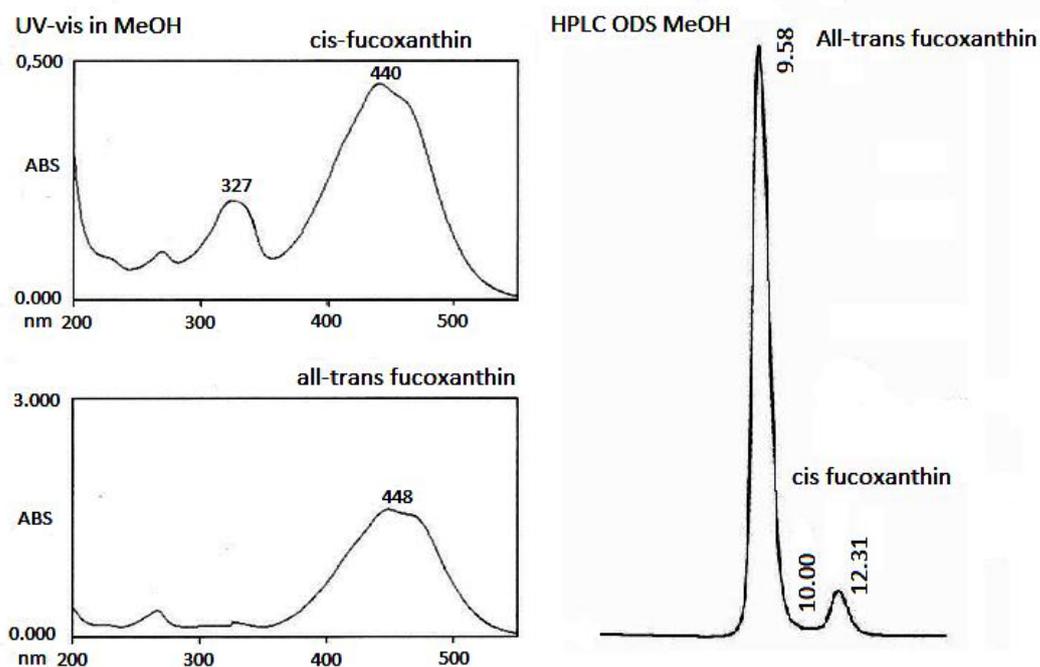
Surveys were made since December 2013 till December 2014, at two stations in the coastal zone of the Black Sea, one near Cape Foros and the other in Karantinnaya Bay, Sevastopol (N44.39°, E33.79° and N44.61°, E33.49°, respectively) (fig. 1).



**Рис. 1.** Zones of sampling in the Black Sea: 1 – Cape Foros, 2 – Karantinnaya Bay

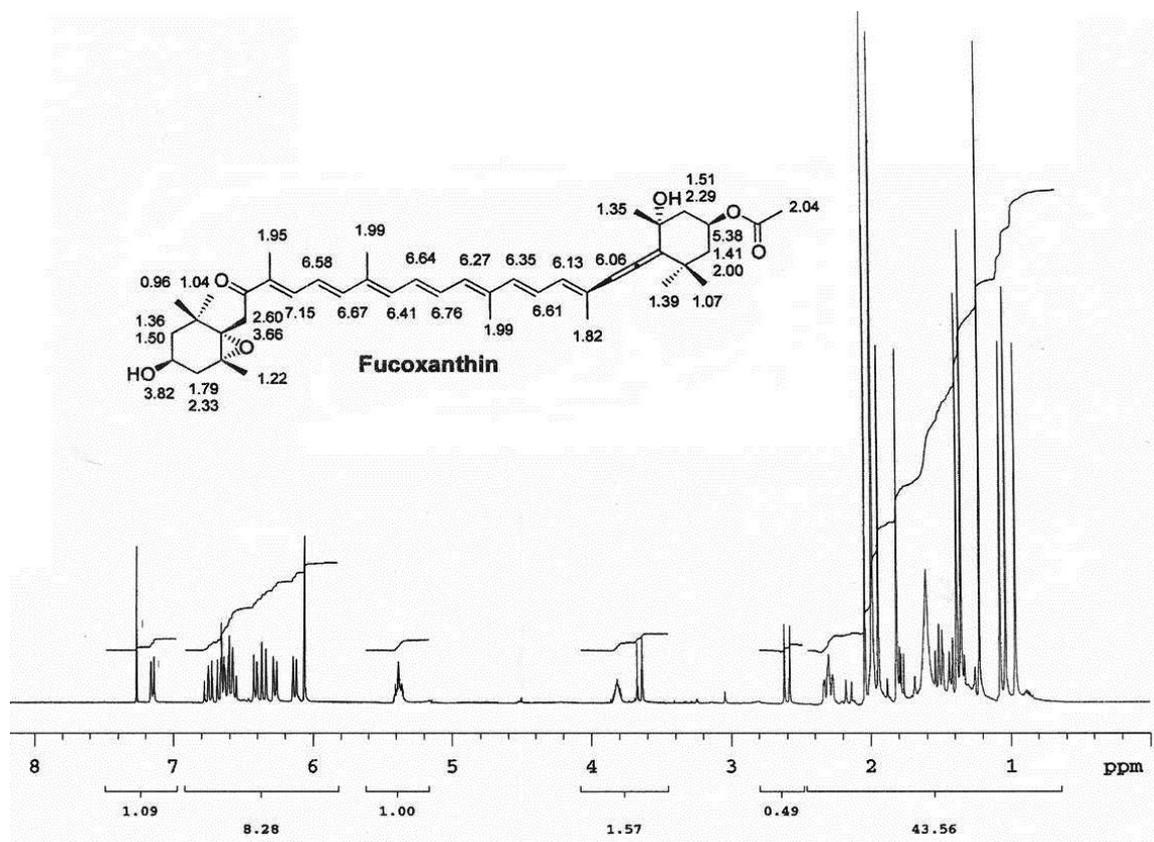
**Fig. 1.** Места отбора проб в Черном море: 1 — мыс Форос, 2 — Карантинная бухта

Samples of *Cystoseira* were collected monthly from 0.5- to 1.0-m depths and separated into stems and branches; their age was determined as described earlier [5]. The branches were divided into five age groups: younger than 1.9 months old; 2–3 months old; 3–5 months old; 5–6 months old; and older than 6 months. Branches were cleansed from visible epiphytes, rinsed with distilled water and dried at 105 °C. Samples collected for determination of heavy metals were prepared using wet mineralization procedure [2]. Lead, cadmium, zinc and copper were determined with an atomic absorption spectrophotometer *SpectrAA 5* (Varian, Australia) using standard samples.



**Рис. 2.** The UV-VIS spectra and HPLC of fucoxanthin

**Fig. 2.** Спектры фукоксантина в УФ-видимой области и HPLC



**Рис. 3.** The  $^1\text{H-NMR}$  spectrum of fucoxanthin

**Fig. 3.**  $^1\text{H-NMR}$  спектр фукоксантина

Simultaneously, algal samples for determination of Fc were prepared. Branches of each age group were cut into 8–15-mm pieces and 15 ml of ethanol was added to each of the  $5.0 \pm 0.1$ -g sample. Fc from the sample was extracted twice at room temperature during 2 days; the extracts were merged together. The total extract was separated using thin-layer chromatography (TLC) on glass plates (20×20 cm) coated with 0.5-mm-thick silica gel. The eluent was 3 : 7 acetone : *n*-hexane. The extract and Fc standard were evenly applied on the glass plate; in the end, the Fc fraction was carefully removed from the plate and dissolved in ethanol.

Spectra of Fc were recorded on spectrophotometer SF-2000 (Russia) and its content (Fc, mg) in the ethanolic extract was calculated from the equation [10]:

$$F = (D \times V \times 10) / E_{1\text{cm}}^{1\%}, \quad (1)$$

where *D* is the absorbance at 448 nm wavelength; *V* is the volume of extract, ml; and is the extinction coefficient equal to 1280 [13]. The measurements were made in four replications.

UV-VIS, HPLC and <sup>1</sup>H-NMR techniques were used for determining physicochemical characteristics of crystalline Fc used as a standard (figs. 2–3). HPLC was performed on reversed phase columns (ODS-UG-5; 150×4.6 mm, Nomura Chemical Co., Aich, Japan) on the liquid chromatography system Hitachi L-7100 (Tokyo, Japan) with methanol as eluent. <sup>1</sup>H-NMR spectra (500 MHz, Varian UNITY INOVA 500) were registered in CDCl<sub>3</sub> with TMS as an internal standard.

## RESULTS AND DISCUSSION

Karantinnaya Bay in Sevastopol is one of the urban bays which are rated as heavily polluted. The southwestern nearshore currents prevailing in the adjacent seawater area [4] transfer pollutants from Karantinnaya Bay to nearby Streletsкая, Kruglaya and Kamyshovaya bays and further to Kazachaya Bay, thereby deteriorating their environmental status. Cape Foros, another sampling location, is in a special tourism-and-recreation zone stretched along the Southern coast of Crimea, where there large are no industrial plants and seaports. Sea water in this zone has only minor amounts of pollutants, including heavy metals, and is rated as relatively pure [8].

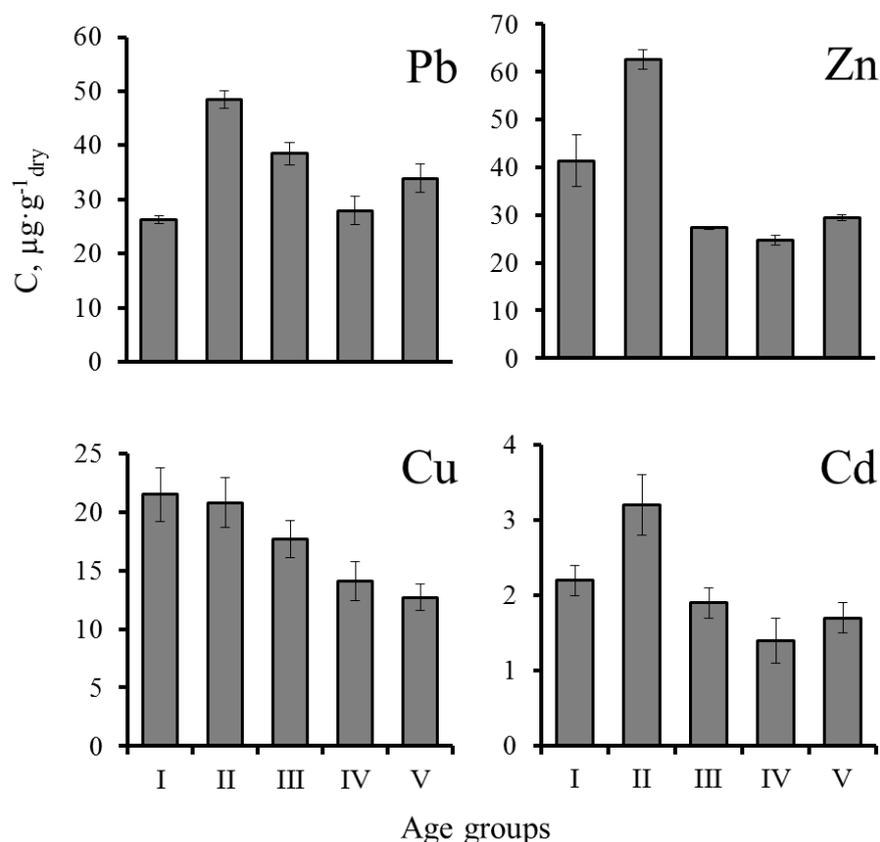
The trophic level in Karantinnaya Bay differs from that in the sea water at Cape Foros. The eutrophication index E-TRIX, which acquires growing popularity among researchers assessing marine environment quality, is calculated according to equation:

$$E - TRIX = \log_{10}([Chl\ a] \times [D\%O_2] \times [PT] \times [DIN] \times 1.5) / 1.2, \quad (2)$$

where *Chl a* is chlorophyll a concentration in the sea water, µg/l; *D%O<sub>2</sub>* is a deviation of dissolved oxygen from 100 % saturation, absolute units; *PT* is total phosphorus, µg/l; *DIN* is total dissolved inorganic nitrogen, µg/l [17]. In the seawater quality grading, the eutrophication index values below 4 mean low trophic level, whereas the values 4–5, 5–6, and 6–10 indicate medium, high, and very high levels, respectively. This criterion has shown that the sea water in some Crimean bays is gravely contaminated with nutrients, is turbid and promotes near-bottom hypoxia development [3]. Values of E-TRIX index below 4 are typical for seawater areas with well-aerated water column, high transparency and low nutrient concentrations. The observations we conducted for 20 months indicate that the eutrophication index estimates range from 2.42 to 4.18 in polluted Karantinnaya Bay and from 1.40 to 2.88 in the conventionally pure sea water. The values increase in summer, reaching a peak in July, and decrease in colder seasons to reach minimum in October. The values below 4 measured in the relatively pure sea water suggest that, outside the bays, the trophic level in the Crimean coastal sea water can be rated as low.

For determination of heavy metals and Fc stored in the brown algae *C. barbata*, 1<sup>st</sup>-order branches at the age of 0.3–7.0 months are used (fig. 4). Copper in the branches is found to monotonously decrease with the age. Average concentrations of zinc, lead and copper are 62.6, 48.5 and 3.2 µg/g<sub>dry</sub>, respectively. The

concentrations of these contaminants, as well as Fc content (3 mg/g<sub>dry</sub>), are largest in 2–3-month-old branches (fig. 5). The amounts of these metals and Fc are considerably lower in the juvenile branches (younger than 1 month) and in those older than 6–7 months. After the discovery of the branches of the age group II (2–3-month-old) actively accumulating heavy metals and Fc, it is essential to gain an insight into the seasonal regularities, i. e., whether the content of these substances depends on season.

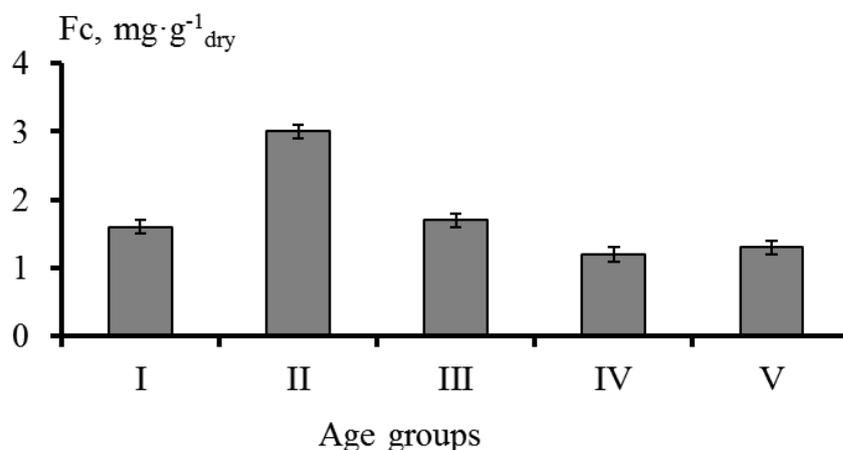


**Рис. 4.** Concentrations of heavy metals (C) in the 1<sup>st</sup>-order branches of *Cystoseira barbata*. The age groups of the branches are classified as follows: I (younger than 1.9 months), II (2–3 months), III (3–5 months), IV (5–6 months), and V (older than 6 months)

**Fig. 4.** Концентрации тяжелых металлов (C) в ветвях *Cystoseira barbata* первого порядка. Возрастные группы ветвей: I (< 1.9 мес.), II (2–3 мес.), III (3–5 мес.), IV (5–6 мес.), V (> 6 мес.)

