



**XII Международная научно-практическая конференция  
«Морские исследования и образование»  
MARESEDU-2023**

**XII International conference  
«Marine Research and Education»  
MARESEDU-2023**

**ТРУДЫ КОНФЕРЕНЦИИ /  
CONFERENCE PROCEEDINGS  
Том III (IV) / Volume III (IV)**

**23-27 октября 2023 г.  
г. Москва**



УДК [551.46+574.5](063)

ББК 26.221я431+26.38я431+28.082.40я431

T78

**Труды XII Международной научно-практической конференции «Морские исследования и образование (MARESEDU-2023)» Том III (IV): [сборник]. Тверь: ООО «ПолиПРЕСС», 2024, 666 с.:**

**ISBN 978-5-6049290-6-3**

**ISBN 978-5-6051693-0-7 (т. 3)**

Сборник «Труды XII Международной научно-практической конференции «Морские исследования и образование (MARESEDU-2023)» представляет собой книгу тезисов докладов участников конференции, состоящую из четырех томов. Сборник включает в себя главы, соответствующие основным секциям технической программы конференции: океанология, гидрология, морская геология, гидрографические и геофизические исследования на акваториях, морские ландшафты морская биология, морские млекопитающие, рациональное природопользование и подводное культурное наследие. Помимо основных секций на конференции были представлены: пленарная сессия, посвященная 70-летию кафедры океанологии географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова и 85-летию ББС МГУ имени Н.А. Перцова, секция научно-популярных фильмов и круглые столы: «Современные авиационные исследования объектов биологического разнообразия. Практика и перспективы развития» и «Применение искусственного интеллекта для изучения биологических объектов».

Все тезисы представлены в редакции авторов.

В рамках конференции участники обсудили состояние и перспективы развития комплексных исследований Мирового океана, шельфовых морей и крупнейших озер, актуальные проблемы рационального природопользования и сохранения биоразнообразия в водных пространствах, проблемы освоения ресурсов континентального шельфа, достижения науки в области морской геологии, современные подходы к исследованиям обширных акваторий дистанционными методами, проблемы устойчивого развития экосистем моря и прибрежной зоны, организацию и проведение комплексных экспедиционных исследований, преподавание «морских дисциплин», вопросы организации полевых практик студентов.

Подготовлено к выпуску издательством ООО «ПолиПРЕСС» по заказу ООО «Центр морских исследований МГУ имени М.В. Ломоносова».

ООО «ПолиПРЕСС»

170041, Россия, г. Тверь, Комсомольский  
пр-т, д. 7, пом. II polypress@yandex.ru

Все права на издание принадлежат  
ООО «Центр морских исследований  
МГУ имени М.В. Ломоносова».

© ООО «Центр морских исследований  
МГУ имени М.В. Ломоносова», 2024  
© ООО «ПолиПРЕСС»

## ОРГАНИЗАТОРЫ

Центр морских исследований МГУ имени М.В. Ломоносова



Учебно-научный Центр ЮНЕСКО-МГУ по морской геологии и геофизике при геологическом факультете МГУ имени М.В. Ломоносова



Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН



Беломорская биологическая станция им. Н.А. Перцова



Биологический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова



Географический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова



Геологический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова



РОО «Совет по морским млекопитающим»



## ПРИ ПОДДЕРЖКЕ



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ  
И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

## В РАМКАХ



2021-2030 Десятилетие Организации Объединенных Наций, посвященное науке об океане в интересах устойчивого развития



70 ЛЕТ



МГУ  
85

## ПАРТНЁРЫ

Генеральный партнёр

Специальный партнёр

Официальный партнёр



## **ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ**

**ДОБРЮЛОВ СЕРГЕЙ АНАТОЛЬЕВИЧ**  
(сопредседатель организационного комитета)

Член-корреспондент РАН, декан географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, д.г.н., профессор

**ЕРЁМИН НИКОЛАЙ НИКОЛАЕВИЧ**  
(сопредседатель организационного комитета)

Член-корреспондент РАН, декан геологического факультета МГУ имени М. В. Ломоносова, д.х.н.

**КИРПИЧНИКОВ МИХАИЛ ПЕТРОВИЧ**  
(сопредседатель организационного комитета)

Академик РАН, декан биологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, д.б.н., профессор

**ТОКАРЕВ МИХАИЛ ЮРЬЕВИЧ**  
(сопредседатель организационного комитета)

Заместитель председателя Общественного совета РОСНЕДРА, к.т.н.

**ШЕВЧЕНКО ВЛАДИМИР ПЕТРОВИЧ**  
(сопредседатель организационного комитета)

Временно исполняющий обязанности директора Института океанологии им. П. П. Ширшова РАН, руководитель лаборатории физико-геологических исследований имени А.П. Лисицына, ведущий научный сотрудник, к.г.-м.н.

## **ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ**

**АХМАНОВ ГРИГОРИЙ ГЕОРГИЕВИЧ**  
(председатель программногo комитета)

Доцент, руководитель кафедры ЮНЕСКО по морской геологии и геофизике, директор Учебно-научного Центра ЮНЕСКО-МГУ по морской геологии и геофизике при геологическом факультете МГУ имени М.В. Ломоносова, к.г.-м.н.

**БАШИРОВА ЛЕЙЛА ДЖАНГИРОВНА**

Заместитель директора по научной работе Атлантического отделения ИО РАН, к.г.-м.н.

**ВИННИКОВ КИРИЛЛ АНДРЕЕВИЧ**

Директор Института Мирового океана ДВФУ, Заведующий Лабораторией экологии и эволюционной биологии водных организмов, доцент Департамента медицинской биологии и биотехнологий, PhD

**ГЛАЗОВ ДМИТРИЙ МИХАЙЛОВИЧ**

Исполнительный директор РОО «Совет по морским млекопитающим»

**ДЕМИДЕНКО НИКОЛАЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ**

Старший научный сотрудник ИО РАН, к.г.н

**ДЕМИДОВ АЛЕКСАНДР НИКОЛАЕВИЧ**

Доцент, старший научный сотрудник кафедры океанологии географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, к.г.н.

**ДОРОХОВ ДМИТРИЙ ВЛАДИМИРОВИЧ**

Старший научный сотрудник лаборатории геологии Атлантики Атлантического отделения ИО РАН, к.г.н.

**ЛОБКОВСКИЙ ЛЕОПОЛЬД ИСАЕВИЧ**

Академик РАН, Научный руководитель геологического направления Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН (ИО РАН), д.ф.-м.н.

**КОНОВАЛОВА ОЛЬГА ПЕТРОВНА**

Руководитель Управления научных исследований и разработок Центра морских исследований МГУ имени М.В. Ломоносова (ЦМИ МГУ), к.б.н.

**КРАШЕНИННИКОВА СВЕТЛАНА БОРИСОВНА**

Старший научный сотрудник Федерального исследовательского центра «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН», к.г.н.

**МОКИЕВСКИЙ ВАДИМ ОЛЕГОВИЧ**

Заведующий лабораторией экологии прибрежных донных сообществ ИО РАН, д.б.н.

**НАЙДЕНКО СЕРГЕЙ ВАЛЕРИЕВИЧ**

Директор Института проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН (ИПЭЭ РАН), член-корреспондент РАН, д.б.н., профессор

**НОВИГАТСКИЙ АЛЕКСАНДР НИКОЛАЕВИЧ**

Заведующий Аналитической лаборатории ИО РАН, к.г.-м.н.



**ПОТЁМКА АНДРЕЙ КОНСТАНТИНОВИЧ**

Аспирант кафедры сейсмометрии и геоакустики геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова

**РЫБАЛКО АЛЕКСАНДР ЕВМЕНЬЕВИЧ**

Профессор кафедры геоморфологии СПбГУ, ведущий научный сотрудник ФГБУ «ВНИИОкеангеология», старший геолог ООО «Морской центр», д.г.-м.н.

**СЕМЁНОВА МАРИНА ИВАНОВНА**

Директор по цифровым технологиям ООО «Моринтех»

**СИВКОВ ВАДИМ ВАЛЕРЬЕВИЧ**

Директор Атлантического отделения ИО РАН, к.г.-м.н.

**СОЛОВЬЁВА МАРИЯ АНДРЕЕВНА**

Научный сотрудник лаборатории поведения и поведенческой экологии млекопитающих ИПЭЭ РАН, к.б.н.

**СУБЕТТО ДМИТРИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ**

Декан Факультета географии РГПУ имени А.И. Герцена, заведующий кафедрой физической географии и природопользования РГПУ им. А.И. Герцена, д.г.н.

**ТЕРЁХИНА ЯНА ЕВГЕНЬЕВНА**

Научный сотрудник кафедры сейсмометрии и геоакустики геологического факультета МГУ имени М. В. Ломоносова

**ЦЕТЛИН АЛЕКСАНДР БОРИСОВИЧ**

Директор Беломорской биологической станции имени Н.А. Перцова, профессор биологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, д.б.н.

**ФАЗЛУЛЛИН СЕРГЕЙ МАРАТОВИЧ**

Президент Конфедерации подводной деятельности России, доцент кафедры музеологии РГГУ, Член-корреспондент РАЕН, к.г.н.

**ШАБАЛИН НИКОЛАЙ ВЯЧЕСЛАВОВИЧ**  
(председатель координационного комитета)

Исполнительный директор ЦМИ МГУ



## КООРДИНАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

**НЕСМЕЯНОВА ЕКАТЕРИНА МИХАЙЛОВНА**

Начальник отдела образовательных проектов и связей с общественностью ЦМИ МГУ

**КОВАЛЁВА АНАСТАСИЯ МИХАЙЛОВНА**

Старший специалист отдела образовательных проектов и связей с общественностью ЦМИ МГУ

**БИЛЯЛОВА АНАСТАСИЯ АНДРЕЕВНА**

Специалист отдела образовательных проектов и связей с общественностью ЦМИ МГУ

**ФРИХ-ХАР АННА ЮРЬЕВНА**

Специалист отдела образовательных проектов и связей с общественностью ЦМИ МГУ



## КООРДИНАТОР

Центр морских исследований  
МГУ имени М.В. Ломоносова

Контактная информация:  
119234, Россия, г. Москва,  
ул. Ленинские горы, 1-77  
Научный парк МГУ, офис 402  
t.: +7 (495) 648 65 88  
e.: [info@marine-rc.ru](mailto:info@marine-rc.ru)  
w.: [www.marine-rc.ru](http://www.marine-rc.ru)



**ЦМИ  
МГУ**



@CMI\_MSU



## КОНТАКТЫ

По вопросам участия в конференции:  
e.: [maresedu@marine-rc.info](mailto:maresedu@marine-rc.info)  
t.: +7 (495) 648 65 88

# Том III (IV) / Volume III (IV)

## Оглавление / Contents

### Программа конференции / Conference Programme

### Тезисы / Abstracts

#### Морская биология. Устные доклады

НЕКОТОРЫЕ ДАННЫЕ О МИКРОСКОПИЧЕСКОЙ АНАТОМИИ <i>SYMBION PANDORA</i> (CYCLOPHORA) <u>Борисанова А.О.</u> .....	18
НОВАЯ МЕЙОБЕНТОСНАЯ НЕМЕРТИНА – КОГДА СЕГМЕНТЫ ОПЯТЬ НЕ ИМЕЮТ ЗНАЧЕНИЯ <u>Чернева И.А., Королёва А.С., Неретина Т.В.</u> .....	23
АДАПТИВНЫЙ ТРЕЙДОФФ ПРИ ПЕРЕХОДЕ ОТ ФАКУЛЬТАТИВНОГО К ОБЛИГАТНОМУ СИМБИОЗУ У БРЮХОНОГИХ МОЛЛЮСКОВ <u>Дгебуадзе П.Ю., Мехова Е.С.</u> .....	27
АДГЕЗИОННЫЕ ОРГАНЫ СО СЛОЖНОЙ НЕРВНО-МЫШЕЧНОЙ СИСТЕМОЙ – СТРОЕНИЕ РОПАЛОИДОВ <i>HALICLYSTUS AURICULA</i> (CNIDARIA: STAUROZOA) <u>Домрачева М.М., Хабибулина В.Р., Салова И.А.</u> .....	33
ОРГАНИЗАЦИЯ СРЕДНЕЙ КИШКИ ПИКНОГОНИД <i>PHOXICHILIDIUM FEMORATUM</i> (ARTHROPODA, CHELICERATA) <u>Алексеева Н.В.</u> .....	38
БИОРАЗНООБРАЗИЕ МАЛАКОФАУНЫ В СИСТЕМЕ КАСПИЙ-МАНЫЧ-ПОНТ В ПОСЛЕДНЮЮ МЕЖЛЕДНИКОВУЮ ЭПОХУ <u>Янина Т.А., Сорокин В.М., Семиколенных Д.В.</u> .....	42
НОРМАЛЬНОЕ РАЗВИТИЕ И ОСОБЕННОСТИ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА МИНИАТЮРНЫХ ИНТЕРСТИЦИАЛЬНЫХ АННЕЛИД: НЕОЖИДАННЫЕ ФАКТЫ О РОЛИ КАРЛИКОВЫХ САМЦОВ У <i>DIMORPHILUS GYROCILIATUS</i> <u>Матвеева Е.П., Фофанова Е.Г., Воронежская Е.Е.</u> .....	50
СТРОЕНИЕ НЕРВНО-МЫШЕЧНОЙ СИСТЕМЫ ПОЛИПОВ И ЭФИР <i>LINUCHE SP.</i> (SCYPHOZOA: CORONATAE) <u>Салова И.А., Домрачева М.М., Хабибулина В.Р.</u> .....	57
УТОЧНЕНИЕ ВИДОВОЙ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ ЧЕРНОМОРСКОЙ ПЛЕВРОБРАХИИ МЕТОДАМИ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ФИЛОГЕНЕТИКИ <u>Баяндина Ю.С., Кулешова О.Н.</u> .....	60
ЭКСКРЕТОРНАЯ СИСТЕМА МОРСКОГО ПАУКА <i>AMMOTHEA HILGENDORFI</i> (ВÖHM, 1879) (PYCNOGONIDA: AMMOTHEIDAE) <u>Богомолова Е.В., Петрова М.А.</u> .....	63
ОПТИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ОСТРАКОД – КЛЮЧ К ОЦЕНКЕ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ И АБСОЛЮТНОЙ ПАЛЕОГЛУБИНЫ (КАЛИБРОВКА МЕТОДА) <u>Тесакова Е.М.</u> .....	71
ГЕНЕТИЧЕСКАЯ СВЯЗЬ ПОПУЛЯЦИЙ ХЕМОСИМБИОТРОФНЫХ ДВУСТВОРЧАТЫХ МОЛЛЮСКОВ <i>CALYPTOGENA PACIFICA</i> (VESICOMYIDAE: PLEOCARDIINAE) БЕРИНГОВА МОРЯ И ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ТИХОГО ОКЕАНА <u>Белов Д.А., Кременецкая А.В., Крылова Е.М.</u> .....	79
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЖЕСТКИХ СТРУКТУР У ВЫМЕРШИХ И СОВРЕМЕННЫХ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ МШАНОК ИЗ КЛАССА STENOCLAEMATA <u>Вахрушев А.Е., Темерева Е.Н.</u> .....	82
ТРАНСМИССИВНАЯ НЕОПЛАЗИЯ МИДИЙ Р. MYTILUS В МОРЯХ РОССИИ <u>Сказина М.А., Стрелков П.П.</u> .....	90
УЛЬТРАСТРУКТУРА ЭПИТЕЛИЕВ ЛОФОЗОРА И ЩУПАЛЕЦ <i>NOVOCRANIA ANOMALA</i> (BRACHIOPODA, CRANIIFORMEA) <u>Пландин Ф.А., Темерева Е.Н.</u> .....	95
МОРФО-ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ОРГАНИЗАЦИИ НЕРВНОЙ И МЫШЕЧНОЙ СИСТЕМЫ МАНТИИ БРАХИОПОДЫ <i>HEMITHIRIS PSITTACEA</i> (RHYNCHONELLIFORMEA: RHYNCHONELLIDA) <u>Ратновская А.В., Кузьмина Т.В.</u> .....	99
СЕКРЕТ XENASOELOMORPHA <u>Константинова Ю.И., Темерева Е.Н.</u> .....	104
МЕТАМОРФОЗ SPIRALIA <u>Тайманова О.И., Темерева Е.Н.</u> .....	111

БИОГЕОГРАФИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА CNIDARIA КАРСКОГО МОРЯ <u>Журавлева Н.Е.</u> .....	116
МИКРОБНЫЕ СООБЩЕСТВА ДОННЫХ ОСАДКОВ МОРЕЙ ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ЕВРАЗИЙСКОЙ АРКТИКИ <u>Брюханов А.Л.</u> .....	120
СТРУКТУРА МИКРОБНОГО СООБЩЕСТВА ВОДНОЙ ТОЛЩИ КАНДАЛАКШСКОГО ЗАЛИВА БЕЛОГО МОРЯ <u>Салова В.Д., Холдина А.М., Клокина А.А., Гаврилова Л.А., Щербакова П.А., Шестаков А.И., Бонч-Осмоловская Е.А.</u> .....	125
БАКТЕРИОПЛАНКТОН ЗАЛИВОВ КАРСКОГО МОРЯ: АРХИПЕЛАГИ СЕВЕРНАЯ И НОВАЯ ЗЕМЛЯ <u>Бычкова У.В., Романова Н.Д., Воробьева О.В.</u> .....	129
ОСОБЕННОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ И ТРОФИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ МАКРОБЕНТОСА В ЛАГУННОЙ ЭКОСИСТЕМЕ НИКОЛЬСКОЙ ГУБЫ (КАНДАЛАКШСКИЙ ЗАЛИВ, БЕЛОЕ МОРЕ) <u>Столяров А.П.</u> .....	133
КОНСОРТИВНЫЕ СВЯЗИ <i>ZOSTERA MARINA</i> L. В БЕЛОМ МОРЕ У БЕРЕГОВ ОНЕЖСКОГО ПОЛУОСТРОВА <u>Мосеев Д.С., Махнович Н.М., Брагин А.В.</u> .....	137
ЭПИФИТЫ <i>ASCOPHYLLUM NODOSUM (PHEOPHYCEAE)</i> В ГУБЕ ТЕРИБЕРСКАЯ БАРЕНЦЕВА МОРЯ <u>Тупицына С.А., Нерезенко А.М., Рыжик И.В., Малавенда С.В.</u> .....	142
К ВОПРОСУ РАЗРАБОТКИ МЕТОДИКИ СЪЕМКИ ЛИТОРАЛИ ПРИ ПОМОЩИ БПЛА ДЛЯ ОЦЕНКИ ЗАПАСОВ ВОДОРΟΣЛЕЙ <u>Гурова П.Д.</u> .....	148
АНАЛИЗ ПРОСТРАНСТВЕННО-ГЕОГРАФИЧЕСКОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ МОРСКИХ ПТИЦ В ЗАПАДНОМ СЕКТОРЕ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ <u>Болдырев С.Л.</u> .....	156
ВЛИЯНИЕ ФАКТОРОВ СРЕДЫ НА ВИДОВОЕ РАЗНООБРАЗИЕ И ОБИЛИЕ СИМБИОНТОВ КОРАЛЛА <i>POCILLOPORA VERRUCOSA</i> <u>Петроченко Р.А., Лищенко Ф.В., Бурмистрова Ю.А., Бритаев Т.А.</u> .....	164
РОСТ И ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ЖИЗНИ ДВУСТВОРЧАТОГО МОЛЛЮСКА <i>MACOMA CALCAREA</i> (GMELIN, 1791) ВО ФЬОРДАХ О. ЗАПАДНЫЙ ШПИЦБЕРГЕН <u>Носкович А.Э.</u> .....	171
ОФИУРЫ GORGONOSERNALIDAE (ECHINOERMATA: ORNITHOIDEA: EURYALIDA): ПРЕДСТАВИТЕЛИ СЕМЕЙСТВА НА ПОДВОДНЫХ ГОРАХ ИМПЕРАТОРСКО-ГАВАЙСКОГО ХРЕБТА <u>Волкова А.Л., Даутова Т.Н., Даутов С.Ш.</u> .....	177
ЭФФЕКТИВНОСТЬ КАМУФЛЯЖА И ФОРМА РАКОВИНЫ СИМБИОТИЧЕСКОГО МОЛЛЮСКА <i>PHENACOVOLVA ROSEA</i> НА РАЗНЫХ ВИДАХ КОРАЛЛОВ ХОЗЯЕВ И В РАЗНЫХ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ <u>Звонарева С.С., Мехова Е.С., Лищенко Ф.В.</u> .....	180
ДИНАМИКА РАЗМЕРНОЙ СТРУКТУРЫ ДВУСТВОРЧАТЫХ МОЛЛЮСКОВ РЫХЛЫХ ГРУНТОВ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОГО ПОБЕРЕЖЬЯ ЧЕРНОГО МОРЯ <u>Колочкина Г.А., Любимов И.В., Данилова Н.А.</u> .....	185
ПИТАНИЕ И ТРОФИЧЕСКИЕ СВЯЗИ РЫБ В ГАЛЕЧНО-ВАЛУННЫХ БИОТОПАХ ПРИЛИВНО-ОТЛИВНОЙ ЗОНЫ АВАЧИНСКОЙ ГУБЫ (ЮГО-ВОСТОЧНАЯ КАМЧАТКА) <u>Токранов А.М.</u> .....	190
МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА БИООБРАСТАНИЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО ПЛАСТИКОВОГО ФРАГМЕНТА В УСЛОВИЯХ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ <u>Соколов А.Н.</u> .....	195
О СТАТИСТИЧЕСКОМ СРАВНЕНИИ ХАРАКТЕРА РОСТА ДВУСТВОРЧАТЫХ МОЛЛЮСКОВ <u>Герасимова А.В., Максимович Н.В., Филиппова Н.А., Иванова Т.С.</u> .....	199
СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА СТРУКТУРЫ ФИТОПЛАНКТОНА МЕРОМИКТИЧЕСКОГО ОЗЕРА ЕЛОВОЕ, ОТДЕЛЕННОГО ОТ БЕЛОГО МОРЯ, В 2021 Г. <u>Иванова Д.А., Краснова Е.Д., Воронов Д.А., Радченко И.Г.</u> .....	205
ИЗМЕНЕНИЯ В СООБЩЕСТВАХ МЕГАБЕНТОСА БАРЕНЦЕВА МОРЯ ПОД ВЛИЯНИЕМ КАМЧАТСКОГО КРАБА И КРАБА-СТРИГУНА ОПИЛИО <u>Захаров Д.В., Манушин И.Е., Йоргенсен Л.Л., Стрелкова Н.А.</u> .....	209
РАЗНООБРАЗИЕ ЛЕДОВОЙ ФАУНЫ В ЗОНЕ КРОМКИ ЛЬДА КАРСКОГО МОРЯ <u>Прошок Я.П., Тимченко А.И.</u> .....	214
СТРУКТУРА БИОСФЕРЫ: БИОЦЕНОЗ, БИОМ, ЭКОСИСТЕМА, БИОГЕОЦЕНОЗ <u>Жирков И.А.</u> .....	218
РЕЗИДЕНТЫ И ЭКСПАТРИАНТЫ В ПЛАНКТОНЕ АРКТИЧЕСКОГО БАСЕЙНА: РОЛЬ В СТРУКТУРЕ СООБЩЕСТВ, ВКЛАД В БИОМАССУ И ПРОДУКТИВНОСТЬ ЗООПЛАНКТОНА <u>Кособокова К.Н., Осипова Д.Д.</u> .....	224
ДИНОФЛАГЕЛЛЯТЫ КОМПЛЕКСА "ВРЕДНОСНОГО "ЦВЕТЕНИЯ" ВОДЫ В АВАЧИНСКОЙ ГУБЕ (ВОСТОЧНАЯ КАМЧАТКА) <u>Лепская Е.В., Тепнин О.Б.</u> .....	230
СОСТАВ ПИГМЕНТОВ И ТАКСОНОМИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ФИТОПЛАНКТОНА КУРШСКОГО ЗАЛИВА (БАЛТИЙСКОЕ МОРЕ) ЛЕТОМ 2023 ГОДА <u>Щербаков С.А., Ланге Е.К.</u> .....	235

КАРТЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ БЕРЕГОВ К РАЗЛИВАМ НЕФТИ. ВОПРОСЫ ПОСТРОЕНИЯ И СФЕРЫ ПРИМЕНЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ КОЛЬСКОГО ЗАЛИВА, БАРЕНЦЕВА МОРЯ <u>Ващенко П.С.</u> .....	239
СЕЗОННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПЕРВИЧНОЙ ПРОДУКЦИИ И ХЛОРОФИЛЛА РАЗМЕРНЫХ ГРУПП ПОВЕРХНОСТНОГО ФИТОПЛАНКТОНА КАРСКОГО МОРЯ <u>Тюрина А.С., Демидов А.Б., Белевич Т.А., Воробьева О.В.</u> .....	244
ИХТИОЛОГИЧЕСКИЙ РЕЛИКТ <i>ARAPAIMA GIGAS</i> – УНИКАЛЬНЫЙ ОБЪЕКТ МИРОВОЙ АКВАКУЛЬТУРЫ <u>Бобкова А.А., Никифоров А.И.</u> .....	250
ИЗУЧЕНИЕ ВИДОВОГО СОСТАВА ПОКОЯЩИХСЯ СТАДИЙ ДИНОФИТОВЫХ МИКРОВОДОРОСЛЕЙ В ПОВЕРХНОСТНЫХ ОСАДКАХ БЕРИНГОВА ПРОЛИВА И ЧУКОТСКОГО МОРЯ <u>Зверева А.Ю., Орлова Т.Ю., Морозова Т.В.</u> .....	254
ФИТОПЛАНКТОН МОРЕЙ ЛАПТЕВЫХ И ВОСТОЧНО-СИБИРСКОЕ (АВГУСТ 2008) <u>Полякова Е.И., Кловиткина Т.С., Крюкова И.М.</u> .....	259
МИКРОВОДОРОСЛИ-КРИОФИЛЫ АМУРСКОГО ЗАЛИВА В ЗИМНИЙ ПЕРИОД 2022 Г. <u>Юрикова Е.А., Бегун А.А., Орлова Т.Ю.</u> .....	266
ДИНАМИКА ЛИПИДНОГО СОСТАВА <i>TETRASELMIS SUECICA</i> ((KYLIN) BUTCHER, 1959) ПОД ВЛИЯНИЕМ 3-ИНДОЛМАСЛЯНОЙ КИСЛОТЫ В НАКОПИТЕЛЬНОЙ КУЛЬТУРЕ <u>Барсова Е.А., Лескова С.Е., Михеев Е.В., Ковалев Н.Н.</u> .....	271
ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ФИТОПЛАНКТОНА И КОНЦЕНТРАЦИИ ХЛОРОФИЛЛА–А С УЧЕТОМ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ СРЕДЫ В ПРИБРЕЖЬЕ ЧЕРНОГО МОРЯ ВЕСНОЙ <u>Крашенинникова С.Б., Минкина Н.И., Самышев Э.З., Ли Р.И., Шокурова И.Г., Бабич С.А., Бабич М.С.</u> .....	279
ПИТАНИЕ БЫЧКА КУРГЛЯКА В ФИНСКОМ ЗАЛИВЕ ВБЛИЗИ ОСТРОВА СЕСКАР <u>Дарсия Н.А.</u> .....	282
ПОПУЛЯЦИОННАЯ СТРУКТУРА САЙКИ ( <i>BOREOGADUS SAIDA</i> ) НА ОСНОВАНИИ ФРАГМЕНТА ГЕНА <i>CYT B</i> В ПРЕДЕЛАХ ШЕСТИ МОРЕЙ СЕВЕРНОГО ЛЕДОВИТОГО ОКЕАНА <u>Емельянова О.Р., Григоров И.В., Орлов А.М., Орлова С.Ю.</u> .....	286
ЗАВИСИМОСТЬ ОТ ПОЛА ЭКСПРЕССИИ ГЕНА ПРОЛАКТИНА В МОЗГЕ И ГЕНОВ <i>NA/K</i> -АТФАЗЫ В ЖАБРАХ ТРЁХИГЛОЙ КОЛЮШКИ <i>GASTEROSTEUS ACULEATUS</i> L. ПРИ ПРЭСНОВОДНОЙ АДАПТАЦИИ <u>Павлова Н.С., Неретина Т.В., Смирнова О.В.</u> .....	294
МОРФОЛОГИЯ И СИСТЕМАТИКА АНТАРКТИЧЕСКИХ БЕЛОКРОВНЫХ РЫБ РОДА <i>SHANNICHTHYS</i> RICHARDSON, 1844 (NOTOTHEMNOIDEI: SHANNICHTHYIDAE) <u>Николаева Е.А.</u> .....	300
ДИНАМИКА ГОДОВОГО РАЗВИТИЯ СООБЩЕСТВ ОБРАСТАНИЯ ИСКУССТВЕННЫХ СУСБТРАТОВ В ВЕРХНЕЙ СУБЛИТОРАЛИ БЕЛОГО МОРЯ <u>Чава А.И., Захаров Г.Д., Озеров Д.А.</u> .....	304
ДАЛЬНОСТЬ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ЧАСТИЦ В КОЛОНИЯХ ГИДРОИДОВ СЕМЕЙСТВА <i>SAMPANULARIIDAE</i> <u>Дементьев В.С., Марфенин Н.Н.</u> .....	310
ОПТИМИЗАЦИЯ ГИДРОБИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ БЕНТАЛИ ПРИ ПОМОЩИ ТНПА <u>Шушков Д.А., Шкрябин А.А., Зуев Ю.А., Зуева Н.В., Гусев Д.В.</u> .....	317
СЕВЕРОАТЛАНТИЧЕСКИЕ МОРСКИЕ ОКУНИ-ГИГАНТЫ РОДА <i>SEBASTES</i> <u>Рольский А.Ю., Артамонова В.С., Махров А.А., Попов В.И.</u> .....	321
ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОД СЕВЕРНОГО КАСПИЯ ИНДЕКСОМ ГУДНАЙТ-УОТЛЕЯ <u>Кашин Р.Д., Минакова Е.В., Жаткина О.В.</u> .....	326
ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ФАУНЫ ДВУСТВОРЧАТЫХ МОЛЛЮСКОВ СУБЛИТОРАЛЬНОЙ И БАТИАЛЬНОЙ ЗОН КУРИЛЬСКИХ ОСТРОВОВ (АНАЛИЗ МАТЕРИАЛОВ ЭКСПЕДИЦИЙ 1948-2019 ГГ.) <u>Лисицына К.Н., Каменев Г.М.</u> .....	331
ВЫДЕЛЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ВЕЩЕСТВ ФИТОПЛАНКТОНА КУРШСКОГО ЗАЛИВА БАЛТИЙСКОГО МОРЯ, ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ В КАЧЕСТВЕ НОВЫХ АКТИВНЫХ ФАРМАЦЕВТИЧЕСКИХ СУБСТАНЦИЙ <u>Смирнов А.Н., Александров С.В., Буччони М., Ламбертуччи К., Маруччи Г., Найданов Д.А., Щербачев С.А.</u> .....	335
ТРОФИЧЕСКАЯ ЭКОЛОГИЯ ИНТРОДУЦИРОВАННОГО КАМЧАТСКОГО КРАБА ( <i>PARALITHODES CAMTSCHATICA</i> ) ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БАРЕНЦЕВОМОРСКОЙ ПОПУЛЯЦИИ <u>Манушин И.Е., Блинова Д.Ю.</u> .....	343
НОВЫЕ ДАННЫЕ О ТОНКОМ СТРОЕНИИ АНАЛЬНЫХ МЕШКОВ ЭХИУРИДЫ <i>BONELLIA VIRIDIS</i> (ANNELIDA: BONELLINAE) <u>Кузнецов П.А., Ересковский А.В., Темерева Е.Н.</u> .....	346
ИНВАЗИЙНЫЕ КРАБЫ КАК НОВЫЕ ПИЩЕВЫЕ ОБЪЕКТЫ РЫБ В БАРЕНЦЕВОМ И КАРСКОМ МОРЯХ <u>Долгов А.В.</u> .....	351
ГРАНИЦЫ И ГРАДИЕНТЫ СУБЛИТОРАЛЬНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ У МАТЕРИКОВЫХ ПОБЕРЕЖИЙ ЯПОНСКОГО И ОХОТСКОГО МОРЕЙ <u>Дуленин А.А.</u> .....	356
ПАРАЗИТЫ КАК ИНДИКАТОРЫ ФИЛОГЕНЕТИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ ОКУНЯ-КЛЮВАЧА <i>SEBASTES MENTELLA</i> (SEBASTIDAE) <u>Бакай Ю.И.</u> .....	362

ДИКАЯ ПОПУЛЯЦИЯ ГИГАНТСКОЙ УСТРИЦЫ ( <i>MAGALLANA GIGAS</i> (THUNBERG, 1793)) НА АЗОВО-ЧЕРНОМОРСКОМ ПОБЕРЕЖЬЕ КРАСНОДАРСКОГО КРАЯ <u>Ананьева М.С.,</u> Симакова У.В., Тимофеев В.А., Семин В.Л., Колочкина Г.А. ....	369
СТРАТЕГИЯ ИЗУЧЕНИЯ ПИНГВИНОВ ГУМБОЛЬДТА ( <i>SPHENISCUS GUMBOLDTI</i> ), СОДЕРЖАЩИХСЯ В "ПРИМОРСКОМ ОКЕАНАРИУМЕ" - ФИЛИАЛЕ ННЦМБ ДВО РАН <u>Сабущкая М.А.</u> .....	377

## Морская биология. Стендовые доклады

МАКСИМАЛЬНЫЙ ВОЗРАСТ <i>SCIAENA UMBRA</i> LINNAEUS, 1758 В СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ЧЁРНОГО МОРЯ (КРЫМ) <u>Тамойкин И.Ю.</u> .....	382
ХАРАКТЕРИСТИКА ПИТАНИЯ НАВАГИ И ТРЕСКИ НА ПОБЕРЕЖЬЕ БЕЛОГО <u>Босва К.В.,</u> Иванова Т.С., Иванов М.В., Лайус Д.Л. ....	386
РЕПРОДУКТИВНАЯ СТРУКТУРА СЕВЕРОХОТОМОРСКОГО МИНТЯ <i>GADUS CHALCOGRAMMUS</i> (GADIDAE), КАК ИНДИКАТОР СОСТОЯНИЯ ЗАПАСА <u>Шейбак А.Ю.,</u> Смирнов А.А. ....	389
ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРОСТРАНЕНИЕ, ОСОБЕННОСТИ БИОЛОГИИ И ДИНАМИКА ЧИСЛЕННОСТИ ПЯТНИСТОГО СКАТА <i>VATHYRAJA MACULATA</i> В СЕВЕРНОЙ ПАЦИФИКЕ <u>Григорьев И.В.,</u> Кивва К.К., Орлов А.М. ....	394
СРАВНЕНИЕ МЕТОДИЧЕСКИХ ПОДХОДОВ К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ВОЗРАСТА ПЕПЕЛЬНОГО МАКРУРУСА <i>CORYPHAENOIDES CINEREUS</i> (GILBERT, 1896) <u>Мельникова Ф.А.,</u> Беляев П.С., Трофимова А.О. ....	399
ЗООПЛАНКТОН ПРИБРЕЖНОЙ ЧАСТИ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ БАЛТИКИ ЛЕТОМ 2023 Г. <u>Казакова Д.М.,</u> Полунина Ю.Ю. ....	405
ОСОБЕННОСТИ СОСТАВА И СТРУКТУРЫ ЛЕТНЕГО ЗООПЛАНКТОНА ПРИБЕЖНОЙ ЗОНЫ ВИСЛИНСКОГО И КУРШСКОГО ЗАЛИВОВ В 2023 ГОДУ <u>Болотов Э.А.,</u> Полунина Ю.Ю. ....	409
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОСВЯЗИ ЧИСЛЕННОСТИ ФИТО И ЗООПЛАНКТОНА В БАРЕНЦЕВОМ МОРЕ <u>Чернышова А.С.,</u> Чанцев В.Ю. ....	413
ОЦЕНКА ВАРИАБЕЛЬНОСТИ ЧЕТЫРЕХ МЕРОМИКТИЧЕСКИХ ВОДОЕМОВ ОКРЕСТНОСТЕЙ БЕЛОМОРСКОЙ БИОЛОГИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ МГУ ПО ПИГМЕНТНОМУ СОСТАВУ ВОДНЫХ ФОТОТРОФОВ <u>Нагаева А.С.,</u> Гальш А.А., Еланская А.С., Лабунская Е.А., Быкова Е.А., Краснова Е.Д., Воронов Д.А. ....	415
ПРОИСХОЖДЕНИЕ КЛЕПТОПЛАСТИД ДИНОФЛАГЕЛЛЯТ РОДА <i>DINOPHYSIS</i> ИЗ ЛАГУНЫ НА ЗЕЛЕНОМ МЫСЕ: ПИГМЕНТНЫЙ АНАЛИЗ <u>Еланская А.С.,</u> Гальш А.А., Нагаева А.С., Лабунская Е.А., Быкова Е.А., Краснова Е.Д., Воронов Д.А. ....	421
АНАЛИЗ ПИГМЕНТНОГО СОСТАВА И ФОТОСИНТЕТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ АЛЬГО-БАКТЕРИАЛЬНЫХ И МАТОВ ЗЕЛЕННЫХ НИТЧАТЫХ ВОДОРΟΣЛЕЙ КИСЛО-СЛАДКОГО ОЗЕРА В ОКРЕСТНОСТЯХ БЭС МГУ ИМ. Н.А. ПЕРЦОВА <u>Гальш А.А.,</u> Сидоченко Н.Д., Еланская А.С., Нагаева А.С., Быкова Е.А., Воронов Д.А., Краснова Е.Д. ....	426
ОЦЕНКА ВИДОВОГО СОСТАВА ПОДЛЕДНОГО АНТАРКТИЧЕСКОГО ФИТОПЛАНКТОНА <u>Швед Я.В.,</u> Логинова Н.Б. ....	434
СУТОЧНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКОЙ СПОСОБНОСТИ ФИТОПЛАНКТОНА В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ (ПОС. РЫБНОЕ, КАЛИНИНГРАДСКАЯ ОБЛАСТЬ) <u>Маховиков А.Д.,</u> Мошаров С.А. ....	439
СТРУКТУРА СООБЩЕСТВ ФИТОПЛАНКТОНА И ИХ ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ В ПЕЧОРСКОЙ ГУБЕ <u>Сашова О.А.,</u> Коновалова О.П. ....	444
ПОЛИМОРФИЗМ ЗЕЛЕННЫХ СЕРНЫХ БАКТЕРИЙ <i>CHLOROBIVM PHAEOVIBRIOIDES</i> , ВЫДЕЛЕННЫХ ИЗ МЕРОМИКТИЧЕСКОГО ОЗ. БОЛЬШИЕ ХРУСЛОМЭНЫ (О. ОЛЕНИЙ, КАНДАЛАКШСКИЙ ЗАЛИВ БЕЛОГО МОРЯ) <u>Лунина А.Л.,</u> Беленкова В.В., Лунина О.Н. ....	449
АНТИБИОТИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ГРИБОВ, АССОЦИИРОВАННЫХ С КРАСНЫМИ ВОДОРΟΣЛЯМИ <i>ODONTHALIA DENTATA</i> И <i>RHUCODRYS RUBENS</i> <u>Ермишина М.А.,</u> Бубнова Е.Н., Чердынцева Т.А., Гавирова Л.А. ....	456
ОЦЕНКА ЧИСЛЕННОСТИ РЫБ В ПРИБРЕЖНЫХ СООБЩЕСТВАХ В БЕЛОМ МОРЕ <u>Иванова Т.С.,</u> Иванов М.В., Полякова Н.В., Лайус Д.Л. ....	460
ОЦЕНКА БИОМАССЫ НИТЧАТЫХ ВОДОРΟΣЛЕЙ В ОЗЕРЕ КИСЛО-СЛАДКОЕ (КАНДАЛАКШСКИЙ ЗАЛИВ, БЕЛОЕ МОРЕ), ЧАСТИЧНО ИЗОЛИРОВАННОМ ОТ БЕЛОГО МОРЯ <u>Абрамова М.С.,</u> Баскаев А.А., Буряк А.Ю., Волков П.А., Ермохин Д.А., Илюшин Е.А., Казакова М.А., Карнаузов В.К., Кравцов И.Д., Кузьмин Н.А., Лапшина К.К., Матерова Т.А., Нехорошева Ю.Е., Шипилова П.А., Ястребов И.А., Григорян И.В., Пархаева А.П., Краснова Е.Д. ....	463
ИЗУЧЕНИЕ СООБЩЕСТВ МИКРООРГАНИЗМОВ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ВОДЫ КАРСКОГО И БАРЕНЦЕВА МОРЕЙ МЕТОДАМИ МЕТАГЕНОМИКИ <u>Мишустина Е.П.,</u> Демкина А.О., Мамонтов В.А., Сутормин Д.А., Трофимова А.Б. ....	471