*C. barbata* and *C. crinita* from Karantinnaya Bay are found to store considerably greater amounts of zinc than the macrophytes near Foros (fig. 6). The zinc concentrations throughout the year are higher in *C. barbata* than in *C. crinita*, which can be a species-specific indicator. Regardless of the sampling locality, the highest content of this metal in *C. barbata* is registered in January, and in *C. crinita* it is found in September — October. An interesting tendency in the accumulation of this pollutant in *C. barbata* has been observed as zinc concentration increases to its maximum while lead concentration decreases to minimum, and *vice versa*. In winter and spring, the lead concentration increases to the largest values in both algae.

*C. barbata* and *C. crinita* from the seawater area under higher anthropogenic pressure are significantly richer in Fc (fig. 7). In both macrophytes, regardless of the sampling area, the accumulation of this pigment is larger in autumn and winter. In spring it decreases, and in summer, when the sea warms up to the highest temperatures, it drops to its minimum. Compared to *C. crinita*, *C. barbata* has 1.5-times higher concentration of this carotenoid in its branches.



**Рис. 5.** Concentrations of fucoxanthin (Fc) in the 1<sup>st</sup>-order branches of *Cystoseira barbata*. The age groups of the branches are classified as follows: I (younger than 1.9 months), II (2–3 months), III (3–5 months), IV (5–6 months), and V (older than 6 months)

**Fig. 5.** Концентрации фукоксантина (Fc) в ветвях *Cystoseira barbata* первого порядка. Возрастные группы ветвей: I (< 1.9 мес.), II (2–3 мес.), III (3–5 мес.), IV (5–6 мес.), V (> 6 мес.)

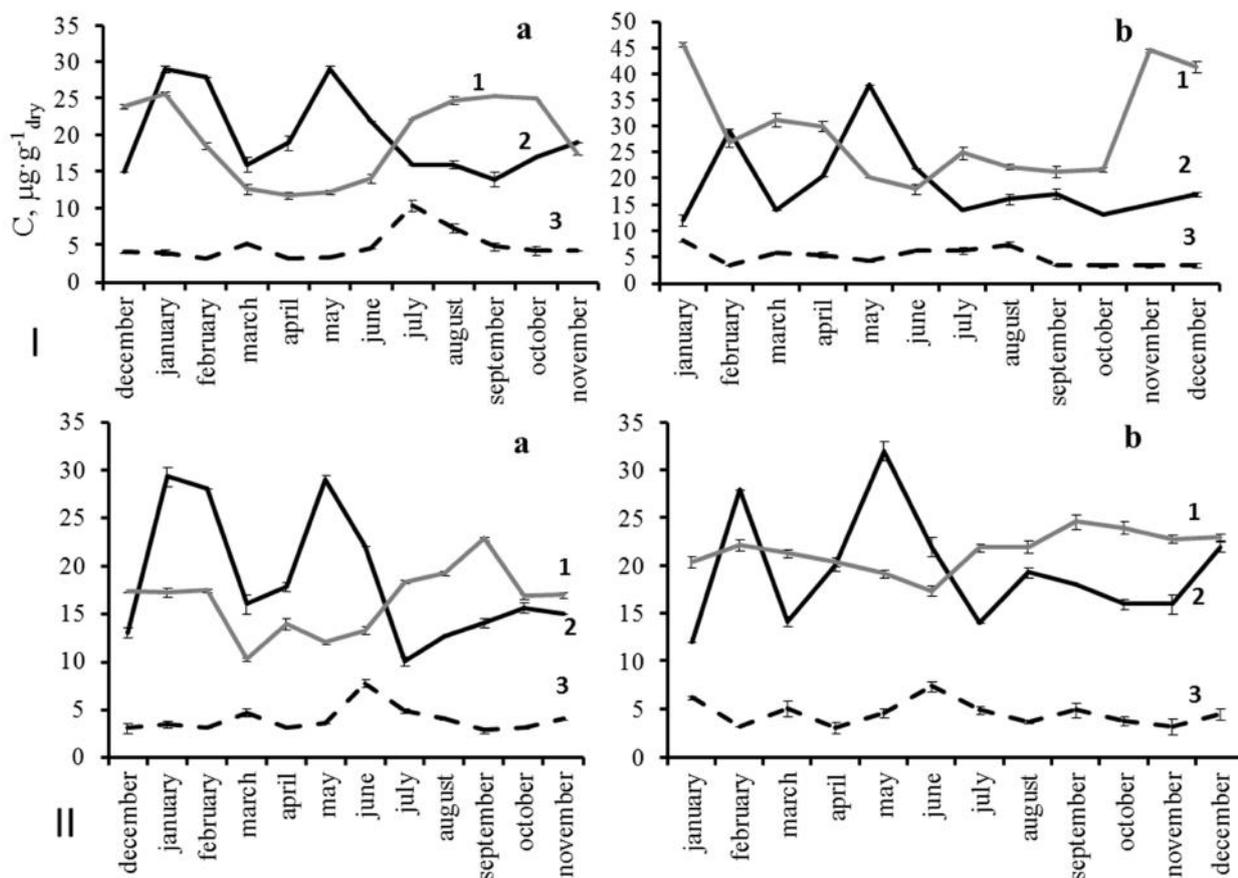
The accumulated amounts of heavy metals and Fc vary with the age of the branches. The concentration of these substances is higher in 2- to 3-month-old branches and significantly lower in other age groups. The most plausible explanation is that the juvenile, younger than one-month-old branches have not finished growing and those older than 4 months have used up their photosynthetic potential for reproduction and play negligible role in biosynthesis of thallus. As evidenced in an earlier work, two-month-old branches show higher photosynthetic rate than other parts of thallus [7].

The increased zinc concentrations observed in young algal branches can be due to enhanced activity of zinc finger proteins. These proteins actively participate in DNA transcription and translation, RNA transport and chromatin remodeling [11]. Zinc contained in these proteins works as a catalyst of metabolic processes. In the algae, zinc is accumulated due to its presence in enzymes which have zinc finger domain in their structure and form complexes with polysaccharides.

Compared with the seaweeds from the conventionally pure seawater area, *C. barbata* and *C. crinita* from eutrophic Karantinnaya Bay contain larger amount of zinc (fig. 6). Possibly, this can be explained by a growth aberration or/and by a greater zinc pollution in the sea area. According to some earlier works, microelement composition of the macrophytes growing in polluted and in relatively pure habitats is different; besides, increased concentrations of metals in the sea water trigger their accumulation in the seaweeds [1]. Presently, brown algae are among commonly recognized bioindicators of marine pollution by heavy metals.

Sea currents changing with season, which are a phenomenon typical for the open-sea areas, can appreciably influence hydrochemical composition of the habitat. In some periods of the year, the terrigenous runoff drastically enhanced by seasonal storms and cloudbursts brings markedly greater amounts of heavy metals into the sea, especially near the shore. The records show that *C. barbata* and *C. crinita* have the highest content of lead in winter and spring, whereas the largest accumulation of zinc is in winter and autumn, and that of copper is in spring, concurrently with the onset of intensive growth of the branches.

Lead and zinc in the branches of *C. barbata* demonstrate quantitatively opposite trends: the higher lead concentration, the lower zinc accumulation. This tendency can result from biological antagonism between these metals. By competing with lead in molecular binding and removing it from the living cell pool, zinc decreases lead content in the plant. With the onset of the inhibited growth phase, the contrary is seen. Hypothetically, the pendulum-like imbalance between zinc and lead can be explained by growing adaptation of the seaweeds to the heavy-metal pollution of environment.



**Рис. 6.** Concentrations (C) of zinc (1), lead (2) and copper (3) in the 2- to 3-month-old branches of *Cystoseira barbata* (I) and *C. crinita* (II) from the seawater area at Cape Foros (a) and from Karantinnaya Bay (b)

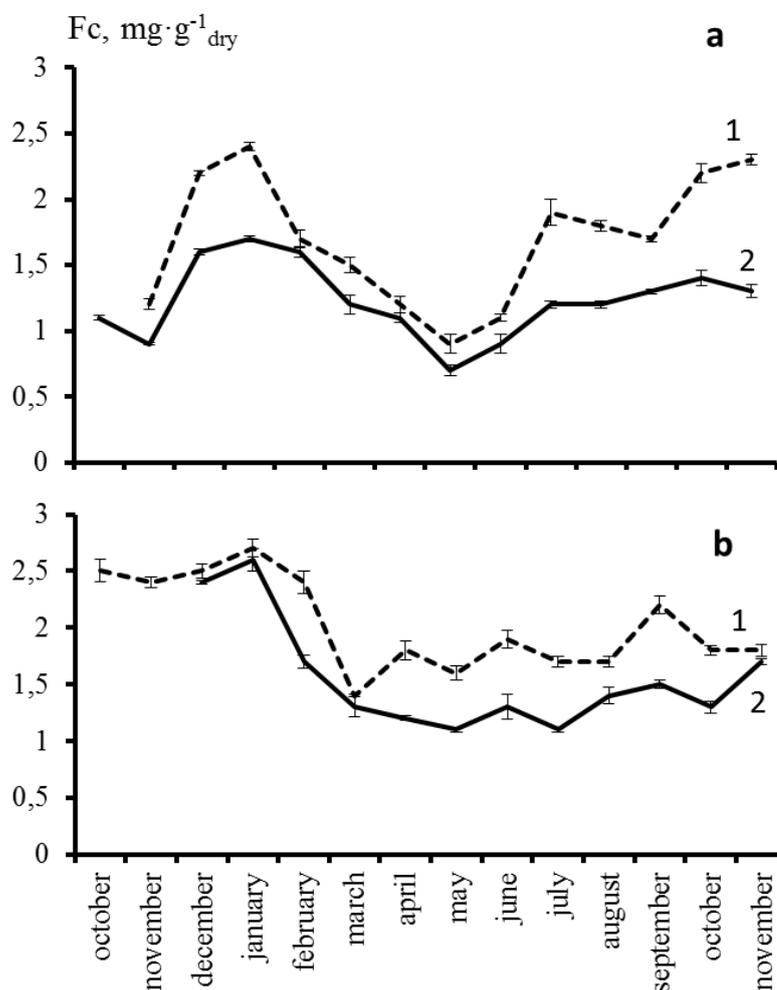
**Fig. 6.** Концентрация (C) цинка (1), свинца (2) и меди (3) в 2–3-месячных ветвях *Cystoseira barbata* (I) и *C. crinita* (II) из акватории мыса Форос (а) и Карантинной бухты (b)

Biological role of the lead accumulation in *Cystoseira* branches is obscure. Yet, it was reported that in the sea water containing up to 1 mg Pb per 1 litre, photoresistance of chlorophyll increased, as concluded from the longer latent period [1]. With higher concentrations of lead, the latent period shortened, completely vanishing at 10 mg/L. The increased photoresistance concomitant with the low lead content can be due to the influence of this metal on protein-pigment complexes or to the temporal stimulation of recovery processes in the pigment apparatus.

Similarly, accumulation of cadmium can be related to the period of active growth of younger algal branches. In proteins, ions of cadmium can replace zinc and iron. The replacement of zinc disturbs normal functioning of zinc finger proteins which, in its turn, inhibits cell division and growth of the seaweeds. The displacement of iron triggers cytochrome-C-oxidase complex malfunction and results in oxidative stress. By replacing magnesium in chlorophyll, cadmium decreases light-harvesting ability of the vegetation [16]. Moreover, cadmium is a toxicant which endangers almost all living organisms.

Autumn and winter are the seasons when Fc peaks in *C. barbata* and *C. crinita*. Taking into account that this is the time when the thallus plentifully shoots out new branches, the winter Fc maximum can be associated with active photosynthesis, growth and reproduction. This agrees with the summer decline of xanthophylls in the thalli and with the accumulation of carotenoids in autumn and winter [9]. It is worthwhile noting that the content of Fc in *C. barbata* and *C. crinita* from the Black Sea is comparable with that in some other brown

algae.



**Рис. 7.** Сезонная динамика содержания фукоксантина (Fc) в 2- и 3-месячных ветвях *Cystoseira barbata* (1) и *C. crinita* (2) собранных у мыса Форос (a) и в Карантинной бухте (b)

**Fig. 7.** Сезонная динамика содержания фукоксантина в 2- и 3-месячных ветвях *Cystoseira barbata* и *C. crinita*, собранных у мыса Форос (a) и в Карантинной бухте (b)

According to our observations, the two *Cystoseira* species differ in their preferences for biotopes. Unlike *C. barbata*, *C. crinita* rarely inhabit semi-closed bays, giving preference to open-sea areas. Both *C. barbata* and *C. crinita* have higher concentration of Fc in eutrophicated Karantinnaya Bay than in the open-sea locations (fig. 7).

The decrease of carotene and the appearance of its free-radical metabolites seen in the *Cystoseira* vegetation from the polluted seawater areas can be interpreted as activation of antioxidative processes protecting photosynthetic apparatus of the algae against the induced oxidative stress and photodestruction [3].

**Conclusion.** To summarize, the larger Fc content, which is characteristic of the brown algae *C. barbata* and *C. crinita* from eutrophicated or heavy-metal-polluted habitats, suggests that this carotenoid plays a key role in developing adaptation of algal photosynthetic apparatus to the human-induced changes in the marine environment.

**Acknowledgement.** The authors are thankful to Dr. Takashi Maoka (Research Institute for Production Development, Kyoto, Japan) for valuable help in identification of fucoxanthin.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Burdin K. S., Zolotukhina E. Yu. *Tyazhelye metally v vodnykh rasteniyakh (akkumulyatsiya i toksichnost')*. Moscow: Dialog MGU, 1998, 202 p. (in Russ.).
2. GOST 26929-94. Syr'e i produkty pischevye. Podgotovka prob. Mineralizatsia dlja opredelenia sodержaniya toksichnyh elementov. Moscow: IPK Izdatel'stvo standartov. 2002. (in Russ.).
3. Gubanov V. I., Stelmakh L. V., Klimenko N. P. Complex assessments of the Sevastopol offshore water quality (the Black Sea). *Ekologiya morya*, 2002, iss. 62, pp. 76–80. (in Russ.).
4. Kuftarkova E. A., Rodionova N. Yu., Gubanov V. I., Bobko N. I. Hydrochemical characteristics of several bays of Sevastopol coast. *Trudy YugNIRO*, 2008, vol. 46, pp. 110–117. (in Russ.).
5. Prazukin A. V. A phenomenological description of *Cystoseira barbata* branches growth as a basis of their ontogeny division into periods. *Ekologiya morya*, 1983, iss. 13, pp. 49–58. (in Russ.).
6. Teyubova V. F. Features of the accumulation of heavy metals in thalli of different ages of species *Cystoseira* (the Novorossiysk Bay, the Black Sea). *Morskoj ekologicheskiy zhurnal*, 2011, vol. 10, no. 3, pp. 67–75. (in Russ.).
7. Firsov Yu. K. Relation of physiological functions of *Cystoseira* *Thallus* morphological elements to their age and structure. *Biologiya morya*, 1978, iss. 44, pp. 68–74. (in Russ.).
8. Khaylov K. M., Kovardakov S. A., Prazukin A. V. Balansovye usloviya podderzhaniya kachestva morskoi sredi v rekreatsionnykh akvatoriyakh. *Geopolitika i ekogeodinamika regionov*, 2005, vol. 1, iss. 2, pp. 75–82. (in Russ.).
9. Yatsenko G. K. Fiziologicheskie osobennosti chernomorskoy buroy vodorosli *Cystoseira barbata* (Good et Wood) Ag. : avtoref. diss. ... kand. biol. nauk. Odessa, 1963, 14 p. (in Russ.).
10. Campbell S. A. Seasonal cycles in the carotenoid content in *Mytilus edulis*. *Marine Biology*, 1969, vol. 4, pp. 227–232. doi: [10.1007/BF00393898](https://doi.org/10.1007/BF00393898).
11. Cock J. M., Sterck L., Rouze P., Scornet D., Allen A. E., Amoutzias G., Anthouard V., Artiguenave F., Aury J. M., Badger J. H., Beszteri B., Billiau K., Bonnet E., Bothwell J. H., Bowler C. The *Ectocarpus* genome and the independent evolution of multicellularity in brown algae. *Nature*, 2010, vol. 465, pp. 617–621. doi: [10.1038/nature09016](https://doi.org/10.1038/nature09016).
12. Costa G., Felix M., Simioni C., Ramlov F., Oliveira E. Effects of copper and lead exposure on the ecophysiology of the brown seaweed *Sargassum cymosum*. *Protoplasma*, 2016, vol. 253, no. 1, pp. 111–125. doi: [10.1007/s00709-015-0795-4](https://doi.org/10.1007/s00709-015-0795-4).
13. Kanazawa K., Ozak Y., Hashimoto T., Das S., Matsushita S., Hirano M., Okada T., Komoto A., Mori N., Nakatsuka M. Commercial-scale preparation of biofunctional fucoxanthin from waste parts of brown sea algae *Laminaria japonica*. *Food Science and Technology Research*, 2008, vol. 14, pp. 573–582. doi: [10.3390/md11072667](https://doi.org/10.3390/md11072667).
14. Mikami K., Hosokawa M. Biosynthetic pathway and health benefits of fucoxanthin, an algae-specific xanthophyll in brown seaweeds. *International Journal of Molecular Sciences*, 2013, vol. 14, pp. 13763–13781. doi: [10.3390/ijms140713763](https://doi.org/10.3390/ijms140713763).
15. Ryabushko V., Prazukin A., Popova E., Nekhoroshev M. Fucoxanthin of the brown alga *Cystoseira barbata* (Stackh.) C. Agardh from the Black Sea. *Journal of Black Sea / Mediterranean Environment*, 2014, vol. 20, no. 2, pp. 108–113.
16. Souza P., Ferreira L., Pires N., Filho P. Algae of economic importance that accumulate cadmium and lead: a review. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 2012, vol. 22, pp. 825–837.
17. Vollenweider R., Giovanardi F., Montanari G., Rinaldi A. Characterization of the trophic conditions of marine coastal waters with special reference to the NW Adriatic Sea: proposal for a trophic scale, turbidity and generalized water quality index. *Environmetrics*, 1998, vol. 9, pp. 329–357.

**ФУКОКСАНТИН И ТЯЖЁЛЫЕ МЕТАЛЛЫ  
В БУРЫХ ВОДОРΟΣЛЯХ РОДА *CYSTOSEIRA* С. AGARDH  
ИЗ АКВАТОРИЙ С РАЗЛИЧНЫМ АНТРОПОГЕННЫМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ  
(ЧЁРНОЕ МОРЕ)**

**В. И. Рябушко, А. В. Празукин, Е. В. Гуреева, Н. И. Бобко,  
Н. П. Ковригина, М. В. Нехорошев**

Институт морских биологических исследований им. А. О. Ковалевского РАН, Севастополь, Россия  
E-mail: [rabushko2006@yandex.ru](mailto:rabushko2006@yandex.ru)

Бурые водоросли являются признанными биоиндикаторами загрязнения прибрежных морских вод тяжёлыми металлами. Сравнение морфологических и функциональных характеристик водорослей, обитающих в различных экологических условиях, необходимо для понимания механизмов адаптации гидробионтов к антропогенным изменениям окружающей среды. Цель исследования — определение количества фукоксантина и тяжёлых металлов в ветвях бурых водорослей *Cystoseira barbata* (Stackhouse) С. Agardh и *Cystoseira crinita* Duby в акваториях с различным уровнем антропогенной нагрузки. Содержание фукоксантина в пробах определяли методом тонкослойной хроматографии, тяжёлых металлов — атомно-абсорбционной спектрофотометрии. Максимальная концентрация фукоксантина ( $3 \text{ мг} \cdot \text{г}^{-1}$  сухой массы), свинца ( $48.5 \text{ мкг} \cdot \text{г}^{-1}$ ), цинка ( $62.6 \text{ мкг} \cdot \text{г}^{-1}$ ) и кадмия ( $3.2 \text{ мкг} \cdot \text{г}^{-1}$ ) содержится в ветвях водорослей возрастом от 2 до 3 месяцев. Концентрация каротиноида в ветвях *C. barbata* в 1.5 раза выше, чем у *C. crinita*. Цистозиры, обитающие в эвтрофной бухте, содержат большее количество пигмента и цинка, чем макрофиты из открытых акваторий. Повышенное содержание фукоксантина в бурых водорослях, обитающих в эвтрофных и загрязнённых тяжёлыми металлами акваториях, свидетельствует о важной роли каротиноида в адаптации фотосинтетического аппарата водорослей к условиям антропогенных изменений окружающей среды.

**Keywords:** бурые водоросли, *Cystoseira*, возраст, тяжёлые металлы, фукоксантин, Чёрное море

ОБЗОРЫ

УДК 574.5(285.32)(477.75)

**КРАТКИЙ ОБЗОР ФОТОТРОФОВ ГИПЕРСОЛЁНЫХ ОЗЁР И ЛАГУН КРЫМА.  
РАЗНООБРАЗИЕ, ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ РОЛЬ, ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ**

© 2017 г. **Н. В. Шадрин**<sup>1</sup>, канд. биол. наук, в. н. с., **Е. В. Ануфриева**<sup>1</sup>, канд. биол. наук, с. н. с.,  
**С. Н. Шадрина**<sup>2</sup>, асп.

<sup>1</sup>Институт морских биологических исследований им. А. О. Ковалевского РАН, Севастополь, Россия

<sup>2</sup>Ботанический институт им. В. Л. Комарова РАН, Санкт-Петербург, Россия

E-mail: [snickolai@yandex.ru](mailto:snickolai@yandex.ru)

Поступила в редакцию 05.02.2017 г. Принята к публикации 23.06.2017 г.

Широко распространённые гиперсолёные водоёмы относятся к числу наиболее экстремальных биотопов нашей планеты. Необходимость приспособления организмов к существованию в полиэкстремальной среде обусловила выработку у них разнообразных адаптационных механизмов с синтезом уникальных вторичных метаболитов. Это делает весьма перспективным использование гидробионтов, обитающих в данных биотопах, для развития разных направлений биотехнологии и аквакультуры. В многочисленных гиперсолёных водоёмах Крыма существуют три группы фототрофов, которые используют разные типы фототрофии: кислородный фотосинтез (цианобактерии, водоросли и цветковые растения), анакислородный фотосинтез (пурпурные и зелёные бактерии) и бактериородопсиновую протонную помпу (археи). В данной работе обсуждаются разнообразие и роль этих групп фототрофов в гиперсолёных озёрах и лагунах Крыма и возможности их практического использования.

**Ключевые слова:** фототрофные организмы, первичная продукция, осмолиты, цианотоксины, биотехнология

Широко распространённые гиперсолёные водоёмы (солёность выше 35 г·л<sup>-1</sup>) относятся к числу наиболее экстремальных биотопов планеты [6, 25, 30, 33]. Их экстремальность определяется не только высокой солёностью, но и другими факторами (температурой, содержанием кислорода и т. д.) [16, 30]. Необходимость приспособления организмов к существованию в полиэкстремальной среде обусловила выработку у них разнообразных адаптационных механизмов с синтезом уникальных вторичных метаболитов. В частности, почти все фототрофы синтезируют осмолиты — вещества, обеспечивающие их осмоадаптацию [6, 21, 22, 28]. Это делает весьма перспективным использование гидробионтов, обитающих в данных биотопах, для развития разных направлений биотехнологии и аквакультуры [20, 26, 29].

Функционирование любой экосистемы осуществляется при постоянном поступлении в неё энергии. Энергетический вход в экосистемы гиперсолёных вод намного более диверсифицирован, чем в таковые пресноводных и морских [17, 26, 27, 33]. В «нормальных» экосистемах поступление энергии обеспечивается в основном кислородным фотосинтезом. В экосистемы ряда экстремальных местообитаний, включая гиперсолёные воды, поступление энергии обеспечивается тремя типами фототрофии и разными механизмами хемолитотрофии [6, 31]. Реализуемые типы фототрофии:

1. Светозависимая протонная помпа с использованием бактериородопсина, работа которой реализуется галобактериями — археями. Механизм действует при самой высокой солёности.

2. Аноксигенный фотосинтез с использованием бактериохлорофиллов у зелёных и пурпурных бактерий, а также гелиобактерий. В качестве донора протонов используется не вода, а другие вещества (у пурпурных бактерий — сероводород, с выделением не кислорода, а серы). При этом следует отметить, что не все аноксигенные фототрофы являются первичными продуцентами. Некоторые из них не потребляют  $\text{CO}_2$ , а получают углерод из органического вещества. Эффективность синтеза органического вещества в этом случае увеличивается, т. к. на сам синтез используется световая энергия.
3. Кислородный фотосинтез с использованием хлорофиллов, который реализуется цианобактериями, водорослями и цветковыми растениями.

Исследование фототрофных организмов в многочисленных гиперсолёных водоёмах Крыма имеет долгую историю [2, 4, 5, 8, 9, 11–15, 18, 19], тем не менее многие их таксоны, включая архей, всё ещё плохо изучены [2]. Изучение разнообразия фототрофов в водоёмах Крыма с использованием молекулярно-генетических методов идентификации в природных местообитаниях по-настоящему ещё не начато. Основной вклад в первичную продукцию этих биотопов чаще всего обеспечивают оксигенные фототрофы. Их разнообразие в гиперсолёных водоёмах Крыма велико: известно не менее чем о 110 видах цианобактерий, массово развивающихся в планктоне и бентосе. В планктоне найдено около 70 видов эукариотных водорослей различных порядков, в бентосе к настоящему времени изучены только диатомовые — 74 вида. Среди многоклеточных фототрофов обнаружено 6–7 видов зелёных нитчатых водорослей и 4–5 видов цветковых растений. Разнообразие аноксигенных фототрофов значительно ниже (примерно 12–14 видов). Из галобактерий отмечен лишь широко распространённый в таких местообитаниях вид *Haloquadratum walsbyi* Burns et al. 2007 (Halobacteriales) [25].

Каждый тип фототрофии имеет свой диапазон и оптимум абиотических факторов. Диапазоны частично перекрываются, поэтому представители разных типов в озёрах Крыма при солёности до  $350 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1}$  могут присутствовать в водоёме одновременно. Оксигенный и аноксигенный фотосинтезы по своему вкладу в продукцию органического вещества планктона и бентоса водоёмов могут быть близки [10]. Доля пурпурных бактерий в матах нитчатых зелёных водорослей обычно увеличивается от весны к осени [6, 7, 12], и пурпурные бактерии в матах могут доминировать. Соотношение разных типов фототрофии при динамике условий среды в озёрах Крыма всё ещё плохо изучено. Анализируя роль аноксигенного фотосинтеза в экосистемах, следует помнить, что необходимая для его протекания минимальная интенсивность света примерно в 4 раза меньше, чем для оксигенного. Количественный вклад деятельности бактериородопсиновой помпы в синтез органического вещества в водоёмах Крыма ещё не оценён, но установлено, что доля галобактерий при высокой солёности увеличивается [3]. При массовом развитии галобактерий вода окрашивается в розовато-сливовый цвет, в это время на берегах озёр ощущается явственный фиалковый запах. Это явление авторы неоднократно наблюдали на озере Кояшском (Керченский п-ов). В такие периоды в пробах воды под микроскопом отмечаются только кристаллоподобные плоские квадратные клетки *H. walsbyi* [25].

Структура первичной продукции с ростом солёности также меняется. Существование в гиперсолёных условиях требует увеличения синтеза совместимых осмолитов [6, 21, 22, 28]. Поэтому значительную долю в суммарной первичной продукции составляют глицерол, бетаин и другие органические осмолиты, которые предохраняют клетки от осмотического стресса при высокой солёности и высыхании. Большая концентрация осмолитов в биомассе микроводорослей позволяет разным видам животных-осмоконформеров, потребляющих эти водоросли, существовать в гиперсолёных водоёмах [1, 32].

В пресных и морских водах в виде экзометаболитов обычно выделяется не более 5–10 % суммарной первичной продукции. С ростом солёности увеличивается доля первичной продукции, которая выделяется в окружающую среду в виде экзополисахаридов, достигая более чем 70 % всех синтезируемых углеводов [12, 31]. Это ведёт к тому, что большая часть суммарной первичной продукции может потребляться гетеротрофными организмами только путём активной осмотрофии [6, 17, 31], что

обуславливает специфику гетеротрофного звена: основная доля первичной продукции используется гетеротрофами через осмотротрофные трофические цепи, а не через фаготрофные, как в пресноводных или морских экосистемах. Благодаря этому роль простейших в трофических сетях этих биотопов возрастает [31]. Ещё одна особенность экосистем гиперсолёных вод по сравнению с таковыми пресноводных водоёмов и морей — то, что в донных осадках гиперсолёных водоёмов захоранивается очень большая доля суммарной первичной продукции (до 95 %). Это создаёт предпосылку интенсивного формирования лечебных грязей, в образовании которых участвуют и гетеротрофы, в частности жаброногие рачки *Artemia* [24].

Ведущими в создании первичной продукции могут быть различные группировки фототрофов, соответствующие разным альтернативным состояниям экосистем [17, 31]. В гиперсолёных водоёмах Крыма изучение их развития и влияния на него разных факторов только начинается. Можно выделить следующие основные устойчивые группировки, которые реализуются в разные годы и/или сезоны в одном и том же водоёме: 1) фитопланктон при разных пропорциях оксигенных и аноксигенных фототрофов; 2) фитопланктон с доминированием галобактерий (архей); 3) плавучие маты зелёных нитчатых водорослей; 4) заросли цветкового растения рупии, часто обросшие зелёными нитчатыми водорослями; 5) донные альго-бактериальные биоплёнки; 6) донные маты с преобладанием пурпурных бактерий.