ПОТЕНЦИАЛЬНО ТОКСИЧНЫЕ ВИДЫ В СТРУКТУРЕ ФИТОПЛАНКТОНА ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ КУРШСКОГО ЗАЛИВА БАЛТИЙСКОГО МОРЯ ЛЕТОМ 2023 ГОДА <u>Щербяков С.А.</u> , Ланге Е.К., Балашова А.В. ....	474
РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ХЛОРОФИЛЛА “а” В КАРСКОМ МОРЕ И СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ БАРЕНЦЕВА МОРЯ В ИЮЛЕ 2023 Г. <u>Сашова О.А.</u> , Коновалова О.П. ....	479
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫЖИВАЕМОСТИ СЕГОЛЕТОК МАКОМЫ <i>MASOMA BALTHICA</i> В ЗИМНИЙ ПЕРИОД НА ЛИТОРАЛИ БЕЛОГО МОРЯ <u>Ященко И.А.</u> , Новикова С.К., Назарова С.А., Червякова Н.А., Сафонов М.В. ....	484
ЛИТОРАЛЬНЫЕ СООБЩЕСТВА МАГАДАНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ЗАПОВЕДНИКА (ОЛЬСКИЙ УЧАСТОК) <u>Булавинова В.И.</u> , Коновалова О.П., Юрикова Д.А., Киселев А.Д. ....	489
ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ БЕНТОСНОГО СООБЩЕСТВА НА СТАНЦИИ 6-8 ПОЛИГОНА № 6 ВБЛИЗИ О. МОЛОЧНИЦА КАНДАЛАКШСКОГО ЗАЛИВА БЕЛОГО МОРЯ <u>Табачникова К.С.</u> , Кузнецов К.О., Константинова Ю.И., Поляков Д.И., Гомжин И.О., Петрушкова Т.И., Синицын А.М., Кокорин А.И., Мокиевский В.О. ....	494
УТОЧНЕНИЕ ФАУНЫ CRINOIDEA В АРКТИЧЕСКИХ МОРЯХ РОССИИ (БЕЛОЕ, БАРЕНЦЕВО, КАРСКОЕ, ЛАПТЕВЫХ, ВОСТОЧНО-СИБИРСКОЕ, ЧУКОТСКОЕ) И СОПРЕДЕЛЬНЫХ ВОДАХ <u>Стратаненко Е.А.</u> ....	499
ОРГАНИЗАЦИЯ ПОЛОСТИ ТЕЛА У БЕЛОМОРСКОЙ ХЕТОГНАТЫ <i>PARASAGITTA ELEGANS</i> <u>Уразаева А.О.</u> , Темерева Е.Н. ....	503
<i>DIMORPHILUS GYROCILIATUS</i> - ПЕРСПЕКТИВНАЯ МОДЕЛЬ В ИЗУЧЕНИИ СТАРЕНИЯ <u>Фофанова Е.Г.</u> ....	505
СВЕТООТРАЖАЮЩАЯ СТРУКТУРА В ГОЛОВНОЙ ЧАСТИ НЕМЕРТИНЫ <i>ARCTOSTEMMA ARCTICUM</i> (NEMERTEA, NORPONEMERTEA): ЧТО НАМ ИЗВЕСТНО? <u>Лихачева Г.В.</u> , Чернева М.А. ....	507
СТРОЕНИЕ РЕПРОДУКТИВНОЙ СИСТЕМЫ ПАРТЕНОГЕНЕТИЧЕСКИХ САМОК <i>PODON LEUCARTII</i> (G.O. SARS, 1862) <u>Дегтярева Е.К.</u> ....	512
ИЗУЧЕНИЕ НАУПЛИАЛЬНЫХ СТАДИЙ КОПЕПОД РОДА <i>CALANUS</i> В КАРСКОМ МОРЕ ЛЕТОМ 2021 ГОДА <u>Ступникова А.Н.</u> , Дриц А.В., Симакова У.В., Москаленко В.Н., Мельникова С.А. ....	514
УЧАСТИЕ СИГНАЛЬНОГО ПУТИ SWNT В МОЛЕКУЛЯРНОЙ РАЗМЕТКЕ АРХИТЕКТУРНО СЛОЖНОЙ КОЛОНИИ ГИДРОИДНОГО ПОЛИПА <i>DYNAMENA PUMILA</i> <u>Ветрова А.А.</u> , Лебедева Т.С., Кремнёв С.В. ....	518
ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ АКТИВНОСТИ WNT/ $\beta$ -КАТЕНИН СИГНАЛЬНОГО ПУТИ НА РАЗВИТИЕ ЭМБРИОНОВ И АГРЕГАТОВ ЭМБРИОНАЛЬНЫХ КЛЕТОК ГИДРОИДНОГО ПОЛИПА <i>GONOTHYRAEA LOVENI</i> (HYDROZOA, CNIDARIA) <u>Соколова М.А.</u> , Калинин А.Н., Лебедева Т.С. ....	522
АТЛАС СПЕРМАТОЗОИДОВ МОРСКИХ БЕСПОЗВОНОЧНЫХ БЕЛОМОРСКОЙ БИОЛОГИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ МГУ <u>Каминская А.В.</u> , Морозова В.А. ....	528
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДИКИ ПОДСЧЕТА ОТМЕТОК РОСТА НА СТАТОЛИТАХ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВОЗРАСТА <i>B.</i> <i>OSAGAWAI</i> <u>Хорошутинна О.А.</u> , Ботнев Д.А. ....	536
ПРОДОЛЖЕНИЕ НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ВИДАМИ-ДВОЙНИКАМИ МЕДУЗ РОДА <i>CYANEA</i> В КАНДАЛАКШСКОМ ЗАЛИВЕ БЕЛОГО МОРЯ <u>Новикова В.С.</u> , Кудрявцева Е.И. ....	539
МОЛЕКУЛЯРНЫЕ МЕХАНИЗМЫ ЛИЧИНОЧНОГО МОРФОГЕНЕЗА ГУБКИ <i>HALISARCA DIJARDINII</i> <u>Борисенко И.Е.</u> , Ересковский А.В. ....	543
НЕИЗВЕСТНАЯ БЕЛОМОРСКАЯ ЛИЧИНКА ИЗ СЕМ. DORVILLEIDAE (ANNELIDA) <u>Королева А.С.</u> , Неретина Т.В., Колбасова Г.Д., Прудковский А.А., Цетлин А.Б. ....	549
ВЛИЯНИЕ АНТИДЕПРЕССАНТОВ НА ЭМБРИОНАЛЬНОЕ РАЗВИТИЕ <i>STRONGYLOCENTROTUS PALLIDUS</i> и <i>OPHELIA LIMACINA</i> <u>Кисель А.А.</u> , Румянцева С.М. ....	557
5 ВИДОВ MONOCELIS (PLATYHELMINTHES: PROSERIATA) ИЗ ОДНОЙ ЛУЖИ ОКРЕСТНОСТЕЙ БС МГУ <u>Константинова Ю.И.</u> , Поляков Д.И., Ежова М.А., Неретина Т.В. ....	560
СИСТЕМАТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ БЕЛОГО МОРЯ: 100 ЛЕТ СПУСТЯ <u>Росинская А.Е.</u> , Агунович К.К., Вержбицкий В.В., Ларшин Б.Б., Тайманова О.И., Чижов Ю.Д., Шапсюк М.С., Жадан А.Э., Кокорин А.И., Михлина А.Л., Мокиевский В.О., Цетлин А.Б. ....	562
ИССЛЕДОВАНИЕ МНОГООБРАЗИЯ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ РОДА <i>TEREBELLIDES</i> В БЕЛОМ МОРЕ <u>Бушуев С.Е.</u> , Кузенков К.А., Ливенский А.Д., Рюмина Е.Д., Жадан А.Э., Гнева Д.Р., Неретина Т.В. ....	570
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ РОДА <i>FLABELLIGERA</i> В БЕЛОМ МОРЕ <u>Парфенова А.С.</u> , Пепеляева Е.В., Ливенский А.Д., Рюмина Е.Д., Неретина Т.В. ....	573
ИССЛЕДОВАНИЕ МНОГООБРАЗИЯ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ РОДА <i>OPHRYOTROCHA</i> В БЕЛОМ МОРЕ <u>Рохин И.А.</u> , Алферова П.Е., Ливенский А.Д., Рюмина Е.Д., Неретина Т.В. ....	577
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ РОДА <i>CRYPTONATICA</i> В БЕЛОМ МОРЕ <u>Сафонова В.П.</u> , Фейгин С.Е., Кульбачная М.А., Салимгареев А.С., Чава А.И., Кремнев Г.А., Ливенский А.Д., Рюмина Е.Д., Неретина Т.В. ....	581

ДОСТИЖЕНИЕ ПОЛОВОЗРЕЛОСТИ ПИНГВИНОВ ГУМБОЛЬДА ( <i>SPHENISCUS HUMBOLDTI</i> ) В ИСКУССТВЕННЫХ УСЛОВИЯХ ПРИМОРСКОГО ОКЕАНАРИУМА- ФИЛИАЛА ННЦМБ ДВО РАН <u>Демина О.Д.</u> , Чернышова О.А. ....	585
К ВОПРОСУ О СТРУКТУРЕ ПОСЕЛЕНИЙ <i>ASTARTA BOREALIS</i> (BIVALVIA: ASTARTIDAE) У СЕВЕРО-ВОСТОЧНОГО КРАЯ АРЕАЛА В БАЛТИЙСКОМ МОРЕ <u>Карташова А.Е.</u> , Ежова Е.Е., Багиров Н.Э. ....	588
КОЛИЧЕСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ И ТРОФИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ЗООПЛАНКТОННЫХ СООБЩЕСТВ В ЖЕЛОБЕ СВЯТОЙ АННЫ И ПРИЛЕГАЮЩИХ АКВАТОРИЯХ В СЕНТЯБРЕ 2023 ГОДА <u>Болотов М.И.</u> , Перминова А.С., Юрикова Д.А., Коновалова О.П. ....	595
ИЗУЧЕНИЕ ЕСТЕСТВЕННОЙ СМЕРТНОСТИ ЗООПЛАНКТОНА В ЖЕЛОБЕ СВЯТОЙ АННЫ (КАРСКОЕ МОРЕ) С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВИТАЛЬНОГО ОКРАШИВАНИЯ <u>Перминова А.С.</u> , Болотов М.И., Юрикова Д.А., Коновалова О.П. ....	599
ИССЛЕДОВАНИЕ БИОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ МОРСКОЙ КОПЕПОДЫ <i>METRIDIA LONGA</i> <u>Раева А.С.</u> , Юрикова Д.А., Коновалова О.П., Сутормин Д.А. ....	603
ТРОФИЧЕСКАЯ ЭКОЛОГИЯ ДВУХ МАССОВЫХ ВИДОВ ЩЕТИНКОЧЕЛЮСТНЫХ ( <i>PARASAGITTA ELEGANS</i> И <i>EUKROHNIA NAMATA</i> ) В ЗООПЛАНКТОННЫХ СООБЩЕСТВАХ АРКТИКИ <u>Артемьев Г.М.</u> , Юрикова Д.А., Коновалова О.П. ....	608
РАСПРЕДЕЛЕНИЕ БАКТЕРИОПЛАНКТОНА В РАЗЛИЧНЫХ ВОДНЫХ МАССАХ ЖЕЛОБА СВЯТОЙ АННЫ <u>Коновалова О.П.</u> , Папа-Дмитриева Ю.А., Юрикова Д.А. ....	613
РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ИГЛОКОЖИХ ЮГО-ВОСТОЧНОГО И ЮГО-ЗАПАДНОГО ПОБЕРЕЖЬЯ КАМЧАТКИ, СОБРАННЫХ В РЕЙСЕ ТИХООКЕАНСКОГО ПЛАВУЧЕГО УНИВЕРСИТЕТА 2023 <u>Волкова А.Л.</u> , Рутенко О.А., Даутова Т.Н. ....	616
МИКРОБИОЛОГИЧЕСКАЯ ИЗУЧЕННОСТЬ ОХОТСКОГО МОРЯ И СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ТИХОГО ОКЕАНА, ПРИЛЕГАЮЩЕЙ К ПОБЕРЕЖЬЮ КАМЧАТКИ <u>Хокканен С.Н.</u> , Пономарева А.Л. ....	621
ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАЗНООБРАЗИЯ И РАСПРОСТРАНЕНИЯ МНОГОЩЕТИНКОВЫХ ЧЕРВЕЙ (ANNELIDA: POLYCHAETA) ПРИКАМЧАТСКИХ ВОД ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЭКСПЕДИЦИИ «ТИХООКЕАНСКИЙ ПЛАВУЧИЙ УНИВЕРСИТЕТ 2023» <u>Носков Д.В.</u> ....	628
ПЕРВИЧНЫЕ ДАННЫЕ О РАЗНООБРАЗИИ ПРИБРЕЖНЫХ И ГЛУБОКОВОДНЫХ СООБЩЕСТВ МАКРОЗООБЕНТОСА В ЮЖНЫХ ПРИКАМЧАТСКИХ ВОДАХ ТИХОГО ОКЕАНА И ОХОТСКОГО МОРЯ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЭКСПЕДИЦИИ ТИХООКЕАНСКИЙ ПЛАВУЧИЙ УНИВЕРСИТЕТ 2023 <u>Доброхотова Д.М.</u> , Рутенко О.А. ....	633
УГЛЕВОДОРОДОКИСЛЯЮЩИЕ БАКТЕРИИ ХОЛОДНЫХ МОРЕЙ <u>Кокуркина Ю.А.</u> , Дашков Д.В. ....	639
ВЕРТИКАЛЬНЫЕ ПОТОКИ ОСАДОЧНОГО ВЕЩЕСТВА В ОСЕННЕ-ЗИМНИЙ ПЕРИОД В КАРСКОМ МОРЕ: РОЛЬ ФИТО- И ЗООПЛАНКТОНА <u>Сергеева В.М.</u> , Карманов В.А., Дриц А.В., Беляев Н.А., Кравчишина М.Д., Булохов А.В. ....	643
<b>Приложение</b> .....	649
СОДЕРЖАНИЕ ТОМА I (IV) .....	650
СОДЕРЖАНИЕ ТОМА II (IV) .....	657
СОДЕРЖАНИЕ ТОМА IV (IV) .....	662

Программа

---

Programme



**Место проведения: Институт океанологии им. П. П. Ширшова  
РАН, г. Москва, Нахимовский проспект, 36**

**23 октября, понедельник**

	<b>Большой зал</b>	<b>Малый зал</b>	<b>Аудитория</b>	<b>Online</b>
<b>08.00–13.30</b>	<b>Регистрация</b>			
<b>09.00–10.40</b>	Океанология	Морская биология	Гидрографические и геофизические исследования на акваториях	
<b>10.40–10.55</b>	<b>Перерыв</b>			
<b>10.55–12.35</b>	Океанология	Морская биология	Гидрографические и геофизические исследования на акваториях	
<b>12.35–13.30</b>	<b>Обеденный перерыв</b>			
<b>13.30–15.10</b>	Океанология	Морская биология	Гидрографические и геофизические исследования на акваториях	
<b>15.10–15.25</b>	<b>Перерыв</b>			
<b>15.25–17.05</b>	Океанология	Морская биология	Гидрографические и геофизические исследования на акваториях	
<b>17.05–17.20</b>	<b>Перерыв</b>			
<b>17.20–19.00</b>	Пленарная сессия, посвященная 70-летию кафедры океанологии географического факультета МГУ и 85-летию БС МГУ			
<b>19.00–20.00</b>	<b>Приветственный фуршет</b>			

**24 октября, вторник**

	<b>Большой зал</b>	<b>Малый зал</b>	<b>Аудитория</b>	<b>Online</b>
<b>08.30–13.30</b>	<b>Регистрация</b>			
<b>09.00–10.40</b>	Научно-популярные фильмы	Морская биология	Подводное наследие и водолазные методы	Морская геология (Online)
<b>10.40–10.55</b>	<b>Перерыв</b>			
<b>10.55–12.35</b>	Научно-популярные фильмы	Морская биология	Подводное наследие и водолазные методы	Морская геология (Online)
<b>12.35–13.30</b>	<b>Обеденный перерыв</b>			
<b>13.30–15.10</b>	Океанология	Морская биология	Подводное наследие и водолазные методы	
<b>15.10–15.25</b>	<b>Перерыв</b>			
<b>15.25–17.05</b>	Океанология	Морская биология	Подводное наследие и водолазные методы	
<b>17.05–18.35</b>	Стендовая сессия Океанология (очные стенды)	Стендовая сессия Морская биология (очные стенды)	Стендовая сессия Подводное наследие и водолазные методы	

## 25 октября, среда

	Большой зал	Малый зал	Аудитория	Online
<b>08.30–13.30</b>	<b>Регистрация</b>			
<b>09.00–10.40</b>	Морская геология	Морская биология	Рациональное природопользование	Океанология (Online)
<b>10.40–10.55</b>	<b>Перерыв</b>			
<b>10.55–12.35</b>	Морская геология	Морская биология	Рациональное природопользование	Океанология (Online)
<b>12.35–13.30</b>	<b>Обеденный перерыв</b>			
<b>13.30–15.10</b>	Морская геология	Стендовые сессия Морская биология (очные стенды)	Рациональное природопользование	Океанология (Online)
<b>15.10–15.25</b>	<b>Перерыв</b>			
<b>15.25–17.05</b>	Морская геология	Круглый стол: «Современные авиационные исследования объектов биологического разнообразия. Практика и перспективы развития»	Рациональное природопользование	Стендовая сессия Океанология (Online)
<b>17.05–18.35</b>	Стендовая сессии: Морская геология (очные стенды)		Стендовая сессия Рациональное природопользование (очные стенды)	
<b>18.35–19.00</b>				

## 26 октября, четверг

	Большой зал	Малый зал	Аудитория	Online
<b>08.30–13.30</b>	Регистрация	Регистрация	Регистрация	
<b>09.00–10.40</b>	Морская геология	Морские млекопитающие	Гидрология суши	Морская биология (Online)
<b>10.40–10.55</b>	<b>Перерыв</b>			
<b>10.55–12.35</b>	Морская геология	Морские млекопитающие	Гидрология суши	Морская биология (Online)
<b>12.35–13.30</b>	<b>Обеденный перерыв</b>			
<b>13.30–15.10</b>	Морские ландшафты	Морские млекопитающие	Гидрология суши	Морская биология (Online)
<b>15.10–15.25</b>	<b>Перерыв</b>			
<b>15.25–17.05</b>	Морские ландшафты	Морские млекопитающие	Гидрология суши	
<b>17.05–18.35</b>	Стендовые сессии: Морская геология и Морские ландшафты	Стендовая сессия Морские млекопитающие (очные стенды)	Стендовая сессия Гидрология суши	

**27 октября, пятница**

	<b>Большой зал</b>	<b>Малый зал</b>	<b>Аудитория</b>	<b>Room 1</b>
<b>08.30–11.30</b>	<b>Регистрация</b>			
<b>09.00–10.40</b>	Морская геология	Морские млекопитающие	Гидрология суши	Рациональное природопользование (Online)
<b>10.40–10.55</b>	<b>Перерыв</b>			
<b>10.55–12.35</b>	Морская геология	Морские млекопитающие	Гидрология суши	Рациональное природопользование (Online), Стендовая сессия (Online)
<b>12.35–13.30</b>		Стендовая сессия Морские млекопитающие (Online)	Стендовая сессия Гидрология суши (Online)	

**Место проведения: кластер «Ломоносов», научная долина МГУ,  
Раменский бульвар, 1**

**24 октября, вторник**

<b>Зал «Кинетика»</b>	
<b>10.00-13.00</b>	<b>Круглый стол «Применение искусственного интеллекта для изучения биологических объектов»</b>

Тезисы

---

Abstracts

# Морская биология

Устные доклады

---

# Marine Biology

Oral presentations

УДК 592

Рубрика 34.33.15

НЕКОТОРЫЕ ДАННЫЕ О МИКРОСКОПИЧЕСКОЙ АНАТОМИИ SYMBION PANDORA (CYCLIOPHORA)

SOME DATA ON THE MICROSCOPIC ANATOMY OF SYMBION PANDORA (CYCLIOPHORA)

**Борисанова Анастасия Олеговна**

<sup>1</sup> *Биологический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва*

**Borisanova Anastasia Olegovna**

<sup>1</sup> *Faculty of Biology, Moscow State University, Moscow*

## **Введение**

Тип Cycliophora – группа мелких морских беспозвоночных животных, обитающих на ротовых частях омаров семейства Nephropidae. Циклиофоры были известны с 60ых годов XX века, но описаны только в 1995 году (Funch and Kristensen, 1995). Название циклиофоры (от греч. kykliion — кружок, колесико; phoros — несущий) объясняется наличием ресничного кольца вокруг рта.

Описано всего два вида циклиофор: *Symbion pandora* Funch & Kristensen, 1995, обитающий на ротовых частях омаров *Nephrops norvegicus*, и *Symbion americanus* Obst, Funch & Kristensen, 2006, хозяином которого является омар *Homarus americanus*. Впрочем, молекулярно-генетические данные показывают, что *S. americanus* представляет собой не единственный вид, а комплекс криптических видов (Baker and Giribet, 2007). Еще один не описанный до сих пор вид обитает на *Homarus gammarus* (Obst et al., 2005).

Циклиофоры имеют сложный жизненный цикл, в котором чередуются стадии полового и бесполого размножения (Funch and Kristensen, 1995; Obst and Funch, 2003; Funch, 2021). Питающаяся стадия путем бесполого размножения может дать начало личинке Пандоры, личинке Прометея или самке. Внутри личинки Прометея развивается от одного до трех карликовых самцов, которые высвобождаются после созревания и оплодотворяют самку. Из оплодотворенных яиц развиваются хордоидные личинки, которые дают начало новым питающимся особям.

Интерес к изучению строения циклифор связан с их филогенетическим положением: данные молекулярно-генетического анализа указывают на то, что циклиофоры являются сестринской группой по отношению к внутрипорошицевым (Entoprocta) (Paps et al., 2009; Kocot et al., 2017; Khalturin et al., 2022), однако морфологических данных, которые могли бы однозначно подтвердить это родство, пока нет. Микроскопическая анатомия исследована у половых стадий жизненного цикла: карликовых самцов (Neves and Reichert, 2015) и самок (Neves et al., 2012). Остальные стадии крайне фрагментарно исследованы на уровне ультратонкого строения. Это касается и питающейся особи – основной и самой долгоживущей стадии жизненного цикла. Данное исследование посвящено описанию деталей тонкого строения питающихся особей.

## Результаты

Тело питающейся особи представлено объемистым туловищем, на переднем конце которого расположена буккальная воронка (рис. 1). В нижней части туловища переходит в стебелек, который служит для прикрепления к субстрату - щетинкам ротовых конечностей омара.

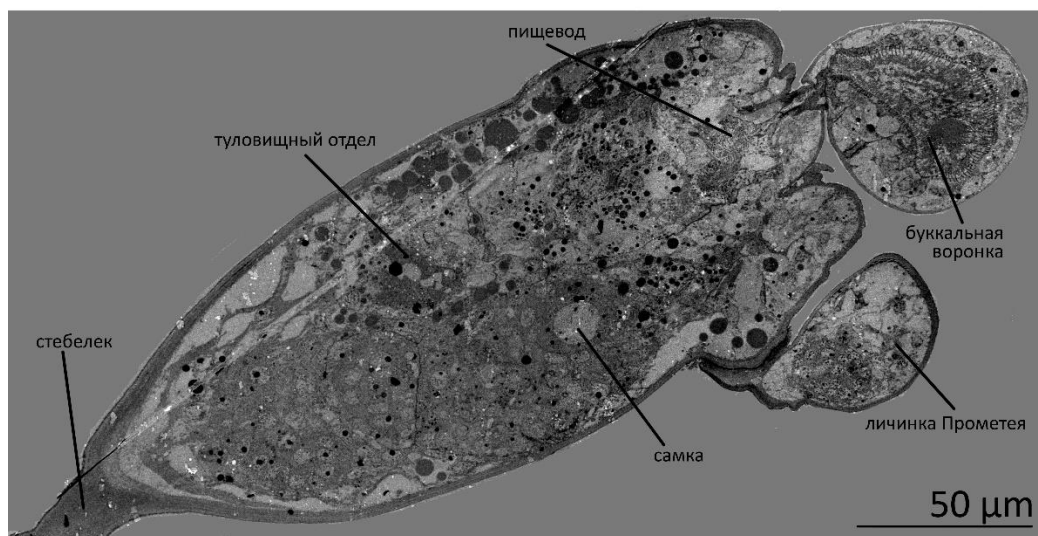


Рисунок 1. Продольный срез питающейся стадии *Symbion pandora*, ТЕМ.