В разнообразии видов и группировок фототрофов озёр Крыма заложен огромный потенциал их использования в биотехнологии и аквакультуре. Существовая в крайне экстремальной среде, фототрофы могут использоваться при очистке сточных вод, в том числе токсичных. В частности, циано- и альго-бактериальные плёнки могут быть использованы в системах очистки промышленных стоков от тяжёлых металлов. Для фармакологии и парфюмерии важны вторичные метаболиты, синтезируемые фототрофами гиперсолёных местообитаний. Приведём пример: среди цианобактерий в гиперсолёных водах Крыма отмечено 17 родов, 11 из которых включают потенциально токсигенные виды, продуцирующие цитотоксины, гепатотоксины и нейротоксины [19]. Эти токсины могут использоваться в разработке новых лекарств. Из проб, собранных в водоёмах на Керченском полуострове, выделены и исследованы два штамма вида *Nostoc cf. linckia* Bornet ex Bornet & Flahault 1886, характеризующиеся токсичностью. Выделенный из *Nostoc* нейротоксин ностококарболин может быть использован при создании новых перспективных лекарств для лечения болезней Альцгеймера и Паркинсона [19].

Этот краткий очерк показывает необходимость дальнейших исследований фототрофного звена экосистем гиперсолёных водоёмов Крыма и всестороннего анализа возможностей использования фототрофных организмов в биотехнологии и аквакультуре.

Работа выполнена при частичной поддержке гранта РФФИ № 16-05-00134 А.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Ануфриева Е. В. Cyclopoidea в гиперсолёных водоёмах Крыма и мира: разнообразие, влияние факторов среды, экологическая роль // *Журнал Сибирского федерального университета. Серия Биология*. 2016. Т. 9, № 4. С. 398–408. [Anufriieva E. V. Cyclopoidea in hypersaline waters of the Crimea and the world: diversity, the impact of environmental factors, ecological role. *Zhurnal Sibirskogo Federal'nogo Universiteta. Biologiya*, 2016, vol. 9, no 4, pp. 398–408. (in Russ.)].
2. Ануфриева Е. В., Шадрин Н. В., Шадрина С. Н. История изучения биоразнообразия гиперсолёных водоёмов Крыма (обзор) // *Аридные экосистемы*. 2017. Т. 23, № 1 (70). С. 67–74. [Anufriieva E. V., Shadrin N. V., Shadrina S. N. History of research on biodiversity in Crimean hypersaline waters. *Aridnye Ekosistemy*, 2017, vol. 23, no. 1 (70), pp. 67–74. (in Russ.)].
3. Васильева Л. В., Берестовская Ю. Ю., Самылина О. С., Герасименко Л. М., Шадрин Н. В. Сезонные изменения гетеротрофного бактериопланктона в солёных озёрах Крыма // *Морской экологический журнал*. 2008. Т. 7, № 4. С. 40. [Vasil'eva L. V., Berestovskaya Yu. Yu., Samylina O. S.,

- Gerasimenko L. M., Shadrin N. V. Seasonal changes of bacterioplankton in the Crimean saline lakes. *Morskoy ekologicheskij zhurnal*, 2008, vol. 7, no. 4, pp. 40. (in Russ.).
4. Горленко В. М. Фотосинтезирующие бактерии водоемов южной части Крымского полуострова // *Микробиология*. 1968. Т. 37, № 4. С. 745–748. [Gorlenko V. M. Photosynthetic bacteria in reservoirs of southern part of Crimean Peninsula. *Mikrobiologiya*, 1968, vol. 37, no. 4, pp. 745–748. (in Russ.).]
  5. Горленко В. М., Компанцева Е. И., Короткое С. А., Пучкова Н. Н., Саввичев А. С. Условия развития и видовой состав фототрофных бактерий в соленых мелководных водоемах Крыма // *Известия АН СССР. Серия биологическая*. 1984. № 3. С. 362–374. [Gorlenko V. M., Kompantseva E. I., Korotkoe S. A., Puchkova N. N., Savvichev A. S. Conditions of development and species composition of phototrophic bacteria in the saline shallow waters of the Crimea. *Izvestiya Akademii nauk SSSR. Seriya biologicheskaya*, 1984, no 3, pp. 362–374. (in Russ.).]
  6. Заварзин Г. А. *Лекции по природоведческой микробиологии*. Москва: Наука, 2003. 348 с. [Zavarzin G. A. *Lectsii po prirodovedcheskoj mikrobiologii*. Moscow: Nauka, 2003, 348 p. (in Russ.).]
  7. Заварзин Г. А., Герасименко Л. М., Жилина Т. Н. Цианобактериальные сообщества гиперсоленых лагун Сиваша // *Микробиология*. 1993. Т. 62, вып. 6. С. 1113–1126. [Zavarzin G. A., Gerasimenko L. M., Zhilina T. N. Cyanobacterial Communities in Hypersaline Lagoons of Lake Sivash. *Mikrobiologiya*, 1993, vol. 62, iss. 6, pp. 1113–1126. (in Russ.).]
  8. Исаченко Б. Л. Микробиологические исследования над грязевыми озерами // *Труды Геологического комитета*. 1927. Вып. 148. С. 15–21. [Isachenko B. L. Mikrobiologicheskie issledovaniya nad gryazevymi ozerami (Microbiological Analysis over Mud Lakes). *Trudy Geologicheskogo komiteta*, 1927, iss. 148, pp. 15–21. (in Russ.).]
  9. Мейер К. И. Сиваш и его флора // *Естествознание и география*. 1916. Т. 21, № 1–2. С. 1–19. [Meier K. I. Flora of Sivash Lake. *Estestvoznaniye i Geografiya*, 1916, vol. 21, nos. 1–2, pp. 1–19. (in Russ.).]
  10. Миходюк О. С., Герасименко Л. М., Венецкая Ю. Ю., Шадрин Н. В. Аноксигенный фотосинтез в планктоне соленых озер Крыма: первые оценки // *Морской экологический журнал*. 2008. Т. 7, № 3. С. 50. [Mikhodyuk O. S., Gerasimenko L. M., Venetskaya Y. Y., Shadrin N. V. Anoxygenic photosynthesis in plankton of the Crimean saline lakes: first evaluation. *Morskoy ekologicheskij zhurnal*, 2008, vol. 7, no 3, pp. 50. (in Russ.).]
  11. Неврова Е. Л., Шадрин Н. В. Донные диатомовые водоросли гиперсоленых водоемов Крыма // *Микроводоросли Черного моря: проблемы сохранения биоразнообразия и биотехнологического использования*. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2008. С. 112–118. [Nevrova E. L., Shadrin N. V. Bottom diatoms in the Crimean hypersaline water bodies. In: *The Black Sea microalgae: problems of biodiversity preservation and biotechnological usage*. Sevastopol: EKOSI-Gidrofizika, 2008, pp. 112–118. (in Russ.).]
  12. Празукин А. В., Бобкова А. Н., Евстигнеева И. К., Танковская И. Н., Шадрин Н. В. Структура и сезонная динамика фитокомпоненты биокосной системы морского гиперсоленого озера на мысе Херсонес (Крым) // *Морской экологический журнал*. 2008. Т. 7, № 1. С. 61–79. [Prazukin A. V., Bobkova A. N., Evstigneeva I. K., Tankovskaya I. N., Shadrin N. V. Structure and seasonal dynamics of the phytocomponent of the bioinert system marine hypersaline lake on cape of Chersonesus (Crimea). *Morskoy ekologicheskij zhurnal*, 2008, vol. 7, no 1, pp. 61–79. (in Russ.).]
  13. Садогурский С. Е. К изучению донной растительности соленых озер Керченского полуострова (Крым) // *Бюллетень Никитского ботанического сада*. 2007. Вып. 94. С. 20–24. [Sadogursky S. E. The benthic vegetation studying of salt lakes on Kerch peninsular (Crimea). *Bulleten Nikitskogo Botanicheskogo sada*, 2007, iss. 94, pp. 20–24. (in Russ.).]
  14. Сеничева М. И., Губелит Ю. И., Празукин А. В., Шадрин Н. В. Фитопланктон гиперсоленых озер Крыма // *Микроводоросли Черного моря: проблемы сохранения биоразнообразия и биотехнологического использования*. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2008. С. 93–99. [Senicheva M. I.,

- Gubelit Y. I., Prazukin A. V., Shadrin N. V. Phytoplankton of the Crimean hypersaline lakes. In: *The Black Sea microalgae: problems of biodiversity preservation and biotechnological usage*. Sevastopol: EKOSI-Gidrofizira, 2008, pp. 93–99. (in Russ.).
15. Федченко Г. П. О самосадочной соли и соляных озерах Каспийского и Азовского бассейнов // *Известия императорского общества любителей естествознания, антропологии и этнографии*. 1870. Т. 5. Вып. 1. 112 с. [Fedchenko G. P. The deposited lump salt and salt lakes of the Caspian and Azov sea basins. *Izvestiya Imperatorskogo Obshchestva Lyubitelei Estestvoznaniya, Antropologii i Etnografii*, 1870, vol. 5, iss. 1, 112 p. (in Russ.)].
  16. Шадрин Н. В. Ракообразные в гиперсоленых водоемах: специфика существования и адаптации // *Актуальные проблемы изучения ракообразных континентальных вод: материалы лекций и докл. Междунар. шк.-конф. (Борок, 5-8 ноября 2012 г.)*. Кострома: Костромской печатный дом, 2012. С. 316–318. [Shadrin N. V. Crustaceans in hypersaline waters: specifics of existence and adaptations. In: *Actualnyye problemy izucheniya rakoobraznykh kontinentalnykh vod: lektsii i doklady. Mezhdunar. shkoly-konferentsii*. (Borok, 5-8 Nov., 2012). Kostroma: Kostromskoj pechatnyi dom, 2012, pp. 316–318. (in Russ.)].
  17. Шадрин Н. В. Альтернативные устойчивые состояния озерных экосистем и критические солёности: есть ли жесткая связь? // *Труды зоологического института РАН*. 2013. Прил. 3. С. 214–221. [Shadrin N. V. Alternative stable states of lake ecosystems and critical salinities: is there a rigid connection? *Proceedings of the Zoological Institute, RAS*, 2013, suppl. 3, pp. 214–221. (in Russ.)].
  18. Шадрин Н. В., Миходюк О. С., Найданова О. Г., Волошко Л. Н., Герасименко Л. М. Донные цианобактерии гиперсоленых озер Крыма // *Микроводоросли Черного моря: проблемы сохранения биоразнообразия и биотехнологического использования*. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2008. С. 100–112. [Shadrin N. V., Mikhodyuk O. S., Naidanova O. G., Voloshko L. N., Gerasimenko L. M. Botton cyanobacteria of the Crimean hypersaline lakes. In: *The Black Sea microalgae: problems of biodiversity preservation and biotechnological usage*. Sevastopol: EKOSI-Gidrofizika, 2008, pp. 100–112. (in Russ.)].
  19. Шадрина С. Н., Волошко Л. Н., Шадрин Н. В. Потенциально токсичные цианобактерии в гиперсоленых водоемах Крыма // *Морской экологический журнал*. 2010. Т. 9, № 2. С. 22. [Shadrina S. N., Voloshko L. N., Shadrin N. V. Potentially toxic cyanobacteria in the hypersaline waterbodies of the Crimea. *Morskoy ekologicheskij zhurnal*, 2010, vol. 9, no 2, pp. 22. (in Russ.)].
  20. Anufrieva E. Copepods in hypersaline waters worldwide: diversity, environmental, social, and economic roles. *Acta Geologica Sinica* (English Edition), 2014, vol. 88 (s1), pp. 43–45.
  21. Ben-Amotz A., Sussman I., Avron M. Glycerol production by *Dunaliella*. *Experientia*, 1982, vol. 38, pp. 49–52.
  22. Chen H., Jiang J. G. Osmotic responses of *Dunaliella* to the changes of salinity. *Journal of Cellular Physiology*, 2009, vol. 219, pp. 251–258.
  23. Grant W. D. Life at low water activity. *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences*, 2004, vol. 359, pp. 1249–1267.
  24. Ivanova M. B. Quantitative estimation of zooplankton contribution to the processes of mud formation in hypersaline lakes in the Crimea. *Russian Journal of Aquatic Ecology*, 1994, vol. 3, pp. 63–74.
  25. Oren A. *Halophilic microorganisms and their environments*. Dordrecht: Kluwer Sci. Publ., 2002, 575 p.
  26. Oren A. Microbial metabolism: importance for environmental biotechnology. In: *Environmental biotechnology*. USA: Humana Press, 2010, pp. 193–255.
  27. Oren A. Thermodynamic limits to microbial life at high salt concentrations. *Environmental Microbiology*, 2011, vol. 13, pp. 1908–1923.
  28. Pierce S. K., Edwards S. C., Mazzocchi P. H., Klingler L. J., Warren M. K. Proline betaine: a unique osmolyte in an extremely euryhaline osmoconformer. *The Biological Bulletin*, 1984, vol. 167, pp. 495–500.

29. Renaud S. M., Parry DL., Thinh L. V. Microalgae for use in tropical aquaculture 1: Gross chemical and fatty acid composition of twelve species of microalgae from the Northern Territory, Australia, *Journal of Applied Phycology*, 1994, vol. 6, pp. 337–345.
30. Shadrin N. V. Hypersaline lakes as the polyextreme habitats for life. In: *Introduction to salt lakes sciences*. Beijing: Science Press, 2017, pp. 173–178.
31. Shadrin N. V. Peculiarities of structure, functioning and dynamics of the salt lake ecosystems. In: *Introduction to salt lakes sciences*. Beijing: Science Press, 2017, pp. 179-186.
32. Shadrin N. V., Anufrieva E. V. Dependence of *Arctodiaptomus salinus* (Calanoida, Copepoda) halotolerance on exoosmolytes: new data and a hypothesis. *Journal of Mediterranean Ecology*, 2013, vol. 12, pp. 21–26.
33. Shadrin N., Zheng M., Oren A. Past, present and future of saline lakes: research for global sustainable development. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 2015, vol. 33, no 6, pp. 1349–1353.

### **BRIEF REVIEW OF PHOTOTROPHS IN THE CRIMEAN HYPERSALINE LAKES AND LAGOONS: DIVERSITY, ECOLOGICAL ROLE, THE POSSIBILITY OF USING**

**N. V. Shadrin<sup>1</sup>, E. V. Anufrieva<sup>1</sup>, S. N. Shadrina<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Kovalevsky Institute of Marine Biological Research RAS, Sevastopol, Russian Federation

<sup>2</sup>Komarov Institute of Botany of RAS, St. Petersburg, Russian Federation

E-mail: [snickolai@yandex.ru](mailto:snickolai@yandex.ru)

Widespread, including in Crimea, hypersaline waters are among the most extreme habitats of the planet. The need to adapt organisms to living in polyextreme environment has led to the development of a variety of adaptive mechanisms with a synthesis of unique secondary metabolites, which makes organisms dwelling hypersaline waters very promising to use them in different areas of biotechnology and aquaculture. There are three groups of phototrophs using different types of phototrophy in the Crimean hypersaline waters: oxygenic photosynthesis (cyanobacteria, microalgae, and plants), anoxygenic photosynthesis (purple and green bacteria) and proton bacteriorhodopsin pump (archaea). Diversity and roles of these groups in the Crimean lakes and lagoons as well as some perspectives of their practical use are discussed.