Покровы представлены однослойным кутикулярным эпидермисом. Поверхность кутикулы на продольных срезах выглядит складчатой (рис. 2вк). Толщина кутикулы от 500 нм в районе буккальной воронки до нескольких мкм в нижней части туловища. В кутикуле можно выделить тонкий осмиофильный наружный слой - эпикутикулу - и толстый рыхло-волокнистый основной слой - протокутикулу. В наружном слое можно различить два тонких мембраноподобных темных подслоя, между которыми видна светлая зона. В рыхло-волокнистом слое видны пучки продольно ориентированных волокон. Эпидермальные клетки с многочисленными крупными включениями (рис. 2б). Между кутикулой и эпидермальными клетками видны ряды округлых клеточных профилей.

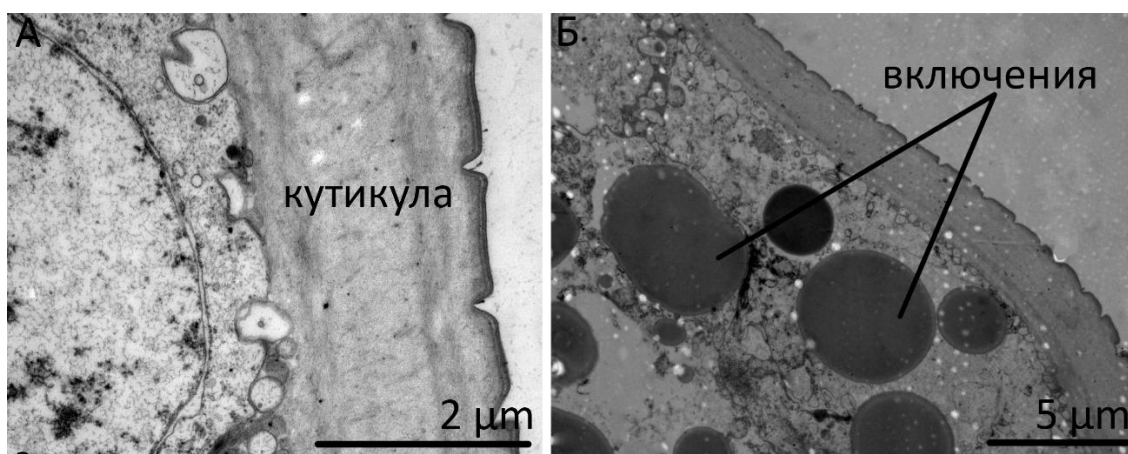


Рисунок 2. Строение покровов *Symbion pandora*, ТЕМ. А) Строение кутикулы. Б) Участок эпидермиса с включениями.

Пищеварительная система U-образной формы. Начинается ротовым отверстием на буккальной воронке, переходящим в буккальную полость, которая сужается в пищевод в туловищном



отделе. За пищеводом следует желудок и кишечник. Анальное отверстие расположено в верхней части туловищного отдела. Эпителий буккальной полости некутикулярный, многоресничный, реснички организованы в правильные ряды (рис. 3а). Клетки кишечника крупные, с большим количеством вакуолей, апикальная поверхность несет реснички и микроворсинки (рис. 3б).

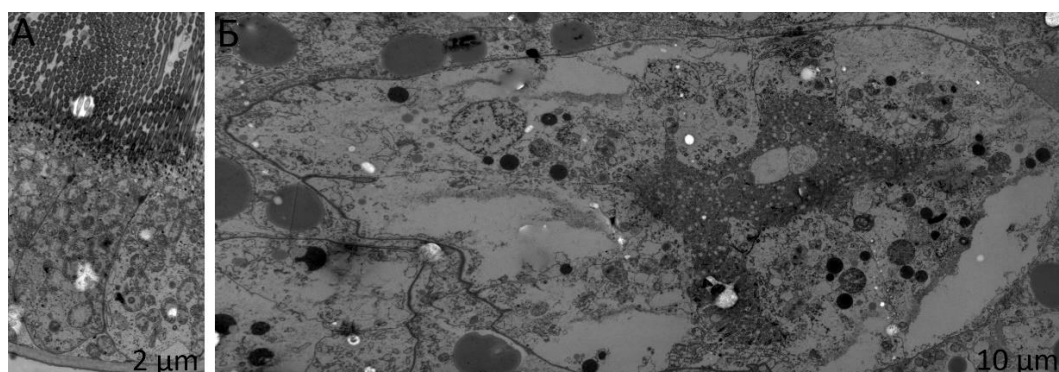


Рисунок 3. Строение клеток пищеварительного тракта *Symbion pandora*, ТЕМ. А) Эпителий буккальной полости. Б) Эпителий кишечника.

Мускулатура представлена отдельными мышечными волокнами, идущими в разных направлениях. В буккальной воронке мышечные клетки образуют кольцевую (рис. 4а) и продольную (рис. 4б) мускулатуру.

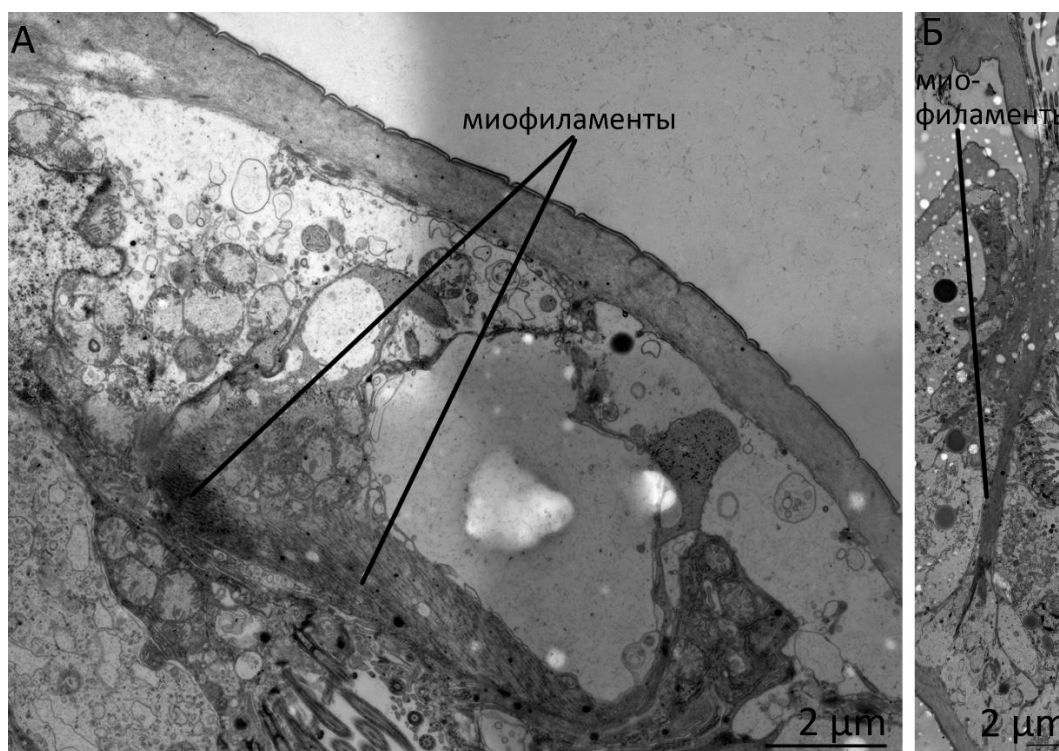


Рисунок 4. Мышечные клетки буккальной воронки *Symbion pandora*, ТЕМ. А) Кольцевая мускулатура. Б) Продольная мускулатура.

В мышечных клетках туловища миофиламенты расположены относительно рыхло, в цитоплазме большое количество митохондрий (рис. 5). С эпидермисом связаны через



клеточные контакты, от которых вглубь цитоплазмы эпидермальных клеток тянутся пучки тонофиламентов.

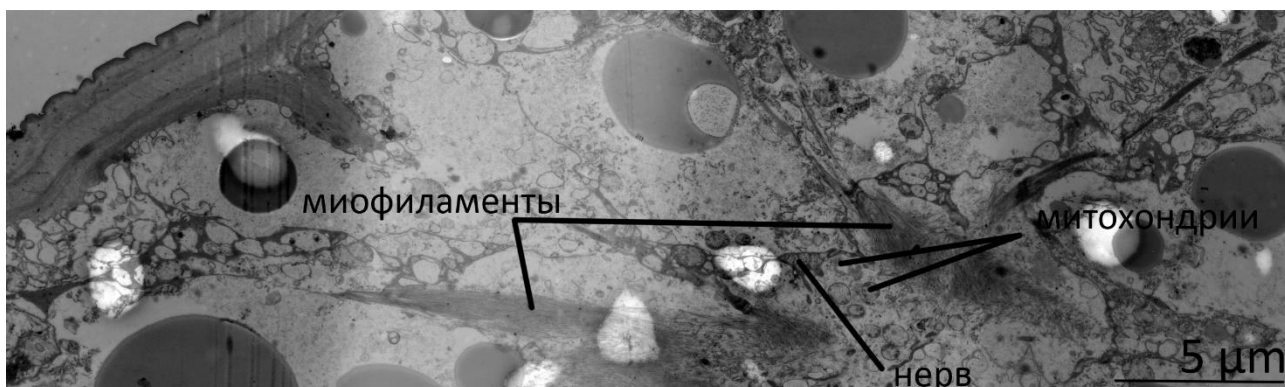


Рисунок 5. Мышечная клетка и пучок нервных волокон в верхней части туловища *Symbion pandora*, ТЭМ.

Элементы нервной системы идентифицируются плохо. Ганглий не найден. Отдельные поперечно срезанные пучки нервных волокон можно найти рядом с мышечными клетками (рис. 5).

### Благодарность

Выражаю искреннюю благодарность Савченко Александре Сергеевне за сбор материала для исследований. Исследования методом ТЭМ были проведены с использованием оборудования ЦКП «Электронная микроскопия в науках о жизни» МГУ им. М.В. Ломоносова (УНУ «Трехмерная электронная микроскопия и спектроскопия»).

### Финансирование

Исследование выполнено при поддержке гранта РФФ № 23-14-00020.

### Список литературы:

1. Baker J.M., Giribet, G. A molecular phylogenetic approach to the phylum Cycliophora provides further evidence for cryptic speciation in *Symbion americanus* // *Zool. Scr.* – 2007. – Vol. 36. – P. 353–359.
2. Funch P. Cycliophora — An Emergent Model Organism for Life Cycle Studies // *Handbook of Marine Model Organisms in Experimental Biology.* – CRC Press, 2021. – P. 259-270.
3. Funch P., Kristensen R.M. Cycliophora is a new phylum with affinities to Entoprocta and Ectoprocta // *Nature.* – 1995. – Vol. 378. – P. 711–714.
4. Khalturin K., Shunatova N., Shchenkov S., Sasakura Y., Kawamitsu M., Satoh N. Polyzoa is back: The effect of complete gene sets on the placement of Ectoprocta and Entoprocta // *Science Advances.* – 2022. – Vol. 8, No. 26. – P. eabo4400.
5. Kocot K.M. et al. Phylogenomics of Lophotrochozoa with consideration of systematic error // *Systematic biology.* – 2017. – Vol. 66, No. 2. – P. 256–282.

6. Neves R.C., Kristensen R.M., Funch P. Ultrastructure and morphology of the cycliophoran female // *Journal of Morphology*. – 2012. – Vol. 273, No. 8. – P. 850–869.
7. Neves R.C., Reichert, H. Microanatomy and development of the dwarf male of *Symbion pandora* (phylum Cycliophora): new insights from ultrastructural investigation based on serial section electron microscopy // *PLoS One*. – 2015. – Vol. 10, No. 4. – P. e0122364.
8. Obst M., Funch P. Dwarf male of *Symbion pandora* (Cycliophora) // *J. Morphol.* – 2003. – Vol. 255. – P. 261–278.
9. Obst M., Funch P., Giribet G. Hidden diversity and host specificity in cycliophorans: a phylogeographic analysis along the North Atlantic and Mediterranean Sea // *Mol. Ecol.* – 2005. – Vol. 14. – P. 4427–4440.
10. Obst M., Funch P., Kristensen R.M. A new species of Cycliophora from the mouthparts of the American lobster, *Homarus americanus* (Nephropidae, Decapoda) // *Org. Divers. Evol.* – 2006. – Vol. 6. – P. 83–97.
11. Paps J., Baguna J., Riutort M. Lophotrochozoan internal phylogeny: new insights from an up-to-date analysis of nuclear ribosomal genes // *Proc. R. Soc.* – 2009. – Vol. 276, No. 1660. – P. 1245–1254.

УДК 592

Рубрика 34.33.15

НОВАЯ МЕЙОБЕНТОСНАЯ НЕМЕРТИНА – КОГДА СЕГМЕНТЫ ОПЯТЬ НЕ ИМЕЮТ ЗНАЧЕНИЯ

NEW MEIOBENTHIC NEMERTEAN – WHEN SEGMENTS DO NOT COUNT AGAIN

**Чернева Ирина Александровна<sup>1</sup>, Королёва Анна Сергеевна<sup>1</sup>, Неретина Татьяна**

**Владимировна<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Московский Государственный Университет им. М.В. Ломоносова (МГУ), Биологический факультет, кафедра Зоологии беспозвоночных, Москва*

<sup>2</sup> *Беломорская биологическая станция им. Н.А. Перцова Биологического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова (ББС МГУ), пос. Приморский*

**Cherneva Irina Alexandrovna<sup>1</sup>, Koroleva Anna Sergeevna<sup>1</sup>, Neretina Tatiana**

**Vladimirovna<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Lomonosov Moscow State University, faculty of Biology, Invertebrate Zoology Department, Moscow*

<sup>2</sup> *White Sea Biological Station of faculty of Biology of Lomonosov Moscow State University, Primorsky village*

## **Введение**

Немертины – преимущественно морские черви с выворачивающимся хоботом, лежащим в полости (ринхоцели) над кишкой. Также для немертин характерно полное отсутствие сегментарности. Но в 1949 году Герман Фридрих описывает сегментированную мейобентосную, то есть живущую в пространстве между песчинками, немертину из Балтики (Friedrich, 1949). У него был только один экземпляр с неудавшейся фиксацией, поэтому описание вида приводится только по признакам внешней морфологии.

В 1985 году Гуннар Берг описал ещё одну сегментированную мейобентосную немертину из Северного моря близ Тромсё (Норвегия) с девятисто метровой глубины (Berg, 1985). Он посчитал её отличной от уже упоминавшегося *Arenonemertes*, основываясь на различии в числе сегментов, форме и размере ганглиев и церебральных органов. Новая немертина получила название *Annulonemertes*, что подчеркивало её основную особенность – кольчатость.

Бергу (Berg, 1985) удалось показать, что собственно сегменты этой немертины не являются истинными. Перетяжки есть только в эпителии и подстилающей его соединительной ткани, а также в кишечнике. Ни мускулатура, ни нервная система, ни аппарат хобота не показывают никаких признаков метамерии.

В 2004 году вышла статья Чернышёва и Миничева (Chernyshev and Minichev, 2004) о ещё одной мейобентосной сегментированной немертине с литорали Баренцева моря. К сожалению очередная загубленная фиксация не позволила исследовать внутреннее строение, и, как

следствие, описать новый вид. Но тем не менее Алексей Викторович относит эту находку к роду *Annulonemertes*.

В 2007 году вышла первая статья о сегментированных мейобентосных немертинах с использованием молекулярно-филогенетических методов (Sundberg and Strand, 2007). Материал для этой статьи был собран с восьмиметровой глубины в Северном море с западного побережья Швеции. По данным Пера Сандберга и Молин Странд род *Annulonemertes* попадает внутрь класса *Norplonemertea*.

## Результаты

В летний сезон 2022 в окрестностях ББС МГУ с глубины в 30 м гипербентосным тралом были собраны метамерные мейобентосные немертины. Тело их поделено на семь сегментов (рис. 1А). Самый длинный – передний, в нём помещается практически вся ринхоцель с хоботом. Голова отделена от тела небольшими бороздками. Имеется хорошо развитый фронтальный орган. Стиллет сидит на грушевидном базисе, имеется два кармана по 3-4 запасных стилета в каждом (рис. 1В). Кишечник без боковых дивертикул. По бокам от него располагаются гонады, в каждой из которых созревает по одной яйцеклетке.

В результате молекулярно-филогенетических работ с частичными последовательностями двух митохондриальных (COI, 16S) и одного ядерного (18S) генов мы построили реконструкцию филогенетических отношений методом максимального правдоподобия (рис. 1С). Сегментированная немерттина из Белого моря попадает и единственной описанный вид из рода *Annulonemertes* попадают в различные инфраотряды класса *Norplonemertea*. Эти инфраотряды имеют между собой несколько довольно четких внутренних морфологических отличий, одно из которых наличие или отсутствие дополнительного нерва в латеральном нервном тяже. *Annulonemertes minusculus* по данным Берга (Berg, 1985) не имеет этого нерва, что прекрасно согласуется с его расположением внутри инфраотряда *Amphiporina* на филогенетической реконструкции. Беломорская немерттина по молекулярно-филогенетическим данным попадает в инфраотряд *Oerstedina*, представители которого обладают дополнительным нервом в латеральном нервном стволе. В данный момент проводится работа над серией гистологических срезов, чтобы анатомически подтвердить принадлежность беломорской немертины к *Oerstedina*.

## Выводы

Резюмируя накопленные данные можно предположить, что в Белом море найден новый род немертин. Вероятно, кольчатость приобреталась многократно и независимо, и скорее всего является каким-то приспособлением для мезопсаммотического образа жизни.

## Благодарность

Авторы благодарят Романа Шакирова, который с любовью и нежностью сделал некоторые фотографии, использованные в данной работе. Компанию AllGene LLC и лично Илью Альтшулера, благодаря которым получена часть секвенсов для этой работы. Светлану Маслакову и Джона Норенбурга за обсуждения и советы.

## Финансирование

Исследование выполнено при поддержке гранта РФФИ № 21-74-20028.

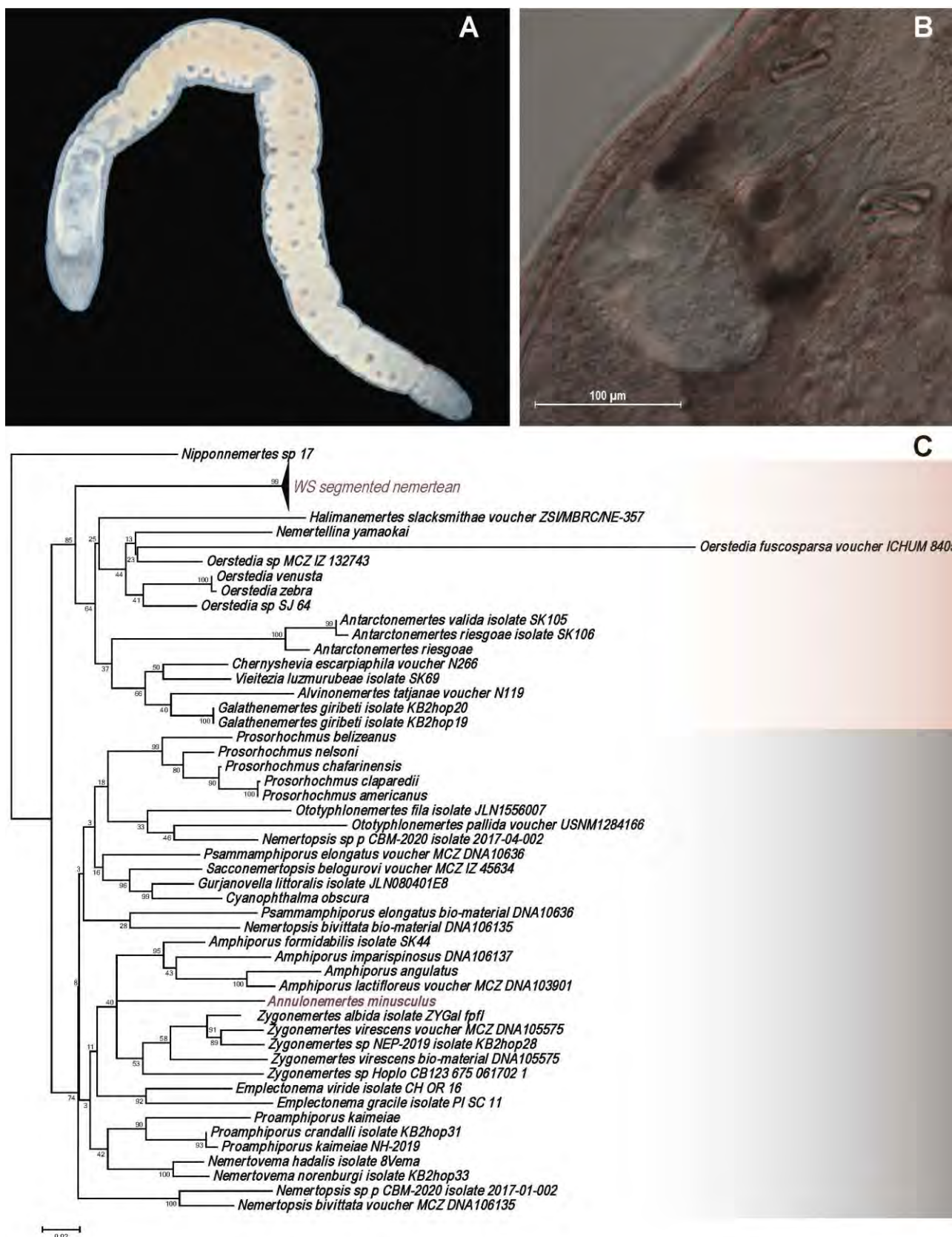


Рисунок 1. А – внешний вид сегментированной беломорской немертины; В – вооружение хобота беломорской немертины; С – филогенетическая реконструкция, построенная методом максимального правдоподобия на основе частичных последовательностей митохондриальных генов COI, 16S и ядерного гена 18S.



### **Список литературы:**

1. Chernyshev A. V., Minichev Y. S. First finding of segmented nemerteans of the genus *Annulonemertis* (Nemertea, Enopla) in the Arctic //Russian Journal of Marine Biology. – 2004. – Т. 30. – С. 135-137.
2. Berg G. *Annulonemertes* gen. nov., a new segmented hoplonemertean //The origins and relationships of lower invertebrates. – 1985. – С. 200-209.
3. Friedrich H. Über zwei bemerkenswerte neue Nemertinen der Sandfauna //Kieler Meeresforschungen. – 1949. – Т. 6. – С. 68-72.
4. Sundberg P., Strand M. *Annulonemertes* (phylum Nemertea): when segments do not count //Biology Letters. – 2007. – Т. 3. – №. 5. – С. 570-573.

УДК 574.587

Рубрика 34.35.33

**АДАПТИВНЫЙ ТРЕЙДОФФ ПРИ ПЕРЕХОДЕ ОТ ФАКУЛЬТАТИВНОГО К ОБЛИГАТНОМУ СИМБИОЗУ У БРЮХОНОГИХ МОЛЛЮСКОВ**

**ADAPTIVE TRADE-OFF DURING THE TRANSITION FROM FACULTATIVE TO OBLIGATE SYMBIOSIS IN GASTROPODS**

**Дгебуадзе Полина Юрьевна, Мехова Елена Сергеевна**

*ИПЭЭ РАН, Москва*

**Dgebuadze Polina Yurevna, Mekhova Elena Sergeevna**

*SIEE RAS, Moscow*

**Введение**

Среди беспозвоночных животных не только неподвижные и колониальные формы выступают хозяевами для других организмов. Иглокожие, будучи одиночными морскими обитателями и ведущими в целом малоподвижный образ жизни, являются удобным субстратом для заселения. Среди симбионтов иглокожих отмечены представители различных таксонов беспозвоночных и даже позвоночных животных (Jangoux, 1987). Большинство животных, вступающих в симбиоз с иглокожими, как правило, относятся к отрядам/семействам, где доминируют свободно живущие формы, и лишь две группы включают только симбиотических организмов: отряд *Muzostomida* из многощетинковых червей и брюхоногие моллюски семейства *Eulimidae*. Мизостомиды на настоящий момент насчитывают около 170 видов облигатных симбионтов иглокожих и черных кораллов и вне связи с хозяевами не способны существовать (WoRMS). Эулимиды при переходе к симбиозу формируют различные виды адаптаций к такому образу жизни. Очевидно, помимо преобразований во внешнем строении, происходят различные изменения в анатомии, физиологии и поведении моллюсков-симбионтов. Однако ранее таким аспектам биологии данной группы гастропод внимание не уделялось. До настоящего времени большинство исследователей рассматривало эулиמיד вне связи с хозяином, исследуя лишь особенности морфологии и анатомии для выявления и описания новых видов. В то же время на примере данного семейства брюхоногих моллюсков возможен анализ не только экологических особенностей симбиоза, но и выявление антагонистического направления эволюции, как примера адаптивного трейдоффа.

**Данные и методы**

Для выявления и оценки адаптивных преобразований, возникающих у брюхоногих моллюсков при переходе к облигатному симбиозу со своими хозяевами, был применен комплексный подход с использованием современных биологических методов.

Район исследования – Южно-Китайское море (преимущественно, залив Нячанг). Все сборы материала, а также подводные и лабораторные наблюдения (для оценки степени взаимодействия симбионтов с хозяевами) проведены на базе Приморского отделения Совместного Российско-Вьетнамского Тропического центра.

Для выявления морфологических преобразований у моллюсков в связи с их симбиотическим образом жизни был использован гистологический метод. Для рассмотрения трофических отношений в исследуемых симбиотических ассоциациях, а также выявления адаптаций к симбиозу на биохимическом уровне было проанализировано содержание стабильных изотопов углерода и азота в тканях как симбионтов, так и их хозяев; а также выявлен состав общих липидов, жирнокислотных классов и отдельных жирных кислот.

## Результаты

### Степень взаимодействия симбионтов с хозяевами

В результате исследований по степени взаимодействия с хозяевами всех эулиמיד удалось выделить 4 группы (жизненные формы):

Слабо ассоциированные с хозяевами эулимиды (например, представители родов *Annulobalcis* и *Melanella*) обитают в основном на морских лилиях и голотуриях. В случае опасности такие симбионты способны легко открепляться от своего хозяина и перемещаться в окружающей среде, сохраняя свою жизнеспособность. Вероятнее всего, питаются они в основном не тканями хозяев, а воруют пищу с их поверхности.

Плотно прикрепленные виды (например, вид *Thyca crystallina*) заселяют своих хозяев на личиночной стадии и закрепляются на поверхности тела хозяина пожизненно. В случае открепления погибают.

Галлообразующие эулимиды (например, представители рода *Stilifer*) вне хозяина не способны выживать. У таких видов ярко выражены морфологические преобразования, связанные с адаптацией к обитанию внутри хозяина: утрачивается крышечка, формируется мощная псевдомантия, позволяющая разграничивать симбионта и ткани хозяина, возникают изменения в переднем конце тела.

Наконец, четвертая жизненная форма эулимид – настоящие эндосимбионты (например, представители рода *Asterophila*), которые обитают в пищеварительной и половой системах иглокожих-хозяев. Такие моллюски полностью теряют черты строения классического моллюска, сохраняя на взрослой стадии лишь половую систему (Sasaki et al., 2007).

### Морфологические адаптации

В зависимости от характера пищи меняется тип питания и соответственно претерпевает изменения анатомическое строение пищеварительной системы. Как правило, лучше всего это заметно на ее передних отделах, где можно обнаружить различные особенности на клеточном уровне. При переходе к облигатному симбиозу и дальнейшему эндопаразитизму выявлены следующие адаптивные преобразования: в передних отделах пищеварительной системы увеличивается количество слоев и толщина мышечной ткани, а в среднем отделе появляется большое разнообразие видов железистых клеток.

Установлено, что слабо ассоциированные с хозяевами эктосимбионты (на примере факультативных эулимид из рода *Melanella*) имеют строение, типичное для брюхоногих моллюсков. Передний отдел пищеварительной системы таких моллюсков имеет, в целом, классическое строение, свойственное брюхоногим моллюскам (Smith, 1984). Хобот имеет сложное гистологическое строение: высокий призматический эпителий лежит на базальной мембране с подлежащим слоем мышц, в эпителии встречаются отдельные бокаловидные клетки, секретирующие слизь, все протоки внутри хобота заполнены крупными прозрачными гранулами со слизистым содержимым.



У плотно прикрепленных моллюсков на примере вида *Thyca crystallina* на переднем конце тела формируется специализированный прикрепительный диск, с помощью которого симбионт прочно «приклеивается» к телу хозяина и остается таким образом постоянно неподвижным (Neumann, Wisshak, 2009). На месте прикрепления моллюсков сохраняются «отпечатки» прикрепительного диска и отверстие от хобота в скелетных элементах хозяев-морских звезд *Linckia laevigata*. В хоботе *Thyca crystallina*, равно как и в стенках пищевода, отсутствуют выраженные железистые клетки, как с гликопротеиновым, так и с белковым содержанием, а все железистые структуры лежат вне пищеварительного тракта. Пищеварительная система данных моллюсков имеет очень узкий просвет, который заполнен клетками соединительной ткани, клетками крови и возможно жировыми клетками.

Исследуя строение переднего конца тела галлообразующих моллюсков на примере вида *Stilifer variabilis*, было обнаружено, что хобот представляет собой пример строения пищеварительной системы паразитического моллюска (Warén, 1983). Его концевая часть выстлана гигантскими гранулярными клетками со слизистым секретом, выброс которого облегчает движение хобота в тканях хозяина. Наружный эпителиальный слой на всем протяжении хобота представлен ресничным цилиндрическим эпителием. Средний слой наиболее толстый и представлен многочисленными пучками мышц в различных направлениях, между которыми находится множество базофильных клеток кровеносной системы. Внутренний слой представлен плоским эпителием с немногочисленными ворсинками. Внутренняя поверхность хобота образует многочисленные ворсинки и крипты. Интересно, что у этого вида паразитических моллюсков ресничный эпителий появляется также в средних отделах пищеварительной системы, что позволяет предположить переход к питанию жидкостями хозяина.

Таким образом, можно четко диагностировать переход от факультативных эктосимбиотических форм через облигатных эктосимбионтов к уже относительно специализированному виду галлообразующих моллюсков и продемонстрировать адаптивную изменчивость морфологии передних отделов пищеварительной системы в связи с различием физиологических процессов пищеварения.

### **Биохимические адаптации**

Проведенный биохимический анализ жирных кислот позволил выявить различия разных жизненных форм моллюсков-симбионтов и их хозяев. На настоящее время получены данные для двух жизненных форм эулиמיד – облигатных экто- (плотно прикрепленных и галлообразующих видов). В симбиотических ассоциациях между морскими звездами, морскими ежами и специализированными брюхоногими моллюсками были проанализированы общие липиды, липидные классы и отдельные жирные кислоты с помощью различных биохимических методов (Murzina et al., 2021; Dgebuadze et al., 2022a).

Анализ общих липидов и их классов позволяет охарактеризовать образ жизни симбионтов и, в связи с этим, складывающийся тип взаимодействия с хозяевами. По содержанию общих липидов лидерами являются плотно прикрепленные эктосимбионты морских звезд и морских ежей. Энергетические липиды в форме триацилглицеринов (выполняющие энергетическую функцию) и эфиров холестерина (сигнальные молекулы) также доминировали у плотно прикрепленных симбионтов. При этом, у самих хозяев этих симбионтов этого липидного класса обнаружено мало. Содержание холестерина также было выше у плотно прикрепленных симбионтов по сравнению с таковым у галлообразующих.

Обнаруженная разница в составе липидных классов у разных исследованных симбионтов связана с различиями взаимоотношений на уровне липидогенеза (по содержанию энергетических триацилглицеридов, холестерина, а также эфиров холестерина) в системе «симбионт-хозяин», которые для плотно прикрепленных моллюсков выражены сильнее.

Различия в соотношении основных классов липидов у исследуемых симбионтов подтверждают разные жизненные формы, разную степень взаимодействия с хозяевами и соответственно разные адаптивные способности и возможности животных.

При детальном рассмотрении отдельных жирных кислот (на примере основных классов: (n-6), (n-3), (n-4), (n-7) и (n-9)) не выявлено заметных различий у симбионтов разных жизненных форм, однако хорошо видно, что у всех исследованных симбионтов обменные процессы (метаболический путь) протекают гораздо активнее, чем у их хозяев. Это позволяет говорить об адаптациях моллюсков к среде обитания, а также особенностях их взаимодействий с хозяевами (Dgebuadze et al., 2022a).

### Пищевые адаптации

Детальное изучение симбиотических сообществ неразрывно связано с рассмотрением вопросов питания и возникающих различного рода трофических отношений между членами этих ассоциаций. На примере пяти рассмотренных видов симбионтов, относящихся к разным жизненным формам (факультативные, облигатные эктосимбионты и два галлообразующих вида), были также обнаружены разные пищевые стратегии с помощью метода анализа стабильных изотопов углерода и азота.

При анализе двух видов факультативных эктосимбионтов (с морских лилий и голотурий) было обнаружено, что ткани моллюсков менее обогащены углеродом, чем ткани их хозяев (висцеральная масса и половые пиннулы морских лилий, а также водные легкие и стенка тела голотурий). Значения  $\delta^{15}\text{N}$  были очень схожи у моллюсков с голотурий и тканями их хозяев. В то же время моллюски с морских лилий были немного легче по азоту, чем ткани их хозяев.

По полученным результатам можно сделать вывод, что исследованные моллюски не питаются тканями своих хозяев – морских лилий и голотурий. Выявленная близость расположения изотопных подписей тканей хозяев и их симбионтов позволяет говорить о более разнообразном спектре питания симбионтов по сравнению с их хозяевами, а в случае с голотуриями и их симбионтами – о разных источниках пищи (Dgebuadze et al., 2022b).

При рассмотрении содержания изотопов в тканях облигатных видов эулиמיד была выявлена другая картина. Обнаружено, что показатели насыщения тканей моллюсков-симбионтов азотом достоверно отличались от таковых для различных тканей их хозяев – морских ежей (мышечных тканей Аристотелева фонаря и гонад). Значения насыщения по  $\delta^{13}\text{C}$  тканей моллюсков были достоверно ниже показателей по углероду в тканях Аристотелева фонаря и не имели достоверных отличий от тканей гонад морских ежей. Полученные результаты позволяют говорить, что основным источником пищи моллюсков-симбионтов являются гонады их хозяев (Dgebuadze et al., 2020). Это подтверждает гипотезу о том, что исследованные эулимиды относятся к группе облигатных эктосимбионтов и явно формируют адаптивный трейдофф на трофическом уровне.

В случае с галлообразующими видами эулиמיד были также обнаружены достоверные различия между тканями иглокожих и их симбионтов как по  $\delta^{13}\text{C}$ , так и по  $\delta^{15}\text{N}$ . По полученным результатам видно, что ткани морских звезд различаются по насыщению тяжелыми изотопами азота в пределах одного вида, что указывает на сходство их пищевых предпочтений. Ткани моллюсков более насыщены тяжелым изотопом азота по сравнению с пищеварительной железой и гонадами их хозяев. Полученные результаты частично коррелируют с данными по другим симбионтам иглокожих: для некоторых видов рыб-карапид было показано насыщение по  $^{15}\text{N}$  по сравнению с различными тканями их хозяев голотурий и морских звезд. Эти симбионты используют своего хозяина в качестве убежища и покидают его, чтобы питаться в окружающей среде (Parmentier, Das, 2004). Как и в случае с изотопом

азота, ткани симбиотических гастропод были насыщеннее по  $^{13}\text{C}$  по отношению к пищеварительной железе и гонадам их хозяев. Это не соответствует схеме насыщения " $\delta^{13}\text{C} < 1\%$ ", традиционно предполагаемой между потребителями и их пищей. Между тем, значения  $\delta^{13}\text{C}$  в тканях симбионтов и их хозяев практически одинаковы, что свидетельствует об отсутствии различий между амбулакральными ножками хозяев и мышцами симбионтов. Все полученные результаты по  $\delta^{13}\text{C}$  и  $\delta^{15}\text{N}$  позволяют сделать вывод, что исследованные виды галлообразующих моллюсков питаются тем же, что потребляет сама морская звезда, а затем накапливает в своих амбулакральных ножках. В этом случае симбионты получают необходимые питательные вещества хозяина из целомической полости, не проникая в отдельные органы и, таким образом, не нанося фатального ущерба своим хозяевам (Mekhova, Dgebuadze, 2020).

### Заключение

На основании результатов, полученных разными методами, можно сделать вывод, что в пределах семейства Eulimidae возникают адаптации при освоении нового образа жизни. Сформировавшиеся адаптивные комплексы на разных жизненных уровнях позволили эулимидам освоить все ныне живущие классы иглокожих, широко расселиться, а также очевидно не причинять фатального вреда своим хозяевам. Изучение экологических особенностей брюхоногих моллюсков, приспособившихся к симбиотическому образу жизни, интересно и важно для развития исследований не только явления симбиоза, но и структуры и функций бентосных сообществ в целом, а также организации их устойчивого использования и охраны.

### Список литературы:

1. Dgebuadze P.Y., Mekhova E.S., Thanh N.T., Zalota A.K. Diet relationships between parasitic gastropods *Echineulima mittrei* (Gastropoda: Eulimidae) and sea urchin *Diadema setosum* (Echinoidea: Diadematidae) hosts // Marine Biology. – 2020. – Vol. 167. – P. 1-4.
2. Dgebuadze P.Y., Voronin V.P., Mekhova E.S., Pekkoeva S.N., Murzina S.A. First data on lipids and fatty acids composition in the tropical parasitic system between molluscs and echinoderms // Symbiosis. – 2022a. – Vol. 87, № 3. – P. 281-291.
3. Dgebuadze, P.Y., Mekhova, E.S., Zuev, A.G., Zalota, A.K. Kleptoparasitism may be an additional or exclusive feeding mode in symbiotic associations of gastropods and echinoderms // Marine Biology. – 2022b. – Vol. 169, № 11. – P. 142.
4. Mekhova E.S., Dgebuadze P.Y. Trophic interactions between gall-forming molluscs *Stilifer* spp. (Gastropoda, Eulimidae) and their hosts (Echinodermata) // Ruthenica, Rus. Malac. J. – 2020. – Vol. 30, №4.
5. Murzina S.A., Dgebuadze P.Y., Pekkoeva S.N., Voronin V.P., Mekhova E.S., Thanh N.T. Lipids and fatty acids of the gonads of sea urchin *Diadema setosum* (Echinodermata) from the coastal area of the Nha Trang Bay, Central Vietnam // Europ. J. Lip. Sci. Techn. – 2021. – Vol. 123, № 7. – P. 2000321.
6. Jangoux M. Diseases of echinodermata. 11. Agents metazoans (Mesozoa to Bryozoa) // Dis. Aquat. Org. - 1987. – Vol. 2. – P. 205-234.
7. Neumann C., Wisshak M. Gastropod parasitism on Late Cretaceous to Early Paleocene holasteroid echinoids—Evidence from *Oichnus halo* isp. n. Palaeogeography, Palaeoclimatology // Palaeoec. – 2009. – Vol. 284, № 3-4. – P. 115-119.

8. Parmentier E., Das, K. Commensal vs. parasitic relationship between Carapini fish and their hosts: some further insight through  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  measurements // J. Exper. Mar. Biol. Ecol. – 2004. – Vol. 310, № 1. – P. 47-58.
9. Sasaki T., Muro K., Komatsu M. Anatomy and ecology of the shell-less endoparasitic gastropod *Asterophila japonica* Randall and Heath, 1912 (Mollusca: Eulimidae) // Zool. Sci. – 207. – Vol. 24, № 7. – P. 700-713.
10. Smith T.B. Ultrastructure and function of the proboscis in *Melanella alba* (Gastropoda: Eulimidae) // J. Mar. Biol. Assoc. UK. – 1984 – Vol. 64, № 3. – P. 503-512.
11. Warén A. A generic revision of the family Eulimidae (Gastropoda, Prosobranchia) // J. Mol. Stud. – 1983. – Vol. 49, Suppl. 13. – P. 1-96.
12. WoRMS <https://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=233983>

УДК 593.5

Рубрика 34.33.15

АДГЕЗИОННЫЕ ОРГАНЫ СО СЛОЖНОЙ НЕРВНО-МЫШЕЧНОЙ СИСТЕМОЙ – СТРОЕНИЕ РОПАЛОИДОВ HALICLYSTUS AURICULA (CNIDARIA: STAUROZOA)

ADHESIVE ORGANS WITH COMPLEX NEUROMUSCULAR SYSTEM – ORGANIZATION OF RHOPALIOIDS IN HALICLYSTUS AURICULA (CNIDARIA: STAUROZOA)

**Домрачева Мария Михайловна, Хабибулина Валерия Руслановна, Салова Ирина Андреевна**

*Санкт-Петербургский государственный университет, кафедра зоологии беспозвоночных, Санкт-Петербург*

**Domracheva Maria Mikhailovna, Khabibulina Valeria Ruslanovna, Salova Irina Andreevna**

*Saint Petersburg State University, Department of Invertebrate Zoology, Saint Petersburg*

Staurozoa – это небольшая малоизученная группа морских сидячих медуз, включающая около 50 видов (Miranda et al., 2016). Уникальной чертой строения ставромедуз является сочетание признаков организации как прикрепленных полипов, так и свободноплавающих медуз (Westlake, Page, 2017). Их тело представлено чашечкой и стебельком, оканчивающимся подошвой, с помощью которой ставромедуза временно прикрепляется к субстрату. Чашечка в дистальной части переходит в восемь рук, каждая из которых несет пучок головчатых вторичных щупалец.

Несмотря на внешнее сходство с сидячими полипами, ставромедузы являются более подвижными организмами (Clark, 1878; Mills, Hirano, 2007). Их локомоция, напоминающая «шагающее» движение *Hydra*, осуществляется с помощью специализированных адгезионных прикрепительных органов – ропалоидов (Clark, 1878; Uchida, Hanaoka, 1933; Uchida, Hanaoka, 1934; Hirano, 1986; Miranda et al., 2013; Miranda et al., 2016). Однако механизмы прикрепления ропалоидов к субстрату остаются неизученными. Некоторые исследователи гомологизируют ропалоиды ставромедуз с ропалиями сцифо- и кубомедуз (Kassianow, 1901; Thiel, 1966; Nakanishi et al., 2010). Кроме того, существуют предположения о том, что ропалоиды, как и ропалии, могут выполнять фоторецепторную функцию (Clark, 1878; Kishinouye, 1910; Uchida, Hanaoka, 1933; Наумов, 1961; Berrill, 1962; Hirano, 1986; Larson, Fautin, 1989; Miranda, Collins, 2019). В то же время, имеющиеся в литературе фрагментарные данные об особенностях организации ропалоидов не позволяют с уверенностью утверждать, что эти органы являются гомологами ропалиев и выполняют сенсорную функцию.

Целью нашей работы стало исследование морфологических особенностей ропалоидов на примере ставромедузы *Haliclystus auricula* James-Clark, 1863. Основные данные были получены с помощью гистологических, иммуногистохимических и электронномикроскопических методов. Материал был собран на Зеленецкой губе Баренцева моря в июле 2021-2023 гг.

Ропалоиды *H. auricula* соединены с чашечкой небольшой ножкой, через которую в них заходит слепозамкнутый канал гистоваскулярной системы. На субумбреллярной поверхности ножки может располагаться пигментное пятно. На дистальной части ропалоида локализована бороздка, которая также может быть окружена пигментированной областью. На полутонких и гистологических срезах ропалоидов различаются характерные для книдарий клеточные слои – эпидермис и гастродермис, разделенные слоем мезоглеи. Эпидермис ропалоида, помимо типичных эпителиально-мускульных клеток, содержит большое количество секреторных клеток, что приводит к значительному утолщению эпидермального слоя. Кроме того, эпидермис ропалоида имеет вид псевдостратифицированного эпителия за счет расположения ядер на двух уровнях – в апикальной и базальной частях эпидермиса. Секреторные структуры, входящие в состав эпидермиса, представлены четырьмя типами клеток: (1) мукоцитами, (2) клетками с палочковидными гранулами, (3) гранулярными секреторными клетками А-типа и (4) гранулярными секреторными клетками В-типа.