**Keywords:** phototrophic organisms, primary production, osmolytes, cyanotoxins, biotechnology

ИСТОРИЧЕСКИЕ ХРОНИКИ

УДК 001:[58+582.26/27]

**ХАРЬКОВ В СТАНОВЛЕНИИ Н. В. МОРОЗОВОЙ-ВОДЯНИЦКОЙ  
КАК БОТАНИКА-АЛЬГОЛОГА**© 2017 г. **К. В. Русанов**, независимый исследователь

г. Харьков, Украина

E-mail: [kokamoka51@gmail.com](mailto:kokamoka51@gmail.com)

Поступила в редакцию 15.05.2017 г. Принята к публикации 23.06.2017 г.

В работе уточнён ряд фактов и дат харьковского периода жизни (1893–1920 гг.) ботаника-альголога Нины Васильевны Морозовой-Водяницкой, получившей образование на Харьковских высших женских курсах, преподававшей на них (а также в других учебных заведениях города) и исследовавшей водоросли под руководством В. М. Арнольди, профессора кафедры ботаники Харьковского университета и Высших курсов. Происхождение из богатой купеческой семьи позволило Н. В. Морозовой получить среднее и высшее образование. Харьковские высшие женские курсы были крупным, быстро развивавшимся негосударственным высшим учебным заведением, приближавшимся к классическому университету по уровню преподавания естественных наук, оснащению кафедр и лабораторий, числу слушательниц. Кафедра ботаники, на которой Н. В. Морозова училась и работала лаборантом, а затем — ассистентом, обеспечивала учившихся обширным практикумом, участием в экскурсиях за город и в экспедициях по водоёмам России. Слушательницы Курсов имели возможность заниматься научной работой в лабораториях и на биологической станции на реке Северский Донец. Среди слушательниц и младших преподавателей — коллег Н. В. Морозовой-Водяницкой, составлявших научную школу В. М. Арнольди, — было немало известных в будущем ботаников, альгологов, гидробиологов, ставших профессорами, членами-корреспондентами и т. п. Сделан вывод, что научно-педагогическая среда, окружавшая Н. В. Морозову-Водяницкую в Харькове, благоприятствовала становлению её как исследователя. Лишь тяжёлые условия Гражданской войны и разрухи задержали публикацию результатов первой работы молодого альголога, начатой в 1913 г.

**Ключевые слова:** Н. В. Морозова-Водяницкая, ботаника, альгология, Харьковские высшие женские курсы, Харьковский университет, профессор В. М. Арнольди, водоросли рода *Pediastrum*

Известный советский ботаник-альголог Нина Васильевна Морозова-Водяницкая (1893–1954 гг.) родилась в Харькове, окончила в 1915 г. Харьковские высшие женские курсы (далее — ХВЖК), где работала до 1920 г. под руководством учителя — профессора кафедры ботаники Харьковского университета Владимира Митрофановича Арнольди (1871–1924 гг.). Однако этот период биографии Нины Васильевны описан в некрологах ([4, 15] и др.), мемуарах её мужа В. А. Водяницкого (1892–1971 гг.) [3] и постсоветских публикациях ([1, 17] и др.) скупно и отчасти противоречиво. Уточнить некоторые факты и даты позволяют материалы личного дела Н. В. Морозовой-Водяницкой [6] в архиве Института морских биологических исследований им. А. О. Ковалевского РАН и харьковские источники начала XX в.

Её социальный статус биографы обычно умалчивали; лишь недавно о Н. В. Морозовой-Водяницкой было лаконично сказано: «родилась в небогатой купеческой семье» [17]. Но в 1938 г. она сообщала о себе [6]: «Родилась в г. Харькове 10 января (ст. ст.) 1893 г. (23 января по н. ст.). Отец — харьковский

купец (2-й гильдии), сын крестьянина Харьковского уезда. Мать — сирота, мещанка г. Ростова. <...> Семья состояла из 11 человек: отец, мать, 4 сына и 5 дочерей».

Действительно, во всех городских адресных справочниках с 1887 по 1917 г. («Харьковский календарь», «Адрес-календарь Харькова», «Весь Харьков») упоминается купец 2-й гильдии Василий Дмитриевич Морозов — оптовый торговец кожевенными товарами. Его фирма располагалась по адресу: пл. Торговая (Павловская), д. 16, а проживал купец всё это время на ул. Сумской, в собственном доме (№ 74). Последний адрес указан также как место проживания Нины Васильевны, а затем — и В. А. Водяницкого.



**Рис. 1.** Дом В. Д. Морозова (справа) в начале XX в.

**Fig. 1.** House of V. D. Morozov (on the right) at the beginning of the XX century

Торговля приносила В. Д. Морозову неплохую прибыль. Согласно «Спискам домовладельцев Харькова», в 1887 г. купец приобрел участок на ул. Сумской, 74, со строением стоимостью 350 руб., а в начале XX в. здесь стояло трёхэтажное каменное здание стоимостью 16 800 руб. (рис. 1). Оно стоит и сегодня — с двумя надстроенными этажами. В 1909 г. Морозов-отец владел и ещё одним домом — по ул. Петинской, стоимостью 1500 руб.

Итак, детство и юность у Нины Морозовой были обеспеченными, что открывало ей дорогу к основательному образованию. По словам автора [4], Нина в детстве очень любила животных: выкармливала птенцов лесных птиц, несколько лет держала белую крысу и с интересом ухаживала за аквариумом. И твёрдо решила, что станет биологом. Она писала о себе [6]: «Образование, среднее и высшее, я получила в г. Харькове. В 1909 г. окончила 7 классов гимназии с золотой медалью, а в 1910 г. — специальный педагогический класс (по математике и русскому языку). <...> Самостоятельный заработок имею с 16 лет. С 1909 по 1912 г. давала частные уроки по математике и физике. <...> В 1910 г. поступила на физико-математический факультет ХВЖК Общ. трудящ. женщ., выдержав при Харьковском университете экзамен на аттестат зрелости».

Эти Курсы учредило в 1907 г. Харьковское общество взаимопомощи трудящихся женщин [9]. Нина Морозова поступила на естественное отделение физико-математического факультета (где работало и

математическое отделение). Историко-филологический факультет ХВЖК имел историческое отделение и отделение словесности.

На Курсы принимались лица, окончившие не менее 7 классов казённых гимназий или равные им учебные заведения и представившие свидетельство о знании латинского языка либо обязавшиеся представить его не позже второго года обучения. Лица иудейского вероисповедания представляли свидетельства на право проживания в Харькове. Плата за слушание лекций вносилась вперёд. Для физико-математического факультета она составляла 100, а затем — 120 руб. в год.

ХВЖК быстро стали вполне серьёзным высшим учебным заведением. Преподавали здесь профессора Харьковского университета, по университетским же учебным планам. Слушательницы учились полные 4 года, а затем (вероятно, не все) — ещё и два «старших семестра». Окончившие получали свидетельство о прохождении курса и право держать экзамен в Государственной испытательной комиссии при университете.

ХВЖК пользовались популярностью, и число слушательниц быстро росло. Так, согласно отчёту [10], в 1909 г. их было 261, в 1910-м — 465, в 1911-м — 551, в 1912-м — 673, в 1913-м — 808, в 1914-м — 1004, а в 1915 г. — 1952 женщины. К 1917 г. продолжавшие расширяться ХВЖК стали неофициально называть «Харьковским женским университетом». Динамику развития физико-математического факультета отражают отчёты за 1912, 1914 и 1915 гг. В весеннем семестре 1912 г. на факультете числилось 245 слушательниц (204 — на естественном отделении, 41 — на математическом). В осеннем семестре 1912 г. — 296 женщин (234 и 62 соответственно). Окончивших в этом году ещё не было [11].

В 1914 г. факультет окончили 17 женщин. В весеннем семестре на нём учились 456 слушательниц (335 — на естественном отделении, 121 — на математическом), в осеннем — 497 женщин (369 и 128 соответственно) [12].

В 1915 г. влияние войны проявилось снижением числа слушательниц факультета (весенний семестр — 312 на естественном отделении и 105 на математическом; всего 417 женщин), а затем — резким ростом ввиду наплыва в Харьков беженок с Запада (осенний семестр — 824 слушательницы на естественном отделении и 170 на математическом; всего 994). Окончили факультет в 1915 г. 43 женщины, в том числе Н. В. Морозова [13].

В эти годы число профессоров физико-математического факультета ХВЖК составляло 15–20 человек, приват-доцентов было 8–10. Зато систематически росло число младших преподавателей (ассистентов, лаборантов): 18 человек в 1912 г. [11], 23 — в 1914-м [12], 37 — в 1915 г. [13]. Среди них всё больше было собственных выпускниц.

На факультете преподавались: богословие; физика (термодинамика, теория электричества, опытная физика) и метеорология; химия (неорганическая, аналитическая, органическая, физико-химия); зоология и сравнительная анатомия с эмбриологией; физиология животных; гистология и анатомия человека; ботаника; геология с палеонтологией; минералогия с кристаллографией; математика (элементарная и высшая); теоретическая механика (статика и динамика); астрономия [11].

На кафедре ботаники читали лекции три профессора: Л. В. Рейнгард (низшие споровые, анатомия растений, бактериология), В. М. Арнольди (морфология растений, споровые растения) и В. К. Залеский (физиология растений). Среди лаборантов были: В. Н. Васильева — в бактериологическом кабинете; Н. Т. Дедусенко — в ботаническом кабинете; М. Ф. Моисеева — в кабинете анатомии растений; Н. В. Морозова и А. И. Прошкина — при ботаническом кабинете, А. Б. Розенберг — в кабинете физиологии растений [13].

Укреплялась материальная база факультета. Между 1912 и 1915 гг. кабинеты ботаники и физиологии растений дополнились морфологическим отделением и бактериологическим кабинетом. К физическому кабинету добавился кабинет для практических занятий по физике, а к лабораториям органической и неорганической химии — физико-химическая лаборатория, лаборатории качественного и

количественного химического анализа. Зоологический кабинет разделился на два — зоологии позвоночных и беспозвоночных (кабинеты физиологии животных и анатомии с гистологией были все эти годы). Минералого-геологический кабинет в 1914 г. дополнился географическим.

Динамика развития ХВЖК требовала и расширения площадей. С 1910 г. Курсы арендовали трёхэтажное здание в пер. Армянском, д. 2; оно сохранилось до нашего времени.

Затем городская Дума выделила ХВЖК земельный участок в 1200 кв. саж. В 1913 г. на ул. Мирносицкой началось строительство нового корпуса по проекту академика архитектуры А. Н. Бекетова. Газета «Утро» писала 17.09.1913: «Здание ХВЖК будет трёхэтажное, с полуподвальным этажом, в котором разместятся: книгохранилище, химические материалы, кухня для столовой и пр. В первом этаже расположится ряд аудиторий, библиотека, канцелярия, столовая для курсисток, медицинский кабинет. Во втором этаже кроме учебных кабинетов разместятся: большая аудитория, расположенная амфитеатром, на 180–200 чел.; филологическая аудитория на 250–300 чел. с верхним светом (стеклянный потолок), которая будет использована для публичных собраний, заседаний. Здание будет оборудовано техническими усовершенствованиями: для передачи книг в библиотеку и физических приборов в аудитории устраиваются лифты, для прораствания растений будут сделаны два балкончика (на северную и южную стороны).

Постройка, начатая 19 августа с. г., сдана фирме Геронимус и Солуп. <...> По контракту здание должно быть закончено к 15 сентября 1914 г. Общая стоимость постройки сметой исчислена в 330 тыс. руб. (позже она достигла 382 тыс. руб. — К. Р.). В настоящий момент подвал закончен. В этом году предполагают здание подвести под крышу, а зимою — произвести все деревянные работы и отопление. <...>

Строительный комитет Общества располагает 120 тыс. руб., из которых 60 тыс. ассигновано Министерством народного просвещения, а 60 тыс. заняты под 5.5 %. <...> Для пополнения недостающей суммы комитет обратился за поддержкой к земствам соседних губерний, поставляющих главный контингент слушательниц, и к благотворителям».

Новый корпус ХВЖК имел водопроводную, газовую, электрическую сети. И 2 октября 1914 г. в нём, несмотря на войну, начались учебные занятия [12].

Весной 1915 г. руководство ХВЖК ходатайствовало о выделении Курсам дополнительного участка земли, мотивируя это необходимостью постройки здания для квартир слушательниц, расширения учебных площадей ввиду большого наплыва поступающих и намерения открыть новое отделение — агрономическое [10].

В автобиографии Н. В. Морозовой-Водяницкой [6] период обучения и работы на ХВЖК описан очень кратко: «В 1912 г. 19 лет была зачислена лаборантом при кафедре ботаники ХВЖК у проф. В. М. Арнольди, причём вела практические занятия по ботанике и заведовала музеем ботанического кабинета. В должности лаборанта состояла до 1915 г.

В 1915 г. окончила курсы и сдала гос. экзамены в Государ. испытательной комиссии при Харьковском университете, получив диплом I-й степени. В результате окончания вуза получила специальность ботаника-альголога. <...> В 1915 г. была зачислена штатным ассистентом той же кафедры и в этой должности состояла до 1921 г.».

Но в отчёте кафедры ботаники за 1912 г. [11] Н. В. Морозова не упомянута. В этом году в исполнение обязанностей лаборанта по предмету ботаники вступила Г. Невструева, прослушавшая курс лекций естественного отделения ХВЖК. Лаборантом кафедры был и М. Я. Савенков, состоявший при Ботаническом саду Харьковского университета. Савенков (1881–1920 гг.), в дальнейшем доцент, сопровождал в 1912 г. экскурсию слушательниц в Крым, где они осмотрели Севастопольскую биологическую станцию (СБС).

Не названа Н. В. Морозова и среди занимавшихся в 1912 г. исследованиями. В лаборатории проф. В. М. Арнольди работали г-жа Е. Цитко (окончила в 1915 г.), начавшая изучение мхов Полесья, и г-жа Гаврикова, продолжившая работу над галлами папоротников. В лаборатории проф. Л. В. Рейнгарда

слушательницы Зоя Фомина и Искуи Караханова (обе окончили в 1914 г.) проходили специальный практический курс по бактериологии. В лаборатории проф. В. К. Залесского шесть слушательниц работали над специальными темами; г-жа Маркс напечатала 3 научные работы на немецком языке [11].

Отчёт о деятельности ХВЖК в 1913 г. утрачен, поэтому первые упоминания о Н. В. Морозовой удалось найти в отчете за 1914 г. [12]. В числе её коллег — младших преподавателей — отметим лаборанта при гистологическом кабинете В. Л. Паули (1884–1955 гг.), в прошлом студента Харьковского университета, прошедшего практику на СБС. С ним, уже профессором, судьба сводила Нину Васильевну и в 1930-е (на Карадагской биологической станции), и после Великой Отечественной войны — в Севастополе.