Мукоциты локализуются в области бороздки ропалоида в виде группы крупных сильно вакуолизированных клеток. При окрашивании полутонких срезов толудиновым синим и фуксином содержимое мукоцитарных вакуолей приобретает розовый цвет, а при окрашивании парафиновых срезов по методу Маллори – голубой цвет. На электронограммах внутри вакуолей мукоцитов различимы тонкие нерегулярно расположенные фибриллы. Основываясь на полученных результатах, мы предполагаем, что содержимое мукоцитов представлено мукополисахаридами, обеспечивающими временное адгезионное прикрепление ропалоида к субстрату.

Второй тип секреторных клеток представлен клетками с палочковидными гранулами. Эти гранулы равномерно распределены по всему эпидермису ропалоида за исключением его проксимальной области. При окрашивании полутонких срезов метиленовым синим палочковидные гранулы приобретают ярко-синий цвет, метиленовым синим и азуром – светло-сиреневый цвет, толудиновым синим и фуксином – фиолетовый цвет, а при окрашивании парафиновых срезов по методу Маллори – ярко-сиреневый цвет. Гранулы окрашиваются неоднородно – их внешняя часть окрашивается значительно интенсивнее, чем внутренняя. На ультратонких срезах также удается заметить неоднородность гранул – их коровая часть представлена гомогенным электронно-плотным материалом, а внешняя часть – менее электронно-плотными волокнами. Большое количество палочковидных гранул секретируется на поверхность эпидермиса и сохраняется в гликокаликсе. Мы предполагаем, что содержимое палочковидных гранул представлено кислыми мукополисахаридами, которые полимеризуются при выходе на поверхность эпидермиса и участвуют в образовании фибрилл гликокаликса.

Третья и четвертая группы секреторных клеток представлены гранулярными клетками А- и В-типов. Клетки А-типа равномерно распределены по всему эпидермису ропалоида. Они имеют неправильную форму и заполнены иррегулярно расположенными гранулами разных размеров. Эти гранулы интенсивно окрашиваются базофильными красителями, что указывает на кислую реакцию их содержимого. Схожие гранулы обнаруживаются и в гастродермисе ропалоидов *H. auricula*. Мы предполагаем, что клетки В-типа выполняют литическую функцию: в гастродермисе они могут участвовать в пищеварении, а в эпидермисе – в расщеплении адгезивных веществ во время открепления от субстрата.

Секреторные клетки В-типа малочисленны и локализуются преимущественно в апикальной части эпидермиса. Клетки В-типа имеют вытянутую форму и заполнены гомогенным содержимым в виде небольших округлых гранул. Содержимое этих гранул демонстрирует метахроматическое окрашивание при обработке полутонких срезов метиленовым синим, что может указывать на кислую реакцию их содержимого (Luppa, 1977). Основываясь на малой численности и субапикальном расположении клеток В-типа, можно предположить, что они



обеспечивают моментальное прикрепление ропалоидов к субстрату. Таким образом, прикрепление и открепление ропалоидов от субстрата, по-видимому, осуществляется с помощью четырех типов секреторных клеток, неравномерно распределенных по эпидермису и выполняющих разные функции.

При обработке TRITC-конъюгированным фаллоидином удается визуализировать основные мышечные элементы ропалоида. Вокруг бороздки локализуется группа мышечных отростков в виде веерообразной структуры. Функция этой группы мышечных элементов остается дискуссионной. Вероятно, веерообразная мускулатура может участвовать в механическом прикреплении или откреплении ропалоида. Также мы предполагаем, что веерообразная мускулатура может служить опорой для эпидермиса бороздки, богатого секреторными клетками. Другая группа мышечных элементов залегает в ножке ропалоида в виде пучка рыхло расположенных волокон. Мускулатура ножки, по-видимому, обеспечивает подвижность ропалоида и участвует в изменении его положения.

Основные нервные элементы, как и мускулатура, сконцентрированы вблизи бороздки: FMRФамид- и тубулин-иммунореактивные элементы колокализуются и образуют плотное сплетение в углублении бороздки. Вокруг бороздки также залегает группа FMRФамидергических нервных клеток. Мы предполагаем, что эти нервные элементы могут иннервировать веерообразную мускулатуру, регулируя ее сокращение. Еще одна группа FMRФамид-положительных нервных элементов лежит в основании ножки ропалоида в виде плотного сплетения. На более поверхностном уровне локализована рыхлая сеть тубулин-иммунореактивных элементов. Мы предполагаем, что эти нервные элементы регулируют работу мускулатуры ножки ропалоида. Также нервные сплетения, локализующиеся в основании ропалоида, предположительно, могут иннервировать чувствительные элементы пигментного пятна. Кроме того, FMRФамид-иммунореактивное нервное сплетение в основании ножки, которое сообщается отростками с кольцевой нервной сетью чашечки, вероятно, может выполнять функцию интегративного центра.

Также нам удалось обнаружить единичные FMRФамид-иммунореактивные элементы, расположенные в эпидермисе ропалоида. Обычно они представлены биполярными нейронами, один из отростков которых направлен к поверхности эпидермиса, а второй сообщается с нервными сплетениями или с другими FMRФамид-иммунореактивными клетками, не входящими в состав сплетений. По расположению и строению эти элементы похожи на рецепторные клетки. Мы предполагаем, что они выполняют хемо- или механорецепторную функцию. На электронограммах нам также удалось обнаружить моноцилиарные микровиллярные клетки, которые, вероятно, также могут выполнять рецепторную функцию.

Нейротензин-иммунореактивные клетки образуют сплетение в основании ропалоида. Также нейротензинергические клетки равномерно распределены в стенке канала гастроваскулярной системы ропалоида, многие из этих клеток несут отростки. У позвоночных животных нейротензин, как правило, ассоциирован с гормональной регуляцией пищеварения (Rostène и Alexander, 1997), однако функции нейротензинергических элементов у беспозвоночных изучены слабо. У кишечнополостных наличие нейротензина было описано только для *Hydra* sp. - между щупальцами и в их основании (Grimmelikhuijzen, 1981). Мы предполагаем, что нейротензинергические клетки в ропалоидах *H. auricula* могут регулировать секрецию адгезивных веществ и пищеварительных ферментов. Таким образом, нервные элементы ропалоида образуют три группы. Первая группа, предположительно, иннервирует мускулатуру ножки и бороздки, регулируя ее сокращение. Вторая группа, вероятно, обеспечивает хемо- и механорецепторную функцию. Третья группа, по-видимому, может функционировать как интегративный центр.

Основываясь на полученных данных, мы предполагаем, что временное прикрепление ропалоидов к субстрату – это комплексный процесс, осуществляющийся с участием четырех типов эпидермальных секреторных клеток и веерообразной мускулатуры бороздки. Мышечные элементы ножки и бороздки, по-видимому, иннервируются FMRФамид- и тубулин-иммунореактивными нервными сплетениями. С нервными сплетениями сообщаются многочисленные FMRФамид-иммунореактивные клетки, которые, предположительно, являются сенсорными и обеспечивают хемо- и механорецепцию. Контакт FMRФамид-положительного нервного сплетения ножки ропалоида с FMRФамид-иммунореактивной кольцевой нервной сетью чашечки указывает на то, что оно, по-видимому, может являться интегративным центром, подобно нервным сплетениям в ропалиях сцифо- и кубомедуз. В составе нервной системы ропалоида также были обнаружены нейротензинергические элементы, ранее не описанные для ставромедуз, однако функция нейротензин-иммунореактивных элементов остается неясной и требует дальнейшего изучения.

Работа выполнена с использованием оборудования РЦ СПбГУ «Культивирование микроорганизмов», ЦКП «Хромас» СПбГУ и ЦКП «Таксон» ЗИН РАН.

### Список литературы:

1. Наумов Д. В. Сцифоидные медузы морей СССР //М., Ленинград: Изд-во АН СССР. – 1961. – 98с.
2. Berrill M. Comparative functional morphology of the Stauromedusae //Canadian Journal of Zoology. – 1963. – Т. 41. – №. 5. – С. 741-752.
3. Clark H. J. Lucernariæ and Their Allies: A Memoir on the Anatomy and Physiology of *Halicylistus auricula*, and Other Lucernarians, with a Discussion of Their Relations to Other Acalephæ: to Beroids, and Polypi... 1878. – Smithsonian institution, 1878. – Т. 23. – №. 242.
4. Grimmelikhuijzen C. J. P. et al. Neurotensin-like immunoreactivity in the nervous system of *Hydra* //Histochemistry. – 1981. – Т. 72. – С. 199-209.
5. Hirano Y. M. Species of Stauromedusae from Hokkaido, with Notes on Their Metamorphosis (With 12 Text-figures) // Journal of the Faculty of Science, Hokkaido University = 北海道大學理學部紀要. – 1986. – Т. 24. – №. 3. – С. 182-201.
6. Kassianow N. Studien über das Nerven system der Lucernariden nebst sonstigen histologischen Beobachtungen über diese Gruppe.: дис. – 1901.
7. Kishinouye K. Some medusae of Japanese waters //The journal of the College of Science, Imperial University of Tokyo, Japan = 東京帝國大學紀要. 理科. – 1910. – Т. 27. – С. 1-35.
8. Larson R. J., Fautin D. G. Stauromedusae of the genus *Manania* (= *Thaumatoscyphus*) (Cnidaria, Scyphozoa) in the northeast Pacific, including descriptions of new species *Manania gwilliamii* and *Manania handi* //Canadian Journal of Zoology. – 1989. – Т. 67. – №. 6. – С. 1543-1549.
9. Lippa H. Grundlagen der Histochemie, Teil I. – De Gruyter, 1977.
10. Mills, C.E., Y.M. Hirano, 2007. Stauromedusae //Encyclopedia of Tidepools and Rocky Shores. – 2007. – С. 541-543.
11. Miranda L. S., Collins A. G., Marques A. C. Internal anatomy of *Halicylistus antarcticus* (Cnidaria, Staurozoa) with a discussion on histological features used in staurozoan taxonomy //Journal of Morphology. – 2013. – Т. 274. – №. 12. – С. 1365-1383.
12. Miranda L. S. et al. Comparative internal anatomy of Staurozoa (Cnidaria), with functional and evolutionary inferences //PeerJ. – 2016. – Т. 4. – С. e2594.



13. Miranda L. S., Collins A. G. Eyes in Staurozoa (Cnidaria): a review //PeerJ. – 2019. – T. 7. – C. e6693.
14. Nakanishi N. et al. Evolutionary origin of rhopalia: insights from cellular-level analyses of Otx and POU expression patterns in the developing rhopalial nervous system //Evolution & development. – 2010. – T. 12. – №. 4. – C. 404-415.
15. Rostène W. H., Alexander M. J. Neurotensin and neuroendocrine regulation //Frontiers in neuroendocrinology. – 1997. – T. 18. – №. 2. – C. 115-173.
16. Thiel H. The evolution of Scyphozoa: a review // Rees WJ, ed. The Cnidaria and their evolution. – 1966. – C. 77-118
17. Uchida T., Hanaoka K. I. On the morphology of a stalked medusa *Thaumatoscyphus distinctus* Kishinouye (with twenty text-figures) //Journal of the Faculty of Science, Hokkaido Imperial University = 北海道帝國大學理學部紀要. – 1933. – T. 2. – №. 3. – C. 135-153.
18. Uchida T., Hanaoka K. I. Anatomy of two stalkes medusae with remarks on the distribution of the Stauromedusae in Japan (with 27 text-figures and 1 chart) // Journal of the Faculty of Science, Hokkaido Imperial University =北海道帝國大學理學部紀要. – 1934. – T. 2. – №. 4. – C. 211-239.
19. Westlake H. E., Page L. R. Muscle and nerve net organization in stalked jellyfish (Medusozoa: Staurozoa) //Journal of Morphology. – 2017. – T. 278. – №. 1. – C. 29-49.

УДК 595.2

Рубрика 34.33.15

ОРГАНИЗАЦИЯ СРЕДНЕЙ КИШКИ ПИКНОГОНИД PHOXICHILIDIUM FEMORATUM  
(ARTHROPODA, CHELICERATA)

ORGANIZATION OF MIDGUT OF PYCNOGONIDS PHOXICHILIDIUM FEMORATUM  
(ARTHROPODA, CHELICERATA)

**Алексеева Нина Владимировна**

*Зоологический институт Российской Академии наук (ЗИН РАН), Санкт-Петербург*

**Alexeeva Nina Vladimirovna**

*Zoological Institute of the Russian Academy of Sciences, Saint-Petersburg*

## **Введение**

Пикногониды, морские пауки – это небольшая группа первично-водных хелицеровых [Dunlop, Arango, 2005]. Они обладают рядом архаичных признаков, которые причудливым образом сочетаются с признаками аутопоморфными для данной группы. Тело пикногонид слабо тагматизировано. Оно подразделено на цефалосому, зону свободных сегментов тела и абдомен. На цефалосоме располагаются хелифоры, пальпы, яйценосные ножки и первая пара ходных ног. Остальные ходные ноги приурочены к свободным сегментам тела [Vilroux, Waloszek, 2003]. Внутренняя организация морских пауков характеризуется рядом особенностей. Так, например, средняя кишка формирует слепые выросты, дивертикулы, которые проникают в хелифоры и ходные ноги, иногда – в хоботок, непарный вытянутый вырост цефалосомы [Arnaud, Bamber, 1987]. У настоящих хелицеровых, как и зачастую у других членистоногих, подобные структуры трансформируются в пищеварительные железы [Vannier, Chen, 2002].

Для работы был выбран *Phoxichilidium femoratum* Rathke 1799. Эти морские пауки не имеют признаков глубокой специализации и занимают срединное положение на филогенетическом древе пикногонид (Sabroux et al., 2023). Также взрослые животные имеют относительно небольшие размеры, что делает их доступными для изучения выбранными методами. Целью данной работы служит ультраструктурный анализ стенки средней кишки у пикногонид семейства Phoxichilidiidae на примере *P. femoratum*.

## **Материал и методы**

Взрослые пикногониды *P. femoratum* были отобраны из постоянной культуры аквариального комплекса Ресурсного Центра СПбГУ «Обсерватория экологической безопасности» в мае 2021 года (источник культуры: Баренцево море, п. Дальние Зеленцы, остров Немецкий). Взрослые особи, самцы и самки без видимых повреждений были анестезированы изотоничным раствором хлорида магния в морской воде в соотношении 1:1 в течение пяти часов. Затем животные были зафиксированы 2,5% раствором глутаральдегида на 0.1M какодилатном буфере. После этого материал был подготовлен для световой и трансмиссионной электронной микроскопии. Животные были отмыты 0.1M какодилатным буфером и постфиксированы в 1%

растворе тетраоксида осмия в течение одного часа. Затем они были обезвожены в ряде этанолов возрастающей концентрации и, наконец, в абсолютном ацетоне, после чего были залиты в эпон-аралдитную смолу. Срезы сделаны с помощью ультратома Leica EM UC6. Серии полутонких срезов окрашены толуидиновым синим и исследованы с помощью микроскопа Leica DM 2500. Ультратонкие срезы контрастированы уксуснокислым уранилом и цитратом свинца, исследованы с помощью просвечивающего электронного микроскопа Morgagni 268.

## Результаты и обсуждение

Пищеварительная система *P. femoratum* включает передний, средний и задний отделы. На светооптическом уровне она не имеет принципиальных особенностей, которые отличали бы этот вид от других ранее изученных пикногонид (Arnaud, Bamber, 1987). Также пищеварительная система у самок и самцов не имеет отличительных характеристик, которые можно было бы трактовать как половой диморфизм.

Передний отдел начинается Y-образным ротовым отверстием, которое окружено тремя гладкими хитиновыми губами. Рот ведет в протяженную ротовую полость, которая занимает половину хоботка, остальная часть занята глоткой. Она отличается от ротовой полости и пищевода тем, что несет ряды длинных кутикулярных зубцов, которые формируют цедильный аппарат. Далее глотка переходит в узкий, относительно короткий пищевод. Объединение переднего и среднего отделов, то есть пищевода со средней кишкой, происходит на уровне первой пары ходных ног. Средняя кишка состоит из центрального канала и системы дивертикул. Центральный канал расположен в туловище прямо над брюшной нервной цепочкой. Дивертикулы делятся на две группы. К первой группе относятся всегда имеющиеся у всех пикногонид дивертикулы, проникающие в ходные ноги. У изученного вида они проникают до основания коготка. Вторая группа дивертикул более лабильна у разных видов. У *P. femoratum* она представлена только дивертикулами, которые проникают в хелифоры, достигая основания клешней. Задняя кишка короткая, занимает абдомен и незначительно вдаётся в последний свободный сегмент тела.

На ультраструктурном уровне выявлено, что стенка средней кишки на всем протяжении сформирована однослойным многорядным эпителием высотой 15-40 мкм. Толщина и внешний облик эпителия варьирует у разных особей. У некоторых животных клетки могут быть уплощены, у других – более высокие. Полагаем, что это связано с разными физиологическими состояниями организма. Это примечательно, потому что отобранные для данной работы животные обитали в аквариуме и имели постоянный доступ к пище. Из этого сделан предварительный вывод, что животные питаются в культуре не постоянно, а через некоторые промежутки времени, что отражается на состоянии их кишечного эпителия.

У животного основная часть эпителия представлена пищеварительными и секреторными клетками. Это сопоставимо с данными по другому виду, *Nymphon brevirostre* [Alexeeva et al., 2017, 2018]. Клетки имеют сложную форму. Базальная их часть уплощена и прилегает к базальной пластинке, изредка формируя с ней полудесмосомы. Латеральные поверхности соседних клеток несут пальцевидные выросты. Они обеспечивают надежный контакт с соседними клетками. В апикальной области клетки соединены плотными контактами. Ниже располагаются септированные контакты, комплексы которых могут повторяться несколько раз; пропадают они только ближе к базальной части эпителия. Апикальная часть клеток гладкая или же покрыта выростами весьма лабильными и по частоте расположения, и по форме. Они не могут быть определены как микровилли, потому что не армированы цитоскелетом. Изредка среди этих апикальных выростов встречаются реснички, снабженные единственной кинетосомой. Они лишены корешков и, по всей видимости, не функциональны.

Цитоплазма пищеварительных клеток наполнена органоидами, и набор органоидов, предположительно, может сильно варьировать от этапа пищеварения. Вначале клетки занимают активным эндоцитозом, о чем свидетельствуют многочисленные окаймленные пузырьки, формирующиеся апикально и заполняющие весь объем клетки. Тут же встречаются более крупные немногочисленные вакуоли типа эндосом, которые наполнены электронноплотным хлопьевидным материалом. Эти эндосомы, предположительно, являются результатом слияния окаймленных пузырьков. Диктиосомы аппарата Гольджи, элементы шероховатой эндоплазматической сети и митохондрии встречаются редко. Некоторые вакуоли заполнены электроннопрозрачным веществом с единственной концентрической электронноплотной фигурой внутри, вероятно, формирующимся сферитом.

Затем, уже у других животных, наблюдается значительное уменьшение количества органоидов в цитоплазме, в основном за счет пропадающих окаймленных пузырьков. Остаются крупные и более многочисленные эндосомы. В сферитах формируются все новые и новые концентрические кольца, что делает их идентификацию однозначной, а в цитоплазме появляются компактно свернутые мембранные профили, материал, оставшийся после эндоцитоза.

Секреторные клетки прикрыты сверху пищеварительными клетками. Они не так многочисленны и не формируют единый базальный ряд. Эти клетки более оптически- и электронноплотные, имеют развитый белок-синтезирующий аппарат. Цитоплазма заполнена каналами шЭПС, многочисленными митохондриями, крупными вакуолями с разнообразным по консистенции содержимым в начале питания. К концу питания в них появляются электронноплотные округлые гранулы. Переходных форм между секреторными и пищеварительными клетками не обнаружено, однако однозначно констатировать их отсутствие невозможно без экспериментальных данных.

Снаружи средняя кишка окружена обкладкой. Внутренняя часть обкладки сформирована уплощенными клетками собственно обкладки, а наружная – клетками горизонтальной септы. Обкладка не формирует единой клеточной структуры, иногда оба слоя могут быть представлены только несколькими слоями внеклеточного матрикса.

Таким образом, эпителий средней кишки *P. femoratum* включает клетки всего двух морфотипов. Никаких признаков трансформации пищеварительных дивертикул в пищеварительные железы не обнаружено. Полагаем, это объясняется транспортной функцией, которую выполняют дивертикулы кишечника у пикногонид. В таком случае формирование желез на базе дивертикул будет препятствовать распределению веществ по телу морского паука.

## **Выводы**

1. Эпителий средней кишки *P. femoratum* включает клетки двух морфотипов.
2. Пищеварительные дивертикулы у пикногонид не трансформируются в пищеварительные железы.
3. Дивертикулы выполняют пищеварительную и транспортную функцию, доставляя питательные вещества к внутренним органам.

## **Благодарность**

Автор благодарит сотрудников УНБ СПбГУ «Беломорская» и ББС ЗИН РАН «Картеш» за помощь в сборе пикногонид. Материал был обработан и исследован с использованием

оборудования РЦ СПбГУ «Обсерватория экологической безопасности», ЦКП ЗИН РАН «Таксон» (<http://www.ckp-rf.ru/ckp/3038/>), а также при поддержке кафедры зоологии беспозвоночных СПбГУ. Работа выполнена в рамках гос. задания #122031100283-9 «Динамика структуры и функционирование экосистем Белого моря и сопредельных арктических морей».

### **Список литературы:**

1. Alexeeva N. et al. Oligomeric larvae of the pycnogonids revisited //Journal of Morphology. – 2017. – Т. 278. – №. 9. – С. 1284-1304.
2. Alexeeva N., Tamberg Y., Shunatova N. Postembryonic development of pycnogonids: a deeper look inside //Arthropod structure & development. – 2018. – Т. 47. – №. 3. – С. 299-317.
3. Arnaud F., Bamber R. N. The biology of Pycnogonida //Advances in marine biology. – Academic Press, 1988. – Т. 24. – С. 1-96.
4. Dunlop J. A., Arango C. P. Pycnogonid affinities: a review //Journal of zoological systematics and evolutionary research. – 2005. – Т. 43. – №. 1. – С. 8-21.
5. Sabroux R., Corbari L., Hassanin A. Phylogeny of sea spiders (Arthropoda: Pycnogonida) inferred from mitochondrial genome and 18S ribosomal RNA gene sequences //Molecular phylogenetics and evolution. – 2023. – Т. 182. – С. 107726.
6. Vannier J., Chen J. Digestive system and feeding mode in Cambrian naraoiid arthropods //Lethaia. – 2002. – Т. 35. – №. 2. – С. 107-120.
7. Vilpoux K., Waloszek D. Larval development and morphogenesis of the sea spider *Pycnogonum litorale* (Ström, 1762) and the tagmosis of the body of Pantopoda //Arthropod Structure & Development. – 2003. – Т. 32. – №. 4. – С. 349-383.

УДК 551.89

Рубрика 38.43.19

**БИОРАЗНООБРАЗИЕ МАЛАКОФАУНЫ В СИСТЕМЕ КАСПИЙ-МАНЫЧ-ПОНТ В ПОСЛЕДНЮЮ МЕЖЛЕДНИКОВУЮ ЭПОХУ**

**BIODIVERSITY OF MALACOFAUNA IN THE CASPIAN-MANYCH-PONT SYSTEM IN THE LAST INTERGLACIAL EPOCH**

**Янина Тамара Алексеевна, Сорокин Валентин Михайлович, Семиколенных Дарья Валерьевна**

<sup>1</sup> МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва

**Yanina Tamara Alekseevna, Sorokin Valentin Mikhailovich, Semikolennykh Dariya Valerievna**

<sup>1</sup> MSU M. V. Lomonosov, Moscow

**Введение**

Система Каспий-Маныч-Понт включает отличающиеся природными особенностями и историей палеогеографического развития внутриконтинентальные водоемы — реликты Паратетиса. Каспийское море — изолированный бассейн, Азово-Черноморский бассейн (Понт) через систему проливов и Мраморное море имеет связь с Мировым океаном, Манычская депрессия периодически представляла пролив между Каспием и Понтом. Развитие природной среды в звеньях системы в позднем квартере характеризовалось сложной динамикой, вызванной преимущественно глобальными и региональными изменениями климата. Выявление динамики экосистем в регионе является важным аспектом для создания палеогеографической основы для прогнозных оценок состояния природной среды бассейнов в условиях климатических изменений.

Моллюски, являющиеся важной составляющей экосистем, чутко реагируют на изменения физико-географических и гидрологических условий бассейнов и служат важным индикатором изменений природной среды. Формирование биоразнообразия малакофауны в каждом бассейне системы определяется его географическим положением, параметрами среды (в первую очередь температурой и соленостью воды; а также характером грунта и связанными с ним геохимическими процессами) и историей развития бассейна. Анализ малакофауны и ее сравнительный анализ нами выполнен для Северного Каспия и Северо-Восточной области Черного моря, ибо именно в этих составных частях сложной системы Понто-Каспий наиболее ярко проявилось воздействие колебаний уровня моря под влиянием климатических изменений и тесно связанное с ними функционирование пролива в Манычской депрессии.

Для палеогеографического анализа малакофауны нами выбрана последняя межледниковая эпоха квартера, геохронологическая позиция которой (МИС 5e) принята Международной стратиграфической комиссией (Head, 2019). Многие исследователи в межледниковье включает не только МИС 5e, но и 5d (Kukla et al., 2002), или даже всю стадию МИС 5 (Болиховская, 2007). С каждым годом появляется новый материал, дающий многочисленные данные, но не приводящий к единству мнений. По этой причине мы рассматриваем в работе всю стадию МИС 5. Выявление условий формирования биоразнообразия и их



сравнительный анализ на отдельных этапах развития бассейнов Понто-Каспия в эпоху МИС 5 – основная задача статьи. Ее решение важно для понимания современного состояния биоразнообразия и его изменений в условиях меняющегося климата.

### Материалы и методы

Работа выполнена на основе результатов изучения материалов многолетних полевых исследований в Каспийском регионе, в Азово-Черноморском регионе и в Манычской депрессии. В Каспийском регионе исследованиями охвачены естественные обнажения в районах Прикаспийской низменности, изучен керн более двадцати скважин из Северного Каспия (бурение выполнено ООО МорИнжГеология, Рига). В Черноморском регионе нами изучены естественные обнажения на Керченском и Таманском полуостровах, а также осадки керна скважин в северо-восточном секторе Черного моря. В долине Маныча исследованы естественные разрезы и керн скважин, пробуренных с целью выявления взаимосвязи между Каспием и Понтом в отдельные эпохи позднего плейстоцена. Как отложения естественных разрезов, так и керн скважин, изучены комплексом методов. Нами выполнены литологический и малакофаунистический анализы. Для контроля результатов и получения дополнительных палеогеографических сведений о бассейнах обитания малакофауны использованы результаты геоморфологического, палинологического, микрофаунистического, геохронологического и других видов анализов отложений, полученных другими исследователями и опубликованными в научной литературе.

### Результаты и их обсуждение

Согласно опубликованным нами ранее палеогеографическим реконструкциям (Янина и др., 2014; Sorokin et al., 2018) в начале позднего плейстоцена, в эпоху МИС 5, в Каспии имела место позднехазарская трансгрессивная эпоха, в развитии которой выделены две трансгрессии (стадии): позднехазарская и гирканская. Позднехазарский трансгрессивный бассейн имел максимальный уровень около -10 м. Границы моря и его берега описаны в работе (Леонтьев и др., 1977). В Северном Прикаспии нами изучены отложения позднехазарского трансгрессивного бассейна в естественных обнажениях в Нижнем Поволжье и на Волго-Уральском междуречье. В Нижнем Поволжье верхнехазарские отложения с фауной вскрываются в разрезе Сероглазка (Свиточ, Янина, 1997). В ее составе многочисленны *Didacna surachanica*, *D. nalivkini*, *D. cf. pontocaspia*, *D. subcrassa*, сравнительно редки *D. schuraosenica*, *D. pallasii*, *Dreissena caspia*, *Dr. polymorpha*, *Hypanis plicata*, *Laevicaspia caspia*, *Clessiniola variabilis*, *Corbicula fluminalis*. В разрезе Ленино (Янина, 2012) верхнехазарские алевриты включают многочисленные раковины *Didacna pallasii*, *Monodacna caspia*, *Dreissena polymorpha*, более редкие *D. surachanica* и *Corbicula fluminalis*. На Волго-Уральском междуречье выходы отложений позднехазарского бассейна встречены нами в долине ручья Горький, где в песках под ательскими континентальными суглинками вскрываются глины и пески с раковинами *Didacna nalivkini*, *D. surachanica*, *Dreissena polymorpha*, *Laevicaspia caspia*. Осадки с аналогичным составом дидакн встречены в ряде балок. Помимо дидакн в них многочисленны *Monodacna caspia*, *Adacna laeviuscula*, *A. vitrea*, *Hypanis plicata*, *Dreissena polymorpha*.

В Северном Каспии скважинами вскрыты осадки позднехазарского бассейна на площадях бурения Ракушечная, Широкая, Корчагина (Безродных и др., 2015; Янина и др., 2014; Sorokin et al., 2018). На площади Ракушечная верхнехазарские осадки включают многочисленные раковины *Didacna nalivkini*, *Corbicula fluminalis*, *Dreissena rostroformis distincta*, *Dr. caspia*, *Laevicaspia caspia*, редкие *Didacna surachanica*, *D. pallasii*, *D. vulgaris*, *Monodacna caspia*, *Hypanis plicata*, *Theodoxus pallasii*, *Clessiniola variabilis*, единичные



раковины моллюсков родов *Sphaerium* и *Valvata*. На структуре Широкая верхнехазарские отложения включают многочисленные раковины *Didacna nalivkini*, *D. surachanica*, *Dreissena caspia*, *Dr. polymorpha*, редкие *Laevicaspia caspia*, *Theodoxus pallasii*, *Monodacna caspia*. На площади Корчагина в верхнехазарских осадках многочисленны *Didacna nalivkini*, *D. surachanica*, *Dreissena caspia*, *Dr. polymorpha*, сравнительно редко встречаются *D. subcrassa*, *Dr. rostriformis distincta*, *Laevicaspia caspia*, *Theodoxus pallasii*.

Анализ видового состава позднехазарской малакофауны из отложений северной части палео-Каспия показывает, что она представлена 26 видами, основная часть из которых – каспийские эндемики родов *Didacna*, *Monodacna*, *Hupanicis*, *Adacna*, относящиеся к семейству *Cardiidae*. Из каспийской малакофауны дидакны – наиболее пластичные моллюски, чутко реагирующие на смену условий среды. Именно это сделало их руководящим родом для биостратиграфического расчленения отложений и для палеогеографических реконструкций. В состав позднехазарской фауны входят 7 видов дидакн, отмеченных в более древних фаунистических сообществах региона: *Didacna vulgaris*, *D. pallasii*, *D. subcatillus*, *D. nalivkini*, *D. ovatocrassa*, *D. cf. pontocaspia*, *D. shuraosenica*, *D. subcrassa* встречены в составе раннехазарской фауны (Янина, 2012). Из этих видов лишь *D. nalivkini* получил широкое распространение (часто господствующий вид) в позднехазарской фауне, остальные виды редки либо единичны. Новым, руководящим для позднехазарской фауны, и широко развитым в Северном Каспии, является лишь один вид – *D. surachanica*. Состав фауны свидетельствует о значительном влиянии волжских вод на Северный Каспий. Однако, по сравнению с современным Северным Каспием, позднехазарский бассейн был более (на 4-5 %) соленым.

Гирканский трансгрессивный бассейн – дискуссионный вопрос на протяжении не одного десятилетия. Эта трансгрессия как самостоятельный этап в развитии Каспия была утсановлена Г.И. Поповым (1967) в результате анализа бурового материала в Северо-Западном Прикаспии и в долине Восточного Маныча. Большинство исследователей его существование было отвергнуто. Анализ буровых материалов с акватории Северного Каспия позволил нам вернуться к этой проблеме и подтвердить существование гирканского трансгрессивного бассейна (Янина и др., 2014; Sorokin et al., 2018). Отложения с гирканской малакофауной вскрыты рядом скважин на площадях Ракушечная, Широкая, Корчагина и Сарматская.

Анализ видового состава гирканской малакофауны из отложений северной части палео-Каспия показывает, что она представлена 22 видами, основная часть из которых, как и в позднехазарской фауне, каспийские эндемики родов *Didacna*, *Monodacna*, *Hupanicis*, *Adacna*. Из видов руководящего рода *Didacna*, распространенных в позднехазарской фауне, в гирканской отмечены лишь два вида – *Didacna pallasii* и *D. subcatillus*. Первый из них редок, второй же, напротив, составляет основу гирканской фауны, тогда как в позднехазарской он встречается редко. Характерными видами для гирканской фауны являются *Didacna subcatillus* и *D. cristata*. В составе дидакн преобладают, в отличие от позднехазарской, тригоноидные и катиллоидные формы, что свидетельствует о более низкой солености бассейна. Многочисленные слабо солоноватоводные виды подтверждают это. Бассейн был опреснен и по размерам превосходил позднехазарский.

Между позднехазарской и гирканской трансгрессивными стадиями реконструируется снижение уровня моря, отраженное в строении осадочной толщи в Северном Каспии (Безродных и др., 2015; Янина и др., 2014). В настоящее время нет данных, по которым можно было бы судить о масштабе регрессивной фазы. Возрастные оценки этих палеогеографических событий получены на основе данных датирования. Согласно урано-иониевым датировкам, возраст позднехазарского трансгрессивного этапа 127—122 тыс. лет (Shkatova, 2010). Методом оптически стимулированной люминесценции (ОСЛ) возраст континентальных осадков, отвечающий позднехазарской и гирканской стадиям Каспия, определен в рамках всей стадии МИС 5 (Янина и др., 2017; Kurbanov et al., 2022).

Манычская депрессия в истории Понто-Каспия играла важную роль как область периодически открывавшегося пролива между бассейнами. Строение осадочной толщи в депрессии дает уникальную возможность для анализа соотношения каспийских и черноморских отложений, для реконструкции взаимосвязи бассейнов и периодов функционирования пролива. Нами изучен керн четырех скважин в центральной части Манычской депрессии. Скважина 1 пробурена в 7 км к юго-западу от г. Пролетарск; скважина 2 - в 5 км к северо-северо-западу от пос. Маныч (Курбанов и др., 2018); скважина 3 - на о. Левый в 3 км к западу от трассы Р-216; скважина 4 была пробурена на северном берегу о. Левый в 4 км к востоку от трассы Р-216 (Семиколенных, 2022).

В нижней части керна скважин 1 и 2, расположенных в западной половине центральной части депрессии, залегают отложения, включающие раковины морских карангатских моллюсков: преобладают *Cerastoderma glaucum*, *Mytilaster lineatus*, *Ostrea edulis*, *Chamelea gallina*, сравнительно редки *Parvicardium exiguum*, *Loripes lacteus*, *Raphia senescens*. Сообщество малакофауны характеризует морские условия с соленостью бассейна 20–22‰. Карангатские отложения перекрыты слоем (суглинок с увеличением примеси песка) с раковинами как каспийских (преобладают), так и черноморских моллюсков. Среди каспийских – *Didacna cristata* и *Monodacna caspia*; в составе черноморской фауны – *Cerastoderma glaucum*, *Mytilaster lineatus*, *Ostrea edulis* (обломки); встречаются и пресноводные *Dreissena polymorpha*. Каспийские моллюски относятся к характерным видам гирканской трансгрессии Каспия. Сообщество отвечает водоему со смешением черноморских и каспийских вод с соленостью 10–12‰. В кернах скважины 4, расположенной в восточной половине центральной части депрессии, также определены отложения со смесью морских (*Cerastoderma glaucum*) и каспийских (*Dreissena caspia*, *Monodacna caspia*, *Didacna cristata*, *D. pallasi*, *D. hircana*) моллюсков. *Cerastoderma glaucum* – самый эвригалинный карангатский вид; *Didacna cristata*, *D. hircana* – характерные виды гирканской фауны Каспия. Условия солености – 8-10 ‰.

Судя по строению осадочной толщи и составу содержащихся в ней раковин моллюсков, можно предположить развитие в центральной части Манычской депрессии следующих палеогеографических событий. (1) Ингрессионный залив карангатской трансгрессии Черного моря. О том, что это был залив, а не пролив, свидетельствует отсутствие каких-либо видов карангатской фауны в Каспии и их постепенное исчезновение уже к восточному краю центральной области депрессии. (2) Карангатский залив, отступивший до западной половины центральной части депрессии, со сбросом в него вод гирканской трансгрессии Каспия. Методом ОСЛ датирования возраст этого события определен в примерно  $119 \pm 7$  тыс. лет назад (Курбанов и др., 2018). (3) Освобождение центральной части депрессии от карангатских вод и заполнение ее водами гирканской трансгрессии. Время этого события определено методом ОСЛ датирования в  $107 \pm 7$  тыс. лет назад (Курбанов и др., 2018).

Согласно единодушному мнению исследователей Черноморского региона, в начале позднего плейстоцена, в МИС 5, здесь развивалась крупная межледниковая трансгрессия – карангатская (Невеская, 1965; Сорокин, 2011; Янина, 2012). Она характеризовалась наивысшим в неоплейстоцене уровнем (на 6–7 м выше современного) и наивысшей соленостью (до 30‰). В северо-восточной области региона нами изучены естественные обнажения, вскрывающие карангатские отложения с фауной, на Керченском и Таманском полуостровах, а также материалы бурения на прилегающем шельфе.

Керченский полуостров является опорным районом для изучения черноморских плейстоценовых фаун. Наиболее полный разрез карангата – Эльтиген. Разрез протяженный (около 4 км), нами изучены отложения в его разных частях. В южной части разреза (Семиколенных, 2022; Семиколенных и др., 2023) в морской толще насчитывается три цикла накопления лагунных и прибрежно-морских осадков, которые отражают незначительные колебания уровня карангатского моря. Особенностью фаунистического состава отложений

является распространение самых эвригалинных морских (средиземноморских) видов *Cerastoderma glaucum* и *Abra segmentum* на начальном этапе осадконакопления (с заметным доминированием первого), появление также эвригалинного вида *Mytilaster lineatus* на следующем этапе, а затем постепенное увеличение численности раковин и видового разнообразия: наряду с *Cerastoderma glaucum*, *Abra segmentum* и *Mytilaster lineatus* комплекс представлен *Parvicardium exiguum* и *Raphia senescens*. Выше по разрезу в фаунистическом составе наблюдаются умеренно эвригалинные моллюски *Ostrea edulis* и *Chamelea gallina*, последний преобладает, эвригалинные виды отходят на второй план. Распределение малакофаунистических сообществ по разрезу говорит о постепенном увеличении солености бассейна, наибольшее видовое разнообразие малакофауны, с преобладанием в ней умеренно эвригалинных и стеногалинных видов, отмечено в самой верхней части карангатских осадков этой (южной) части разреза.

Строение центральной части разреза иное. Здесь в карангатской толще выделены две различающиеся условиями осадконакопления пачки отложений. В нижней части обнажения в видовом составе малакофауны преобладают умеренно эвригалинные виды с доминированием *Ostrea edulis*. Выше в толще морских отложений появляются стеногалинные виды, в составе сообщества доминируют *Ostrea edulis*, *Flexopecten glaber*, *Chamelea gallina* и *Abra segmentum*. Далее в его составе появляются *Cerastoderma glaucum*, *Raphia senescens*, *Spisula subtruncata*, *Mytilus galloprovincialis*, встречаются редкие раковины *Acanthocardia tuberculata* — самого сололюбивого вида (обитает при солености от 28‰) в составе каранганского фаунистического комплекса. В верхней части морской толщи, в пляжевых осадках, состав фаунистического сообщества представлен эвригалинными и умеренно эвригалинными видами; стеногалинные виды в нем отсутствуют, что свидетельствует о понижении солености бассейна при снижении его уровня.

Сравнительный анализ фаунистического состава южной и центральной частей разреза Эльтиген указывает на менее благоприятные условия обитания для моллюсков во время накопления осадков южной части разреза. Это вызвано неоднократной сменой прибрежно-морской обстановки на лагунную. Для последней было характерно опреснение вод впадающими в лагуну водотоками, а также заиление при дефиците кислорода. Но и в южной, и в центральной частях разреза разнообразие малакофауны увеличивается снизу вверх, по мере развития трансгрессии и увеличения солености.

На Таманском полуострове карангатская фауна изучена нами в разрезах Тузла и Малый Кут. Разрез Тузла расположен на берегу Керченского пролива у основания Тузлинской косы. Строение карангатской толщи в нем, как и состав содержащихся в ней моллюсков, неоднородны (Курбанов и др., 2020; Семиколенных, 2022). В ее основании залегают прибрежно-морские осадки с раковинами эвригалинных и умеренно эвригалинных видов моллюсков *Ostrea edulis*, *Mytilus galloprovincialis*, *Solen vagina*. Выше наблюдается увеличение биоразнообразия одновременно со снижением относительной встречаемости *Mytilus galloprovincialis*, широкое распространение получают эвригалинные *Cerastoderma glaucum* и *Abra segmentum*, указывающие на обмеление бассейна. Выше по разрезу появляются характерные для максимальной фазы трансгрессии *Flexopecten glaber* и *Donax venustus*. Слой с ними вновь сменяется появлением *Cerastoderma glaucum* и *Chamelea gallina* в составе малакофаунистического сообщества, свидетельствующими о фазе обмеления бассейна. В залегающем выше слое раковин значительно меньше, в составе малакофаунистического материала преобладает детрит. Очевидно, слой свидетельствует о постепенном отступании моря: выше залегают континентальные отложения.

Палеоэкологический анализ малакофауны разреза Тузла отражает динамику в условиях ее существования: от спокойного мелководного тепловодного бассейна с соленостью 12–14‰ до повышения его уровня и увеличения солености до 17‰ и выше, и вновь до снижения и уровня, и солености. Датирование отложений разреза ОСЛ методом (Курбанов и др., 2020;

Семиколенных, 2022) показало, что толща морских отложений разреза накапливалась во временном интервале от  $132,9 \pm 5,8$  до  $129,0 \pm 6,6$  тыс. лет, что соответствует фазе карангатской трансгрессии (МИС 5e), выделенной в разрезе Эльтиген, и эпохе микулинского межледниковья.

В разрезе Малый Кут, расположенном на западном берегу Таманского залива, карангатские морские отложения включают в основном средиземноморские виды, как эвригалинные, так и стеногалинные.

Нами выполнен малакофаунистический анализ керна скважин, пробуренных на шельфе в северо-восточном районе Черного моря на глубине около 22 м в 12 км к юго-востоку от м. Железный Рог. Скважинами вскрыта толща осадков максимальной мощностью 50 м. Карангатские отложения залегают в интервале от 27 до 13 м (Сорокин и др., 2022). Нижние 8 м представлены относительно глубоководными глинами с тонкими прослойками песка, насыщенного раковинным детритом, содержащего включения раковин и их обломков: *Mytilaster lineatus*, *Cerastoderma glaucum*, *Cardium papillosum*, *Mytilus galloprovincialis*, *Flexorecten glaber*, *Paphia* sp., *Acantocardia tuberculata*. Мы трактуем ее как максимальную фазу трансгрессии. Выше (6 м) залегают преимущественно песчаная толща, состоящая из двух пачек. Нижняя из них сложена алевритом и мелкозернистым песком с включениями раковин, скопления которых образуют линзовидные прослои. В их составе *Ostrea edulis*, *Chamelea gallina*, *Acantocardia tuberculata*, *Nassa reticulata*, *Mytilus galloprovincialis*, *Flexorecten glaber*, *Gibbula maga*, *Bittium reticulatum*, *Spisula subtruncata*. Верхняя пачка имеет более глинистый состав и представляет собой переслаивание песчаных и глинистых осадков. В кровле толщи содержатся многочисленные раковины моллюсков: *Flexorecten glaber*, *Ostrea edulis*, *Mytilus galloprovincialis*, *Paphia senescens*, *Cerastoderma glaucum*, *Chamelea gallina*, *Nassa reticulata*, *Mactra corallina*, *Dreissena polymorpha*, *Didacna cristata*, *Didacna subcatillus*, *Lithoglyphus naticoides*. Это осадки заключительной фазы трансгрессии с более низким уровнем моря. Особый интерес вызывает нахождение в них, наряду с морскими видами средиземноморского происхождения, раковин солоноватоводных моллюсков, в составе которых – типичные представители гирканского трансгрессивного бассейна Каспия *Didacna cristata* и *Didacna subcatillus*. Выше залегают толща регрессивных отложений.