В отчёте кафедры ботаники за 1914 г. отмечено, что в весеннем полугодии проф. В. М. Арнольди читал лекции по морфологии и систематике растений для 1-го курса, а для 2-го и 3-го курсов — по высшим споровым растениям. Практическими занятиями 1-го курса руководили практикантки Н. Дедусенко и Н. Морозова, со 2-м и 3-м курсами занимался ассистент Ботанического сада университета Л. Волков (1886–1963 гг.).

Лука Илларионович Волков исследовал альгофлору Чёрного моря со студенческих лет: в летние каникулы Общество испытателей природы при Харьковском университете командировало его на СБС. Летом 1911 г. С. А. Зернов, заведовавший станцией, взял студента в экспедицию на ледоколе «Гайдамак»; в результате увидела свет первая публикация Л. И. Волкова «О новой пресноводной багрянке *Laurencia Zernovi*» (1912). Следующим летом он участвовал в экспедиции С. А. Зернова к берегам Турции.

Работая в университете и ХВЖК, Волков занимался флорой и глубинным распределением макрофитов Каспийского моря, ездил в экспедиции на этот водоём (1913–1917 гг.). После Гражданской войны Л. И. Волков работал в Ростове-на-Дону — доцентом, затем профессором; не раз его пути пересекались с путями Н. В. Морозовой-Водяницкой.

В весеннем полугодии 1914 г. все слушательницы занимались на кафедре по 4 часа через неделю. В апреле и мае велись занятия на живом материале и предпринимались экскурсии в пригороды Харькова. Экскурсия в Святые Горы для 1-го курса и специалиток старших курсов была устроена 12 мая. Экскурсия для специалиток на Белое море для изучения флоры водорослей этого моря, а также по пути лежащих озёр была устроена 3 июля. В осеннем полугодии проф. В. М. Арнольди читал лекции по морфологии растений для 1-го курса и курс эволюционного учения — для старших курсов. Практическими занятиями (по 2 часа еженедельно) руководили Н. Дедусенко и Н. Морозова.

Тогда же кафедра переехала в новый корпус. Для ботанического кабинета было приобретено: «5 столов для специалиток и 1 большой со шкапиками; 1 большой шкаф для таблиц с сухими растениями, диван и другие необходимые вещи для кабинета. Продолжались устройство музея и разборка гербария...»

В отчёте факультета за 1915 г. [13] Н. В. Морозова значилась сначала лаборантом по кафедре ботаники. Практические занятия велись в аудитории № 9 и в оборудованных боковых коридорах нового корпуса. В ботаническом кабинете работали 12 специалиток. Средства шли главным образом на покупку книг, в которых чувствовался недостаток. Снова были заказаны «шкапы — гербарный и библиотечный, приготовлены таблицы для занятий и демонстративные препараты для музея».

В весеннем полугодии 1915 г. проф. В. М. Арнольди читал лекции по систематике растений для 1-го курса и курс эволюционных учений для старших курсов. Практическими занятиями снова руководили Н. Дедусенко и Н. Морозова. В апреле и мае 1915 г. занятия слушательниц кафедры ботаники ХВЖК велись на живом материале; были сделаны экскурсии в Померки, Сокольники, Рыжов, Покотилровку. Экскурсия в Святые Горы для ознакомления с флорой бора, мела, степи и песка была устроена 12 мая. В экскурсии принимали участие 1-й курс и специалитки.

В осеннем полугодии 1915 г. проф. В. М. Арнольди читал лекции по морфологии для 1-го курса и по высшим спорным — для 2-го и 3-го курсов. В этом полугодии Н. Дедусенко и Н. Морозова были утверждены ассистентками.

Работами слушательниц 1-го курса (еженедельно по 2 часа) руководили ассистентка Н. Морозова и практикантки А. Прошкина и Т. Михайловская-Выставкина, «приглашённые ввиду наплыва слушательниц». Слушательницы 2-го и 3-го курса работали еженедельно также по 2 часа; занятиями руководила ассистентка Н. Дедусенко.

Нина Тимофеевна Дедусенко (Дедусенко-Щеголева, 1882–1961 гг.) в советское время работала на кафедре ботаники (низших растений) Харьковского университета, участвовала во многих экспедициях, оставила ряд ценных трудов в области систематики водорослей, стала доцентом. В 1938 г. Н. В. Морозова-Водяницкая написала [6]: «Важнейшие моменты, указанные в автобиографии, может подтвердить преподаватель Харьковского университета, кандидат биологических наук Н. Т. Дедусенко».

Практикантка А. Прошкина из отчёта [13] — Анастасия Ивановна Прошкина-Лавренко (1891–1977 гг.), вышедшая замуж за Е. М. Лавренко (1900–1987 гг.) — харьковского ботаника, ставшего академиком АН СССР в Ленинграде, куда супруги переехали в 1934-м.

В Харькове А. И. Прошкина-Лавренко училась в аспирантуре университета, получила известность работами по альгофлоре солёных водоёмов и проблеме солевыносливости водорослей. В Ленинградском университете она читала курс «Альгология с основами гидробиологии», а после войны перешла в отдел спорных растений Ботанического института АН СССР, где занялась диатомовыми водорослями. Анастасию Ивановну прославил многолетняя серия фундаментальных монографий, за которую Прошкина-Лавренко получила ряд премий и степень доктора биологических наук (в 72 года!). Написала она и некролог на свою харьковскую коллегу [15].

Итак, научная работа слушательницы Н. В. Морозовой (рис. 2) под руководством проф. В. М. Арнольди не отразилась в отчётах ХВЖК. Да и в автобиографии [6] Нина Васильевна связала начало научной деятельности с командировкой в Новороссийск в июне 1920 г.

При этом биографы единодушно утверждают, что она уже на втором курсе ХВЖК «приступила к исследованиям морфологии и систематики пресноводного рода *Pediastrum*» [15]. Подробнее других писал об этом Е. И. Драпкин [4]: в 1912 г., когда студентке второго курса Нине Морозовой было 18 лет, она по предложению проф. В. М. Арнольди начала работать лаборантом при кафедре ботаники ХВЖК, а также получила «рабочее место, микроскоп и самостоятельную научную тему в Харьковском ботаническом институте у проф. В. М. Арнольди. Собранные Ниной Васильевной в студенческие годы научные материалы по систематике и биологии водоросли педиаструм не пропали. На их основе впоследствии она подготовила и опубликовала три научные работы».

Харьковским ботаническим институтом неофициально именовалось небольшое двухэтажное здание на территории Ботанического сада Харьковского университета (по ул. Клочковской), построенное в 1894 г. в основном для обеспечения учебного процесса; этот дом стоит по сей день. С 1903 г. директором Ботанического сада состоял В. М. Арнольди.

По словам автора [17], тема по морфологии и систематике рода *Pediastrum* была определена для Н. В. Морозовой в связи с участием В. М. Арнольди в подготовке многоотомной «Флоры и фауны пресных вод России». Кроме того, Нина Васильевна готовила иллюстрации для «Лекций по органогрфии цветковых растений», изданных В. М. Арнольди в 1914 г.; вместе с профессором она участвовала в полевых практиках на юге и севере России, в том числе и в известной экспедиции 1914 г. на Белое море и Соловецкие острова.

В книге В. А. Водяницкого отмечено и её участие в работе биологической станции под Харьковом, а также на других биостанциях России [3]: «В связи с изданием лекций В. М. Арнольди я познакомился с Ниной Васильевной Морозовой, которая занималась подготовкой иллюстраций для будущей



**Рис. 2.** Н. В. Морозова в 1915 г. Надпись на обороте: «Дорогому учителю» [1]

**Fig. 2.** N. V. Morozova in 1915. Inscription overleaf: "To dear teacher" [1]

книги. В студенческие годы она работала ассистентом на кафедре ботаники ХВЖК и начала изучать протококковые водоросли. Мы неоднократно встречались и в 1915 г. поженились. <...>

Мы слышали от В. М. Арнольди, что по инициативе С. А. Зернова начата подготовка большого издания «Флора и фауна пресных вод России». Но осуществление этого дела требовало большой предварительной исследовательской работы. <...> Владимир Митрофанович выдвинул план: создать бригаду молодых учёных по основным систематическим группам водорослей и организовать вблизи Харькова биологическую станцию для регулярных исследований жизни водоёмов. Так было положено начало созданию «харьковской школы альгологов». <...> Кроме студентов университета, в состав бригады вошли слушательницы ХВЖК, где Владимир Митрофанович также состоял профессором, — Н. В. Морозова, А. И. Прошкина, Н. Т. Дедусенко, Т. И. Выставкина и др., ставшие в дальнейшем известными гидробиологами-ботаниками. <...>

Одно лето мы с Ниной Васильевной работали на Бородинской биологической станции, которая находилась в то время на озере Селигер. Ещё раньше в большой компании студентов вместе с В. М. Арнольди побывали на Белом море, посетили Соловецкие острова. Некоторое время мы практиковались на биологической станции, руководимой К. К. Сент-Илером (профессором Юрьевского, а потом — Воронежского университетов). Станция располагалась в Ковде (Кандалакшский залив). Домой возвращались на лодках и телегах по нынешней трассе Беломорско-Балтийского канала».

В отчёте [12] имеется подробное описание поездки на Белое море в 1914 г. (с. 31–34), однако имена её участниц не названы: «В экскурсии на Белое море принимали участие слушательницы старших курсов. На экскурсию Правление ХВЖК ассигновало 120 руб., помимо которых каждая из экскурсанток израсходовала около 50 рублей».

Отметим, что из-за революции и Гражданской войны Арнольди не смог подготовить многотомную «Флору и фауну пресных вод России», вышло несколько небольших статей. Скромными по объёму были и «Лекции по органографии цветковых растений, читанные проф. В. М. Арнольди в 1913–14 году»: всего 65 с. в издании 1914 г. Оно не сохранилось, и проверить причастность Н. В. Морозовой

к его подготовке нельзя. Второе издание «Лекций» вышло в 1917 г. (объём – 73 с.); 176 рисунков к нему исполнил студент Ново-Александровского института (см. ниже) Я. С. Лукшо. Не нашли мы и публикаций Т. И. Выставкиной (Михайловской) по гидробиологии или ботанике.

Зато ценным источником оказался отчёт В. М. Арнольди о работе его «бригады» на р. Северский Донец [2]: «Днём юридического основания Северо-Донецкой биологической станции (СДБС) надо считать день заседания 16 марта 1914 г., когда была заслушана и принята собранием записка, подписанная 16 членами Общества испытателей природы при Харьковском университете, в которой указывалось на желательность основания биологической станции на берегу С. Донца. <...>

Фактическое открытие СДБС произошло значительно позже — в 1917 г. Научные же исследования в месте постройки станции начались за два года до её юридического основания. <...> Натуралисты Ботанического института университета, а позже и ботанического кабинета ХВЖК, производили ботанические исследования в местности, примыкающей к Корякову Яру, между ним и Коробовыми хуторами, а также <...> Змиевским лиманом. <...> Благодаря своим географическим особенностям она оказалась чрезвычайно пригодной для стационарного систематического изучения, и работы как первых двух лет <...> так и последующих выяснили её исключительное богатство самыми разнообразными представителями растительных организмов. <...>

В 1912 г. исследования в районе будущей станции начались 1 июля на даче Арнольди и закончились в сентябре. Месячные сборы материала происходили до декабря. Работали Арнольди, Ролл, Спагоров, Страхов. <...>

В 1913 г. работы начались с половины мая и продолжались до сентября. Работали Арнольди, Свиренко, Ролл, Оскнер, Михайловский. Помещение прежнее. <...>

В 1914 г. работы открылись во второй половине мая под флагом Биологической станции на даче М. Н. Медиша. Занятия окончились в начале сентября. Работали Арнольди, Ролл, Свиренко, Михайловский, Гнедич, Лепченко, Малеев, Водяницкий, Выставкина, Дедусенко, Морозова, Цыбина, Федорова. <...>

В 1915 г. станция помещалась, как и в следующем 1916 г., на даче Арнольди. Занятия начались с середины мая и закончились в начале сентября. В течение всего года производились ежемесячные планомерные сборы материала. Работали Арнольди, Ролл, Свиренко, Оскнер, Н. Дедусенко, М. Дедусенко, Орлова. <...>

В 1916 г. занятия начались в конце мая, окончились в начале сентября. Работали Арнольди (часть сезона), Ролл, Шкорбатов, Дедусенко, Прошкина».

Итак, из этих пяти лет Н. В. Морозова работала на СДБС лишь в 1914 г. Затем она вышла замуж (в 1915 г.) и родила дочь Веронику (в 1916 г.). Нина Васильевна вернулась в строй работников станции в 1917 г. уже как Водяницкая [2]:

«20 мая 1917 г. началась научная деятельность станции, но ещё до этого в незаконченном помещении начал свои наблюдения над зоопланктоном реки ассистент станции Н. Н. Фадеев. Через месяц станция открыла свои двери для работающих, которых собралось значительное количество. <...> Из ботаников работали: В. М. Арнольди — над вертикальным распределением фитопланктона, ассистент Л. А. Шкорбатов — над водными грибами и сине-зелёными водорослями, Я. В. Ролл — над водорослями озёр и меньших водоёмов между Донцом и Лиманом, ассистент ХВЖК Н. Т. Дедусенко — над планктоном Лимана, ассистент ХВЖК Н. В. Водяницкая — над систематикой и морфологией рода *Pediastrum*, ассистент ХВЖК А. И. Прошкина и окончившая ХВЖК М. Т. Дедусенко — над распределением водной растительности в окрестностях станции. <...> Слушательницы ХВЖК А. И. Прошкина, С. М. Миттельман и Г. И. Дохман познакомились с методами изучения водной и наземной растительности, а г-жа Дохман занималась специально сине-зелёными водорослями».

Здесь М. Т. Дедусенко — младшая сестра Нины Трофимовны Дедусенко-Щеголевой. Слушательница А. И. Прошкина (в отличие от ассистентки с такими же инициалами) — младшая сестра Анастасии Ивановны; в 1920-е гг. она получила известность трудами о болезнях культурных растений как

А. И. Прошкина-Кобезская (по мужу — харьковскому дендрологу, профессору Лесотехнического института).

Многие из вышеперечисленных лиц имеются на известном групповом фото «бригады Арнольди» (рис. 3). Разной была их дальнейшая судьба: одни стали членами-корреспондентами АН УССР, как Я. В. Ролл (1887–1961 гг.), Д. О. Свиренко (1888–1944 гг.) и В. А. Водяницкий (1892–1971 гг.), или профессорами, как Л. А. Шкорбатов (1884–1957 гг.) и В. С. Михайловский (1885–1955 гг.). Другие прожили недолго...



**Рис. 3.** Харьковская школа альгологов Арнольди [1]

**Fig. 3.** Arnoldi Kharkov school of algologists [1]

В 1917 г. на станции работали и зоологи [2]. Вышеупомянутый Н. Н. Фадеев изучал планктонных коловраток и собирал материал для музея станции, фундамент которого уже был заложен. Студент Харьковского университета М. А. Времев исследовал паразитов рыб и хладнокровных животных; В. А. Водяницкий работал над фауной инфузорий; оставленный при университете П. И. Белецкий изучал местных моллюсков. Приват-доцент Петроградского университета Ю. А. Филипченко исследовал местных Colembolae, а приват-доцент того же университета В. Д. Зеленский изучал историю развития пиявок.

Кроме В. А. Водяницкого, по меньшей мере трое упомянутых зоологов стали профессорами: Н. Н. Фадеев (1894–1932 гг.) — в Харькове, Ю. А. Филипченко (1882–1930 гг., один из первых генетиков и евгеников СССР) и В. Д. Зеленский (1879–1930 гг.; неоднократно работал на СБС и других морских биологических станциях) — в Ленинграде.

Однако, перечисляя публикации и сделанные доклады по результатам научных исследований на СДБС, В. М. Арнольди ни разу не назвал Нину Васильевну среди авторов. Плоды её научного труда ещё зрели [2]: «Часть вышеупомянутых исследований привела к известным результатам, которые должны появиться в «Трудах СДБС», когда современные условия позволят приступить к их изданию».

На наш взгляд, эти слова — прозрачный намёк профессора на то, что полным ходом шедший в 1917 г. развал государства кончится катастрофой, которая надолго прекратит научные исследования и публикации, а заодно оборвёт жизни многих учёных...

Так и случилось. Нине Васильевне «современные условия» позволили приступить к изданию её первой статьи только в 1923 г., хотя исследования водорослей рода *Pediastrum* она начала, по её словам, десятью годами ранее [7]:

«Собирая материал по роду *Pediastrum* в течение нескольких лет (1913–1916 гг.), пользуясь сборами из разных мест и различных водоёмов, мне удалось отыскать помимо всех типичных форм, описанных до настоящего времени под названием видов, несколько новых, в литературе до сих пор не указанных, и целый ряд мельчайших, последовательных переходов между типичными представителями.

Мною использован следующий материал: годовые сборы из р. Сев. Донец, Харьковской губернии, Змиевского уезда, из оз. Лиман там же; сборы по водоёмам Тамбовской, Воронежской и Тверской губерний (оз. Селигер, оз. Белое и р. Созь); сборы из Белого моря около Ковдинской биологической станции; сборы проф. Догеля из оз. Виктория-Ньянца (Центральная Африка). Кроме того, случайные сборы из самых разнообразных мест, как то: озера Северной Лапландии, р. Колва Пермской губернии, оз. Тургояк Оренбургской губернии, р. Кожва — приток Печоры, оз. Ильмень Киевской губернии, оз. Гокча — Кавказ».

Проф. В. А. Догель (1882–1955 гг.), петербургский специалист по зоологии беспозвоночных, совершил экспедицию в Британскую Восточную Африку и Уганду в 1914 г. (совместно с И. И. Соколовым). И его материал тоже пошёл в общую копилку!

А вот ещё несколько важных фактов и дат, приведённых автором [7] и уточняющих недомолвки биографов: «Предварительное сообщение о новых описанных мною формах рода *Pediastrum*, а также о главном результате своей работы я сделала в Харькове в 1918 г. в Обществе испытателей природы при Харьковском университете.

Окончательную обработку имевшегося в моём распоряжении материала я произвела в текущем 1923 году на Новороссийской биологической станции Кубано-Черноморского краевого научно-исследовательского института. <...>

Приношу глубокую благодарность проф. В. М. Арнольди, предоставившему мне возможность использовать планктонные сборы, находившиеся в Ботаническом институте Харьковского университета, и руководившему моими первыми шагами в изучении рода *Pediastrum*, а также проф. А. А. Коршикову (1889–1945 гг.; *альголог, ученик В. М. Арнольди. — К. Р.*) и заведующему Новороссийской биологической станцией В. А. Водяницкому, оказавшим мне помощь своими советами и критическими замечаниями».

Примерно то же было сказано и в статьях Н. В. Морозовой-Водяницкой на эту же тему во всероссийском журнале [5, 8], но Новороссийская биологическая станция в них уже носила имя В. М. Арнольди. А Нина Васильевна выразила глубокую признательность своему покойному учителю, которому была обязана темой работы «по переработке и пересмотру систематического состава рода *Pediastrum*, и общим руководством».

Большая часть 1918 г. прошла в Харькове относительно спокойно — при немецкой оккупации, и Н. В. Морозова-Водяницкая не только доложила коллегам свою научную работу, но и родила вторую дочь — Галину. Затем наступили тяжёлые времена.

В 1919 г. отец и мать Нины Васильевны умерли от тифа [6]. В конце того же года её учитель и муж были унесены из Харькова потоком отступления белых: В. М. Арнольди с семьёй бежал в Екатеринодар, а В. А. Водяницкий, ставший артиллеристом деникинской армии, добрался до Новороссийска. Оба они в Харьков больше не вернулись.

Чтобы заработать на жизнь себе и детям, Н. В. Морозовой-Водяницкой в 1919–1920 гг. пришлось совмещать работу штатным ассистентом при кафедре ботаники ХВЖК с должностями сверхштатного ассистента при кафедре ботаники Харьковского ветеринарного института (которой тоже руководил проф. В. М. Арнольди) и в Сельскохозяйственном институте у проф. Н. В. Цингера, а также, согласно

послужному списку [6], — преподавателя Харьковского коммерческого училища. Наконец, в автобиографии упомянуты также её педагогическая деятельность в средней школе и в школьном подотделе Харьковского отдела народного образования, чтение лекций на биологические темы по клубам и на предприятиях.

Ботаник Николай Васильевич Цингер (1866–1923 гг.) был давним знакомым В. М. Арнольди: обоим учил ботанике в Московском университете проф. И. Н. Горожанкин (на дочери которого Владимир Митрофанович женился). Арнольди переехал в 1903 г. в Харьков из Ново-Александровского института сельского хозяйства и лесоводства, а Цингер занял освобождённое им место заведующего кафедрой ботаники.

Новая Александрия (Пулавы) находилась в Русской Польше, и с началом войны в 1914 г. Институт сельского хозяйства и лесоводства эвакуировался в Харьков, где разместился в помещениях ряда вузов, в том числе и в новом корпусе ХВЖК [14, 16]. Усилиями В. М. Арнольди и Н. В. Цингера в 1917 г. были открыты Харьковские высшие женские курсы сельского хозяйства и лесоводства, где работали многие преподаватели Ново-Александровского института. А в 1921 г. большевики, переименовав последний в Харьковский сельскохозяйственный институт, передали ему здание бывших ХВЖК Общества взаимопомощи трудящихся женщин на ул. Мироносицкой. В нём и сегодня работает Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства.

Н. В. Цингер занимался растениями — вредителями сельскохозяйственных культур (прежде всего, льна), их видообразованием. Он мог стать для молодых ботаников образцом отношения к научной работе — своей целеустремлённостью и даже фанатизмом. Тяжело болея в обстановке послевоенной разрухи, почти не вставая, вынужденный писать левой рукой, профессор спешил завершить свою главную книгу.

Готовить её к печати пришлось уже вдове. Увидел свет итоговый труд Н. В. Цингера «О подвидах большого погремка (*Alectorolophus major* Rchb.)» только в 1928 г., но его автор был посмертно удостоен Премии им. В. И. Ленина.

Хотя Цингер не был альгологом, не исключено, что сотрудничество с ним повлияло на некоторые черты характера Н. В. Морозовой-Водяницкой как учёного.

Харьковское коммерческое училище, открытое в 1893 г. как среднее учебное заведение (8 классов), тоже было весьма неординарным. В 1912 г. при нём открылись Высшие коммерческие курсы, в 1916 г. получившие статус Коммерческого института. К преподаванию здесь, как и на ХВЖК, широко привлекались профессора, другие сотрудники университета и даже не окончившие курс студенты последнего. Зоология и ботаника изучались здесь в течение четырёх лет.

По словам В. А. Водяницкого, его пригласили занять в Харьковском коммерческом училище должность заведующего кабинетом естественной истории и руководителя практических занятий [3]. Одним из руководителей этого учебного заведения состоял вышеупомянутый В. С. Михайловский — университетский друг Владимира Алексеевича, «отличный преподаватель ботаники и очень способный администратор». И действительно, кабинет естественной истории здесь «был превосходный; он имел музей, лабораторию на 30 мест, аудиторию с киноустановкой, аквариальную, виварий, небольшую оранжерею».

В. А. Водяницкий до мобилизации в армию числился также преподавателем Сельскохозяйственного института и Педагогических курсов (открытых при ХВЖК). После его бегства на юг часть этих должностей перешла оставшейся в Харькове жене.

Это, несомненно, помогло Н. В. Морозовой-Водяницкой пережить, не сломавшись, трудные времена, и при первой возможности, встретившись с В. М. Арнольди в Новороссийске, возобновить научную работу и довести начатое до весомого результата.

На основании вышеприведённого можно заключить, что «среда обитания» Н. В. Морозовой-Водяницкой в Харькове была благоприятной для её становления как ботаника-альголога. Именно здесь

был заложен прочный (пусть до времени малозаметный историкам) фундамент прославившей её исследовательской работы на Чёрном море.

**Благодарность.** Автор искренне благодарен заведующей научной библиотекой Института морских биологических исследований им. А. О. Ковалевского РАН Ольге Андреевне Акимовой за действенную помощь при выполнении настоящей работы.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Алексеев Л. В., Белякова Г. А., Поддубная-Арнольди В. А. Нина Васильевна Морозова-Водяницкая (1893–1954) // *Владимир Митрофанович Арнольди (1871–1924)*. Москва: Наука, 2001. С. 153–155. [Alekseev L. V., Belyakova G. A., Poddubnaya-Arnol'di V. A. Nina Vasil'evna Morozova-Vodyanitskaya (1893–1954). *Vladimir Mitrofanovich Arnol'di (1871–1924)*. Moscow: Nauka, 2001, pp. 153–155. (in Russ.)].
2. Арнольди В. М. Северо-Донецкая биологическая станция Общества испытателей природы при Харьковском университете // *Труды Общества испытателей природы при Харьковском университете*. 1918. Т. 49. С. 135–143. [Arnol'di V. M. Severo-Donetskaya biologicheskaya stantsiya Obshchestva ispytatelei prirody pri Khar'kovskom universitete. *Trudy Obshchestva ispytatelei prirody pri Khar'kovskom universitete*, 1918, vol. 49, pp. 135–143. (in Russ.)].
3. Водяницкий В. А. *Записки натуралиста*. Москва: Наука, 1975. 192 с. [Vodyanitsky V. A. *Zapiski naturalista*. Moscow: Nauka, 1975, 192 p. (in Russ.)].
4. Драпкин Е. И. Памяти Нины Васильевны Морозовой-Водяницкой // *Ученые записки Ростовского-на-Дону государственного университета*. 1957. Т. 57, вып. 1. С. 178–182. [Drapkin E. I. Pamyati Niny Vasil'evny Morozovoi-Vodyanitskoi. *Uchenye zapiski Rostovskogo-na-Donu gosudarstvennogo universiteta*, 1957, vol. 57, iss. 1, pp. 178–182. (in Russ.)].
5. Морозова-Водяницкая Н. В. Гомологические ряды как основа классификации рода *Pediastrum Meyen* // *Русский архив протистологии*. 1925. Т. 4, вып. 1–2. С. 11–31. [Morozova-Vodyanitskaya N. V. Gomologicheskie ryady kak osnova klassifikatsii roda *Pediastrum Meyen*. *Russkii arkhiv protistologii*, 1925, vol. 4, iss. 1–2, pp. 11–31. (in Russ.)].
6. Морозова-Водяницкая Н. В. (1894–1954): личное дело. Научный архив ФГБУН ИМБИ РАН. Опись № 3-Л, ед. хр. № 38-А. Севастополь, 1954. 119 л. [Morozova-Vodyanitskaya N. V. (1894–1954): *lichnoe delo*. Nauchnyi arkhiv FSFIS IMBR RAS. Opis' no. 3-L, ed. khr. no. 38-A. Sevastopol, 1954. 119 sheerts. (in Russ.)].
7. Морозова-Водяницкая Н. В. Очерк рода *Pediastrum* Protococcaceae // *Работы Новороссийской биологической станции. Труды Кубано-Черноморского краевого научно-исследовательского института*. 1923. Т. 11, вып. I. С. 3–34. [Morozova-Vodyanitskaya N. V. Ocherk roda *Pediastrum* Protococcaceae. *Raboty Novorossiiskoi biologicheskoi stantsii. Trudy Kubano-Chernomorskogo kraevogo nauchno-issledovatel'skogo instituta*, 1923, vol. 11, iss. I, pp. 3–34. (in Russ.)].
8. Морозова-Водяницкая Н. В. Новые формы рода *Pediastrum* // *Русский архив протистологии*. 1925. Т. 4, вып. 1–2. С. 5–9. [Morozova-Vodyanitskaya N. V. Novye formy roda *Pediastrum*. *Russkii arkhiv protistologii*, 1925, vol. 4, iss. 1–2, pp. 5–9. (in Russ.)].
9. *Отчет Харьковского общества взаимопомощи трудящихся женщин с 1 января 1911 г. по 1 июля 1912 г.* Харьков, 1913. 266 с. [Otchet Kharkovskogo obshchestva vzaimopomoshchi trudyashchikhsya zhenshchin s 1 yanvarya 1911 g. po 1 iyulya 1912 g. Kharkov, 1913, 266 p. (in Russ.)].
10. *Отчет о деятельности Попечительного комитета о нуждах Харьковских высших женских курсов за 1915 год.* Харьков, 1916. 30 с. [Otchet o deyatel'nosti Popechitel'nogo komiteta o nuzhdakh Kharkovskikh vysshikh zhenskikh kursov za 1915 god. Kharkov, 1916, 30 p. (in Russ.)].
11. *Отчет о деятельности Харьковских высших женских курсов, учрежденных Обществом взаимопомощи трудящихся женщин за 1912 год.* Харьков, 1914. 52 с. [Otchet o deyatel'nosti Kharkovskikh

- vysshikh zhenskikh kursov, uchrezhdennykh Obshchestvom vzaimopomoshchi trudyashchikhsya zhenshchin za 1912 god.* Kharkov, 1914, 52 p. (in Russ.).
12. *Отчет о деятельности Харьковских высших женских курсов, учрежденных Обществом взаимопомощи трудящихся женщин за 1914 год.* Харьков, 1914. 54 с. [*Otchet o deyatel'nosti Kharkovskikh vysshikh zhenskikh kursov, uchrezhdennykh Obshchestvom vzaimopomoshchi trudyashchikhsya zhenshchin za 1914 god.* Kharkov, 1914, 54 p. (in Russ.).]
  13. *Отчет о деятельности Харьковских высших женских курсов, учрежденных Обществом взаимопомощи трудящихся женщин за 1915 год.* Харьков, 1916. 58 с. [*Otchet o deyatel'nosti Kharkovskikh vysshikh zhenskikh kursov, uchrezhdennykh Obshchestvom vzaimopomoshchi trudyashchikhsya zhenshchin za 1915 god.* Kharkov, 1916, 58 p. (in Russ.).]
  14. Павлова Т. Г. *Негосударственная высшая школа Харькова в начале XX века.* Харьков: Saga, 2012. С. 287–306. [Pavlova T. G. *Negosudarstvennaya vysshaya shkola Kharkova v nachale XX veka.* Kharkov: Saga, 2012, pp. 287–306. (in Russ.).]
  15. Прошкина-Лавренко А. И. Потери науки: Н. В. Морозова-Водяницкая // *Ботанический журнал.* 1955. Т. 40, № 2. С. 287–292. [Proshkina-Lavrenko A. I. Poteri nauki: N. V. Morozova-Vodyanitskaya. *Botanicheskii zhurnal*, 1955, vol. 40, no. 2, pp. 287–292. (in Russ.).]
  16. Рудая С. П. Новоалександрийский институт сельского хозяйства и лесоводства // *Развитие биологии на Украине.* Киев: Наукова думка, 1984. Т. 1, гл. 4. С. 140–143. [Rudaya S. P. Novoaleksandriiskii institut sel'skogo khozyaistva i lesovodstva. *Razvitie biologii na Ukraine.* Kiev: Naukova dumka, 1984, vol. 1, ch. 4, pp. 140–143. (in Russ.).]
  17. Степаньян О. В. Нина Васильевна Морозова-Водяницкая: к 120-летию со дня рождения // *Ботанический журнал.* 2013. Т. 98, № 3. С. 111–116. [Stepan'yan O. V. Nina Vasil'evna Morozova-Vodyanitskaya: k 120-letiyu so dnya rozhdeniya. *Botanicheskii zhurnal*, 2013, vol. 98, no. 3, pp. 111–116. (in Russ.).]

## KHARKOV IN THE FORMATION OF N. V. MOROZOVA-VODYANITSKAYA AS A BOTANIST-ALGOLOGIST

K. V. Rusanov, an independent researcher, Khar'kov, Ukraine

E-mail: [kokamoka51@gmail.com](mailto:kokamoka51@gmail.com)

In the work, a number of facts and dates of the Kharkov period of life (1893–1920) of the botanist-algologist Nina Vasilievna Morozova-Vodyanitskaya are given, who graduated from the Kharkov High Women's Courses, taught at them (as well as in other educational institutions of the city) and studied algae under the guidance of V. M. Arnoldi, Professor of the Departments of Botany of Kharkov University and High Courses. The origin of the rich merchant family allowed N. V. Morozova get both secondary and high education. The Kharkov High Women's Courses were a huge, rapidly developing non-state high educational institution, similar to the classical university in terms of teaching natural sciences, equipping departments and laboratories, and the number of students. The Department of Botany, where N. V. Morozova studied and worked as a laboratory assistant and then as an assistant, has provided to the students an extensive workshop, participation in excursions outside the city and in expeditions to the basins of Russia. Students of the courses had the opportunity to engage in scientific work in laboratories and at a biological station on the Seversky Donets River. Among the students and junior teachers (colleagues of N. V. Morozova-Vodyanitskaya, who has formed the scientific school of V. M. Arnoldi) there were many well-known botanists, algologists, hydrobiologists who became professors, correspondent members, and so on. It is concluded that the scientific and pedagogical environment surrounding of N. V. Morozov-Vodyanitskaya in Kharkov favored her becoming as a researcher. Only the harsh conditions of the Civil War and devastation delayed the publication of the results of the first work of a young algologist, started in 1913.

**Keywords:** N. V. Morozova-Vodyanitskaya, botany, algology, Kharkov High Women's Courses, Kharkov University, Professor V. M. Arnoldi, algae of the genus *Pediastrum*

## ПАМЯТИ И. И. МАСЛОВА

(12.04.1952–29.12.2016)

После тяжелой болезни ушел из жизни наш добрый друг, известный гидробиолог, специалист в области морской альгологии и охраны окружающей среды, эколог и аквариумист, учёный секретарь, заведующий отделом природных экосистем и заповедного дела Никитского ботанического сада Национального научного центра РАН, генеральный директор природного заповедника «Мыс Мартьян» в Крыму, доктор биологических наук

### ИВАН ИГОРЕВИЧ МАСЛОВ.



Вся жизнь Ивана Игоревича была тесно связана с морем. Рождённый у моря (в г. Ялте) 12 апреля 1952 г., он постоянно был рядом с ним — учился, работал, исследовал морских обитателей и делал всё, чтобы море только радовало человека. В 1969 г. после окончания школы был принят на работу в Никитский ботанический сад (далее — НБС). В 1975 г. завершил курс обучения на биологическом факультете Одесского государственного университета им. И. И. Мечникова и получил специальность «биолог-ботаник». Так как более всего Ивана Игоревича интересовала жизнь моря, он занялся изучением морских водорослей под руководством известных альгологов И. И. Погребняка и А. А. Калугиной-Гутник, достойным последователем школ которых стал в дальнейшем. Позднее И. И. Маслов сам стал учителем для многих молодых учёных и специалистов НБС и других научно-исследовательских учреждений, начал альгологические исследования в Никитском ботаническом саду и создал в этом направлении свою школу.

С образованием заповедника «Мыс Мартьян» Иван Игоревич перешёл в отдел охраны природы, начал самостоятельно заниматься мониторингом морской флоры у берегов Крыма, проводя многие часы под водой. Так сбылась его мечта — сделать максимальный вклад в дело охраны морских акваторий.

Развитие комплексных морских гидробиологических исследований в НБС — это заслуга Ивана Игоревича Маслова. Он учился в аспирантуре при Никитском ботаническом саду. Молодого учёного особо интересовали вопросы альгологии и рационального использования морских ресурсов. Он часто приезжал на семинары и конференции молодых учёных ИнБЮМ (ныне ФГБУН ИМБИ). Его оригинальные концепции и интересные сообщения всегда вызывали бурные дискуссии и привлекали внимание специалистов. В 1978 г. он стал лауреатом Всесоюзного смотра научно-технического творчества молодёжи, а впоследствии был награждён двумя бронзовыми медалями ВДНХ СССР (в 1984 и 1985 гг.).

В 1985 г. И. И. Маслов защитил кандидатскую диссертацию по теме: «Донная растительность Южного берега Крыма, её рациональное использование и охрана». В 2006 г. он защитил докторскую диссертацию по теме «Морской фитобентос Крымского побережья». В научном плане Иван Игоревич проявил себя как первоклассный специалист — альголог-флорист, фитоценолог, альгозоолог.

Основными направлениями научной деятельности И. И. Маслова являлись изучение водорослей-макрофитов прибрежных акваторий Крымского полуострова и охрана природы. Им впервые определён видовой состав и получены кадастры фитобентоса 14 заповедных объектов Крыма, выявлены новые виды водорослей для всех флористических районов Крымского побережья Чёрного моря, 22 новых — для Азовского моря, 33 — для Сиваша. Выявлены закономерности распределения видов по флористическим районам с учётом их систематики, продолжительности вегетации, сапробности и степени редкости. Разработана концепция заповедности морских акваторий, создан и применён векторно-матричный метод для описания макрофитобентоса. Полученные материалы использовались при научном обосновании создания Опукского и Казантипского природных заповедников и разработке сети ПЗФ Крыма, применяются в практической работе Управлением Водоканала, а также при гидростроительстве, внедрены в учебный процесс вузов.

Являясь автором более чем 200 научных работ, в том числе соавтором 10 коллективных монографий и Красных книг Украины и Крыма, Иван Игоревич был страстным натуралистом и аквариумистом, увлечённым популяризатором биологии Чёрного моря и охраны окружающей среды. Он обосновывал создание многих охраняемых природных территорий и акваторий Крыма, способствовал сохранению природных богатств полуострова, читал лекции и проводил практические занятия со студентами и молодыми специалистами, был широко эрудированным учёным и всегда делился своими знаниями. Под руководством И. И. Маслова два аспиранта успешно защитили кандидатские диссертации. Иван Игоревич долгое время был членом научно-технического Совета Крымского природного заповедника, оказывая неоценимую помощь в работе и Совета, и заповедника в целом. Иван Маслов приложил много усилий не только для сохранения существующих природно-заповедных объектов Крыма, но и для создания новых, а также для совершенствования природоохранного законодательства Крыма, Украины и Российской Федерации. В 2013 г. ему было присвоено почётное звание «Заслуженный деятель охраны природы».

Иван Игоревич Маслов являлся членом редколлегии журналов «Альгология» и *International Journal on Algae*, редакционно-издательского совета «Бюллетеня...» и «Трудов Никитского ботанического сада», основателем издания «Научные записки природного заповедника “Мыс Мартьян”», членом Европейского союза охраны побережий (EUSS).

Будучи научным руководителем Национального природного заповедника «Мыс Мартьян» и учёным секретарем Никитского ботсада, Иван Игоревич уделял значительное внимание установлению и поддержанию тесных научных связей с ИнБЮМ. Он всегда старался привлечь как можно больше специалистов различного профиля для более полного исследования состояния экосистемы морских акваторий заповедника, сам принимал непосредственное участие в обеспечении работы экспедиций и заботился об условиях проживания их участников. Благодаря его активному содействию сотрудниками ИнБЮМ регулярно выполнялись экспедиции с целью изучения планктона, зообентоса и ихтиофауны акватории заповедника «Мыс Мартьян». В результате были подготовлены списки видов планктонных и бентосных организмов, а также рыб Природоохранной прибрежной морской зоны заповедника и опубликован ряд статей в сборнике «Научные записки природного заповедника “Мыс Мартьян”». С 2014 г. И. И. Маслов принимал участие в работе диссертационного совета ФГБУН ИМБИ.

*Канд. биол. наук, с. н. с., Е. А. Колесникова,  
канд. биол. наук, вед. н. с., зав. отд. планктона, с. н. с. А. Р. Болтачев*

**TO THE MEMORY OF I. I. MASLOV  
(12.04.1952–29.12.2016)**

Our good friend, a well-known hydrobiologist, an expert in the field of marine algology and environmental protection, an ecologist and aquarist, a scientific secretary, the head of the department of natural ecosystems and the reserve business of the NNC Nikitsky Botanical Garden, the general director of the Cape Martyan Nature Reserve in Crimea, Doctor of Biological Sciences **Ivan Igorevich Maslov** died after a serious illness.

Российская академия наук  
Зоологический институт  
Институт морских биологических исследований  
им. А. О. Ковалевского

## Морской биологический журнал

Основан в феврале 2016 г.

Научное издание

Издатели журнала:

ФГБУН Зоологический институт РАН,  
ФГБУН «Институт морских биологических исследований им. А. О. Ковалевского РАН»

Печатается по рекомендации Учёного совета  
ФГБУН «Институт морских биологических исследований  
им. А. О. Ковалевского РАН»  
(протокол № 5 от 23.06.2017)

Свидетельство о государственной регистрации  
Сер. ПИ № ФС 77-64821 от 02.02.2016  
Сер. ЭЛ № ФС 77-64800 от 02.02.2016  
ISSN 2499-9768 print  
ISSN 2499-9776 online

Выпускающий редактор  
Э. З. Самышев

Корректор  
О. Ю. Копытова

Технический редактор  
Р. Г. Геворгиз

Компьютерная вёрстка  
Л. В. Веселовская

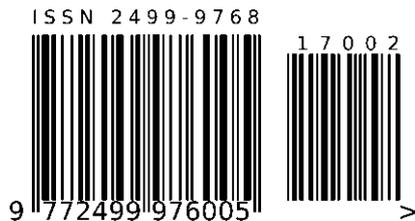
Оригинал-макет подготовлен в пакете  $\text{X}_{\text{E}}\text{L}_{\text{A}}\text{T}_{\text{E}}\text{X}$  (TeX Live 2015 / Debian Linux)  
с использованием свободных шрифтов FreeSerif и FreeSans

---

Подп. к печати 23.06.2017	Формат 60×84/8	Бум. офсетная № 1	Печать офсетная
Усл.-изд. лист. — 12,1	Усл.-печ. лист. — 12	Тираж 150 экз.	Зак. № 45

---

Отпечатано в ООО «Колорит», ОГРН 1169204061454 от 18.11.2016  
299011, г. Севастополь, ул. Ефремова, 26, кв. 38, тел. (8692) 54-31-46, e-mail: [colorit.ooo2016@yandex.ru](mailto:colorit.ooo2016@yandex.ru)



## ***Вниманию читателей!***

*Зоологический институт РАН,  
Институт морских биологических  
исследований им. А. О. Ковалевского РАН  
издают научный журнал*

*Zoological Institute, RAS,  
Kovalevsky Institute of Marine  
Biological Research, RAS  
publish scientific journal*

## **МОРСКОЙ БИОЛОГИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ**

## **MARINE BIOLOGICAL JOURNAL**

На страницах журнала публикуются обзорные и оригинальные статьи, краткие сообщения и заметки, содержащие новые данные теоретических и экспериментальных исследований в области морской экологии, материалы о закономерностях распределения животных и растительных организмов в Мировом океане, результаты комплексного изучения морских и океанических экосистем, работы в области гидрологии, гидрохимии, молисмологии Мирового океана и др. Публикуются также методические разработки, материалы научных дискуссий, рецензии, исторические хроники, информация о конференциях и т. п.

- Рассчитан на экологов, океанологов, гидробиологов, радиобиологов, географов, научных работников других смежных специальностей, а также аспирантов, студентов соответствующего научного и отраслевого профиля.
- Статьи публикуются на русском и английском языках.
- Периодичность – четыре раза в год.
- Подписаться на журнал можно в любом отделении связи «Почта России».

Reviews and original articles, short messages and notes, that contain new data of theoretical and experimental researches in the area of marine biology, materials about the variety of marine organisms, their populations and communities, about the patterns of distribution of animals and plants in the World Ocean, results of the comprehensive study of marine and ocean ecosystems, results of the anthropogenic impact on marine organisms and ecosystems in general are assumed to publish in the Marine Biological Journal.

- The journal is designated for biologists, hydrobiologists, ecologists, radiobiologists, biophysicists, oceanographers, geographers, for scientists of other related specialties, for students of relevant scientific profiles.
- The articles are published in Russian and English.
- The journal is published four times a year.
- You can subscribe the journal in any office of Russian Post.

***Заказать  
«Морской биологический журнал»***

***You may order  
Marine Biological Journal***

можно в отделе научно-технической информации ИМБИ им. А. О. Ковалевского.

Адрес: ФГБУН «Институт морских биологических исследований им. А. О. Ковалевского РАН», пр. Нахимова, 2, 299011 Севастополь, Российская Федерация  
телефон +7 (8692) 54-56-62

E-mail: mbj@imbr-ras.ru

in the Department of Scientific and Technical Information of IMBR.

Address: Kovalevsky Institute of Marine Biological Research of RAS, Nakhimov avenue, 2, 299011 Sevastopol, Russian Federation  
tel. +7 (8692) 54-56-62

E-mail: mbj@imbr-ras.ru