Анализ видового состава карангатской малакофауны из отложений северо-восточной части Понта показывает, что она представлена 37 видами, основная часть из которых – морские средиземноморские виды, как эвригалинные, так и стеногалинные. Своим появлением и распространением в Черноморской котловине они обязаны водам тирренской трансгрессии Средиземного моря, проникшими в Понт после преодоления ими порога Босфора. В составе карангатской фауны выделяются три комплекса, отвечающих трем стадиям развития одноименной трансгрессии. Наибольшим разнообразием с присутствием самых галофильных элементов, ныне отсутствующих в Черном море (*Acantocardia tuberculata*), отличается второй комплекс, отвечающий стадии с наивысшим уровнем. Воды тирренской трансгрессии полностью заполнили котловины Черного и Азовского морей, выходя за их пределы и образуя ингрессионный залив в Манычской депрессии – это было самое масштабное поступление средиземноморских вод в Понт в четвертичном периоде, приведшее к наивысшей солености (до 30‰) бассейна, близкой солености Средиземного моря.

Третий комплекс отличается широким распространением эвригалинной и умеренно эвригалинной фауны. Он отвечает третьей стадии карангатской трансгрессии, с близким (или несколько ниже) современному уровню моря. Важной особенностью этого комплекса является присутствие в нем каспийских солоноватоводных видов, характерных для гирканской трансгрессии Каспия (*Didacna cristata*, *D. subcatillus*, *D. nalicini*), а также *Dreissena polymorpha* и *Lithoglyphus naticoides*. Присутствие этих видов, наряду с их распространением в гирканских отложениях Маныча, указывают на функционирование



пролива между бассейнами. Сток был односторонним из Каспия в Понт, ибо представителей морской малакофауны в гирканских отложениях Каспия не обнаружено. Возрастные оценки карангатских отложений определяют временной интервал развития трансгрессии эпохой, отвечающей МИС 5 (Курбанов и др., 2019, 2020; Семиколенных и др., 2023).

Сравнивая биоразнообразие малакофауны в бассейнах Каспия и Понта в климатических условиях эпохи МИС 5, можно заключить, что оно неразрывно связано с историей их развития. В изолированном Каспии состав малакофауны определялся рядом факторов: степенью унаследованности от малакофауны предшествующего бассейна, соленостью и температурой водной среды, стоком рек и привнесом с ними пресноводных видов. Формирование состава малакофауны носило преимущественно эволюционный характер: изоляция является важным фактором для эволюции. В каждом бассейне с иными условиями среды формировался новый состав моллюсков, свойственный только этому бассейну. Отсюда так велика роль малакофауны в биостратиграфическом расчленении четвертичных отложений Каспия.

В Понте ситуация иная. Карангатская трансгрессия была вызвана трансгрессированием тирренского (Средиземноморье) моря. Видовое разнообразие малакофауны определялось составом малакофауны, мигрировавшей в него с морскими водами. На завершающих стадиях развития карангатской трансгрессии ее фаунистический состав испытал влияние каспийских инвазивных видов, проникших в Понт с водами гирканской трансгрессии через Манычский пролив. Эволюционная составляющая в развитии черноморской малакофауны отсутствовала.

### **Финансирование**

Работа поддержана РФФИ (грант № 22-27-00164).

### **Список литературы:**

1. Болиховская Н.С. Пространственно-временные закономерности развития растительности и климата Северной Евразии в неоплейстоцене // Археология, этнография и антропология Евразии. – 2007. – № 4 (32). – С. 2-28.
2. Курбанов Р.Н., Семиколенных Д.В., Янина Т.А., Тюнин Н.А., Мюррей Э.С. Новые данные о возрасте карангатской трансгрессии Черного моря // Вестник Московского университета. Серия 5: География. – 2020 – № 6. – С. 139-145.
3. Курбанов Р.Н., Янина Т.А., Мюррей Э.С., Борисова О.К. Гирканский этап в позднеплейстоценовой истории Манычской депрессии // Вестник Московского университета. Серия 5: География. – 2018 – № 3. – С. 77-88.
4. Курбанов Р.Н., Янина Т.А., Мюррей А.С., Семиколенных Д.В., Свистунов М.И., Штыркова Е.И. Возраст карангатской трансгрессии (поздний плейстоцен) Черного моря // Вестник Московского университета. Серия 5: География. – 2019 – № 6. – С. 29-39.
5. Невеская Л.А. Позднечетвертичные двустворчатые моллюски Черного моря, их систематика и экология. М.: АН СССР. – 1965 – 392 с.
6. Попов Г.И. Гирканская трансгрессия в Северном Прикаспии // Бюлл. Комис. по изуч. четверт. периода. – 1967 – Т. 33. – С. 77-86.
7. Свиточ А.А., Янина Т.А. Четвертичные отложения побережий Каспийского моря. М.: РАСХН. – 1997 – 267 с.
8. Семиколенных Д.В. Палеогеография проливов Понто-Каспия в позднем плейстоцене. Автореферат диссерт. кандидата геогр. наук. – М.: ИГРАН. – 2022 – 26 с.

9. Семиколенных Д.В., Курбанов Р.Н., Янина Т.А. Хронология карангатской трансгрессии Черного моря на основе данных люминесцентного датирования // Известия Российской академии наук. Серия географическая. – 2023 – Т. 87. – № 1. – С. 88–101.
10. Сорокин В.М. Корреляция верхнечетвертичных отложений и палеогеография Черного и Каспийского морей // Стратиграфия. Геол. Корреляция. – 2011 – Т. 19. – № 5. – С. 96–112.
11. Сорокин В. М., Янина Т. А., Романюк Б. Ф. Новые находки карангатских отложений в восточной части Черного моря // Вестник Московского университета. Серия 4: Геология. – 2022. – № 5. – С. 13-20.
12. Янина Т.А. Неоплейстоцен Понто-Каспия: биостратиграфия, палеогеография, корреляция. М.: Изд-во Моск. ун-та. – 2012 – 264 с.
13. Янина Т.А., Сорокин В.М., Безродных Ю.П., Романюк Б.Ф. Гирканский этап в плейстоценовой истории Каспийского моря // Вестник Московского университета. Серия 5: География. – 2014 – № 3. – С. 3-9.
14. Янина Т.А., Свиточ А.А., Курбанов Р.Н. и др. Опыт датирования плейстоценовых отложений Нижнего Поволжья методом оптически стимулированной люминесценции // Вестник Московского университета. Серия 5: География. – 2017 – № 1. – С. 21–29.
15. Head M.J. Formal subdivision of the Quaternary System/Period: Present status and future directions // Quaternary International. – 2019 – No. 500. – P. 32-51.
16. Kukla G., Bender M., de Beaulieu J.-L. et al. Last Interglacial Climates // Quaternary Research. – 2002 – No. 58. – P. 2-13.
17. Kurbanov R.N., Buylaert J.P., Stevens T., Taratunina N.A., Belyaev V.R., Makeev A.O., Lebedeva M.P., Rusakov A.V., Solodovnikov D.S., Rogov V.V., Strletskaia I.V., Murray A.S., Yanina T.A. A detailed luminescence chronology of the lower Volga loess-palaeosol sequence at Leninsk // Quaternary Geochronology. – 2022 – Vol. 73. – P. 101376.
18. Shkatova V.K. Paleogeography of the late Pleistocene Caspian basins: Geochronometry, paleomagnetism, paleotemperature, paleosalinity and oxygen isotopes // Quaternary International. – 2010 – No. 225. – P. 221-229.
19. Sorokin V.M., Yanina T.A., Bezrodnykh Yu.P., Romanyuk B.F. Identification and age of submarine Girkanian sediment beds (upper Pleistocene) in the Caspian Sea // Quaternary International. – 2018 – No. 465(A). – P. 152-157.

УДК 543

Рубрика 34.21.17

НОРМАЛЬНОЕ РАЗВИТИЕ И ОСОБЕННОСТИ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА  
МИНИАТЮРНЫХ ИНТЕРСТИЦИАЛЬНЫХ АННЕЛИД: НЕОЖИДАННЫЕ  
ФАКТЫ О РОЛИ КАРЛИКОВЫХ САМЦОВ У DIMORPHILUS GYROCILIATUS

NORMAL DEVELOPMENT AND FEATURES OF THE LIFE CYCLE OF MINIATURE  
INTERSTITIAL ANNELIDS: UNEXPECTED FACTS ABOUT THE ROLE OF DWARF  
MALES IN DIMORPHILUS GYROCILIATUS

**Матвейчева Екатерина Петровна<sup>1</sup>, Фофанова Елизавета Геннадиевна<sup>2</sup>,  
Воронежская Елена Евгеньевна<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия;*

<sup>2</sup>*ФГБУН Институт биологии развития им. Н.К. Кольцова РАН, 119334, Москва*

**Matveicheva Ekaterina Petrovna<sup>1</sup>, Fofanova Elizaveta Gennadievna<sup>2</sup>,  
Voronezhskaya Elena Evgenievna<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Lomonosov Moscow State University, Moscow*

<sup>2</sup>*Department of Comparative and Developmental Physiology, Koltzov Institute of  
Developmental Biology RAS, 119334, Moscow*

## Введение

Половое размножение – основной тип размножения эукариот. Его свойства – образование половых клеток и генетическая рекомбинация, обеспечивающие разнообразие генетического материала и, как результат, способность к быстрой адаптации к меняющимся условиям среды. Это дало эукариотам огромное эволюционное преимущество. Особым типом полового размножения является партеногенез – развитие организма из половой клетки без оплодотворения. Считается, что определенный тип полового размножения эволюционно приспособлен именно к конкретным условиям существования вида. Исследование многообразия таких адаптивных вариаций полового размножения дает новый материал для теоретических построений зоологам, экологам и генетикам. Большой интерес в этом отношении представляет группа Dinophiliformia. Эти миниатюрные интерстициальные аннелиды обладают различными педоморфными чертами: ресничный тип движения, наличие у половозрелой стадии прототроха и протонефридиев на протяжении всей жизни. На данный момент изучены два вида: *Dimorphilus gyrociliatus* и *Dinophilus vorticocides*, различные по составу взрослой популяции. У *D. vorticocides* половой диморфизм не выражен, во взрослой популяции есть и самцы, и самки. У *D. gyrociliatus* выражена крайняя степень полового диморфизма, популяция состоит исключительно из самок, а самки откладывают кладки с крупными «женскими» и мелкими «мужскими» яйцами. Формирующиеся из мелких яиц карликовые самцы *D. gyrociliatus* (размером около 30 мкм) развиваются в одной кладке вместе с самками, но не вылупляются и отсутствуют во взрослой популяции [1]. Считается, что самцы умирают вскоре после копуляции, которая происходит внутри кладки на поздних стадиях развития, а самки запасают сперму и используют ее в течение всей последующей жизни [2].



Однако, как протекает нормальное развитие самцов, сравнимо ли оно с развитием самок, в какой момент и каким образом происходит оплодотворение, на данный момент достоверно неизвестно.

Цель данной работы - сравнить развитие самцов и самок *Dimorphilus gyrociliatus* начиная с дробления, проследить формирование мышечных, ресничных структур и серотонинергических нервных элементов, формирование сперматозоидов у самцов и процесс копуляции.

## Материалы и методы

Мы использовали лабораторную культуру *D. gyrociliatus*, позволяющую получать кладки в течение всего года. Использовали методы прижизненного окрашивания карбоксифлуоресцеином и цейтраферной съемки бластомеров на стадиях раннего дробления, маркирование границ клеток и мышечных элементов фаллоидином и иммунохимическое выявление ресничных и серотонинергических элементов.

## Результаты и обсуждение

Дробление самцов и самок асинхронное, неравномерное, спиральное. Развитие у самцов и самок из одной кладки идет синхронно до стадии 4-5 бластомеров. Далее пролиферация клеток у самца идет медленнее, в результате чего на стадии ранней трохофоры число клеток у самок составляет от 300 до 500, у самцов – 100-150, а перед вылуплением – 5000 клеток и 975 клеток, соответственно (600 клеток из имеющихся у самца – сперматозоиды) (Рис.1).

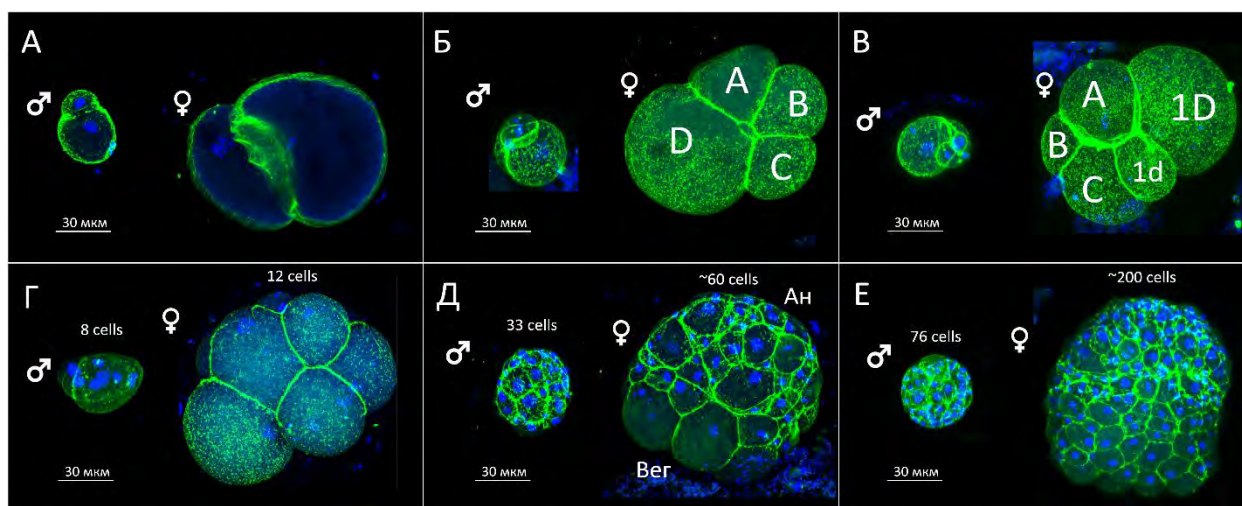


Рис.1. Этапы раннего дробления *D. gyrociliatus*, видна значительная разница в размере женского и мужского зародышей. Зеленый – фаллоидин, синий – DAPI. А – стадия двух бластомеров, Б – стадия 4-х бластомеров, Д бластомер и его потомки сильно отличается по размеру от других бластомеров самца и самки, в случаях Б и В деление бластомеров самца не завершено. В – стадия 5-ти клеток, последняя стадия, когда количество клеток самца и самки из одной кладки совпадает, видны 1D и 1d бластомеры у самки, Г – самка имеет 12 клеток, самец – 8 клеток, Д – самец и самка из одной кладки, у самца – 33 клетки, у самки ~ 60 клеток, у самки обозначены анимальный и вегетативный полюс, Е – самец и самка из одной кладки, у самца – 76 клеток, у самки – около 200.

На стадии поздней трохофоры и у самцов, и у самок, выявляются продольные мышечные элементы. Затем у самки в районе ротового отверстия в переднем отделе тела начинается формирование плотного бульбуса и связанных с ним продольно-поперечных мышечных элементов. В это же время у самца происходит формирование мышечных структур копулятивного органа в постериорной области, ротовое отверстие в переднем отделе тела отсутствует.

Самые ранние серотонинергические нейроны появляются у самок на стадии средней трохофоры на второй день развития: два нейрона расположены в основании вентральных стволов. У самцов в этой же кладке этих элементов нет. На третий день развития у самок обнаруживаются 4 серотонинергических нейрона, а у самцов – два нейрона в передней части тела. У самцов в середине тела наблюдается концентрация ядер, в которых происходит конденсация хроматина. Затем в каждой такой клетке наблюдается формирование актинового кольца, а позже и реснички. Это позволяет считать такие клетки сперматозоидами (Рис.3). Семенной мешочек самца окружен мышечным каркасом и имеет серотонинергическую иннервацию, поэтому возможно, что она задействована в регуляции репродуктивной активности самцов.

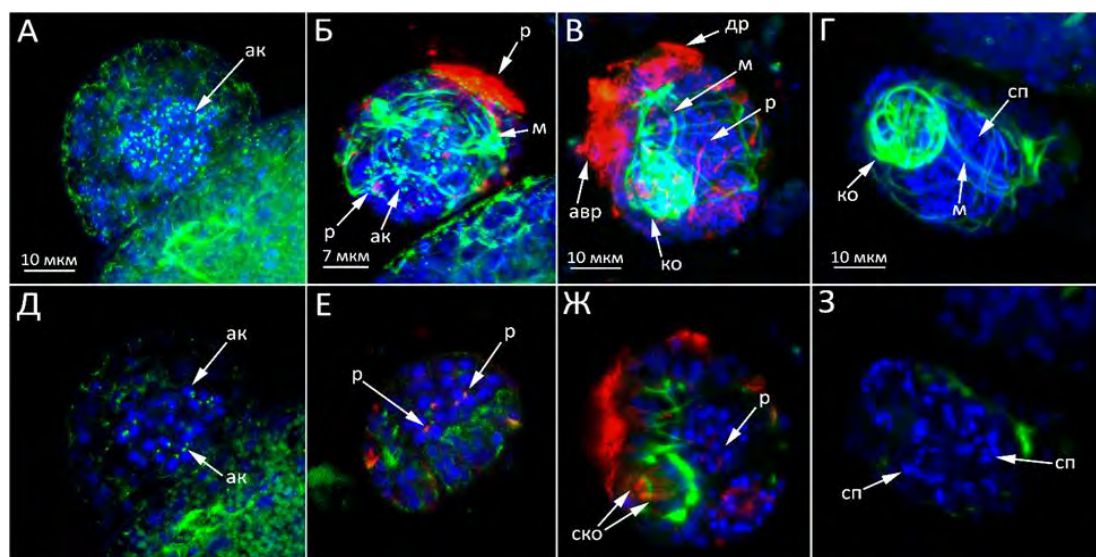


Рис. 2. Этапы формирования сперматозоидов у *D. gyrociliatus*, Зеленый – фаллоидин, Красный – тубулин, Синий – DAPI, А,Д – образование актиновых колец, отмечены стрелочкой (ак), Б, Е – начало формирования ресничек, рядом с актиновыми кольцами, отмечены стрелочкой (р), В,Ж – стрелками отмечены клетки будущих сперматозоидов с ресничками без актиновых колец (р), Г,З – зрелые сперматозоиды с ярким ядром характерной вытянутой формы, отмечены стрелочкой (сп). Также на фотографиях отмечены копулятивный орган (ко), его стилеты (ско), anteriорное вентральное ресничное поле (авр), дорсальное ресничное поле (др), мышечные структуры копулятивного органа (м).

Мы зафиксировали случаи, когда на поздних стадиях развития самец был плотно прижат к телу самки, а сперматозоиды обнаруживались как в семенном мешочке самца, так и в теле самки (Рис.2). Это позволяет считать данный момент процессом копуляции. До настоящего времени копуляция у *D. gyrociliatus* была зафиксирована всего два раза и только с помощью световой микроскопии [3,4]. В большинстве задокументированных нами случаев (2 из 3х случаев) практически все зрелые сперматозоиды концентрировались в теле одной самки. Этот факт поднимает ряд вопросов. Так, остается непонятным, копулирует самец с несколькими самками

или с одной, какова в этом роль чувствительных нейронов самца? Наши данные позволяют предположить, что самец использует семенной материал только единожды. Тогда неясно, каким же образом происходит оплодотворение остальных самок и как достигается генетическое разнообразие внутри популяции? Известно, что все взрослые самки, имеющиеся в популяции, несут запас сперматозоидов и откладывают кладки, в которых количество мужских яиц всегда меньше, чем число женских. В нашей лаборатории, а также другими авторами [5], было сделано наблюдение, что более старые самки откладывают кладки с количеством самцов, превышающем число самок. Учитывая все эти данные, мы предлагаем следующие гипотезы о структуре жизненного цикла *D. gyrociliatus*: 1) неоплодотворенные самки погибают, если самцов в кладке меньше, чем самок. В таком случае остается неясным механизм выбора самки, с которой будет копулировать самец., 2) самец (или самцы) могут успешно оплодотворять несколько самок в кладке - то есть могут узнавать, что в кладке несколько самок, а не одна и отличать неоплодотворенных самок от оплодотворенных. Именно такой способ предполагался и описывался ранее [3], 3) развитие неоплодотворенных яиц самок происходит партеногенетически. В нашей работе мы не обнаружили этому подтверждений, однако возможность партеногенеза у *D. gyrociliatus* была упомянут в литературе [4], 4) при высокой плотности популяции, когда в ней появляются более старые самки, которые откладывают кладки с большим числом мужских яиц, возможно возникновение так называемых “свободных самцов”, которые могут выходить из кладок и оплодотворять самок из других кладок. Эта гипотеза предполагает возможное наличие у *D. gyrociliatus* перекрестного оплодотворения и таким образом предлагает объяснение, почему в популяции *D. gyrociliatus* не происходит инбредной депрессии. Эта гипотеза уже высказывалась в литературе, в ее пользу также может говорить изменение соотношения мужских и женских яиц в кладке с изменением плотности популяции у *D. gyrociliatus* [5]. Все эти гипотезы отражены на схеме (Рис. 4). Каждое из этих предположений требует дальнейших исследований. Также на данный момент остаются не до конца изученными молекулярные механизмы поддержания генетического разнообразия внутри популяции *D. gyrociliatus* и определения пола *D. gyrociliatus*. Однако уже сейчас обнаруженные факты позволяют предположить, что в процессе педоморфоза у *Dimorphilus gyrociliatus* возникли адаптивные изменения полового размножения, особенности и эволюционное значение которых ещё предстоит разгадать.

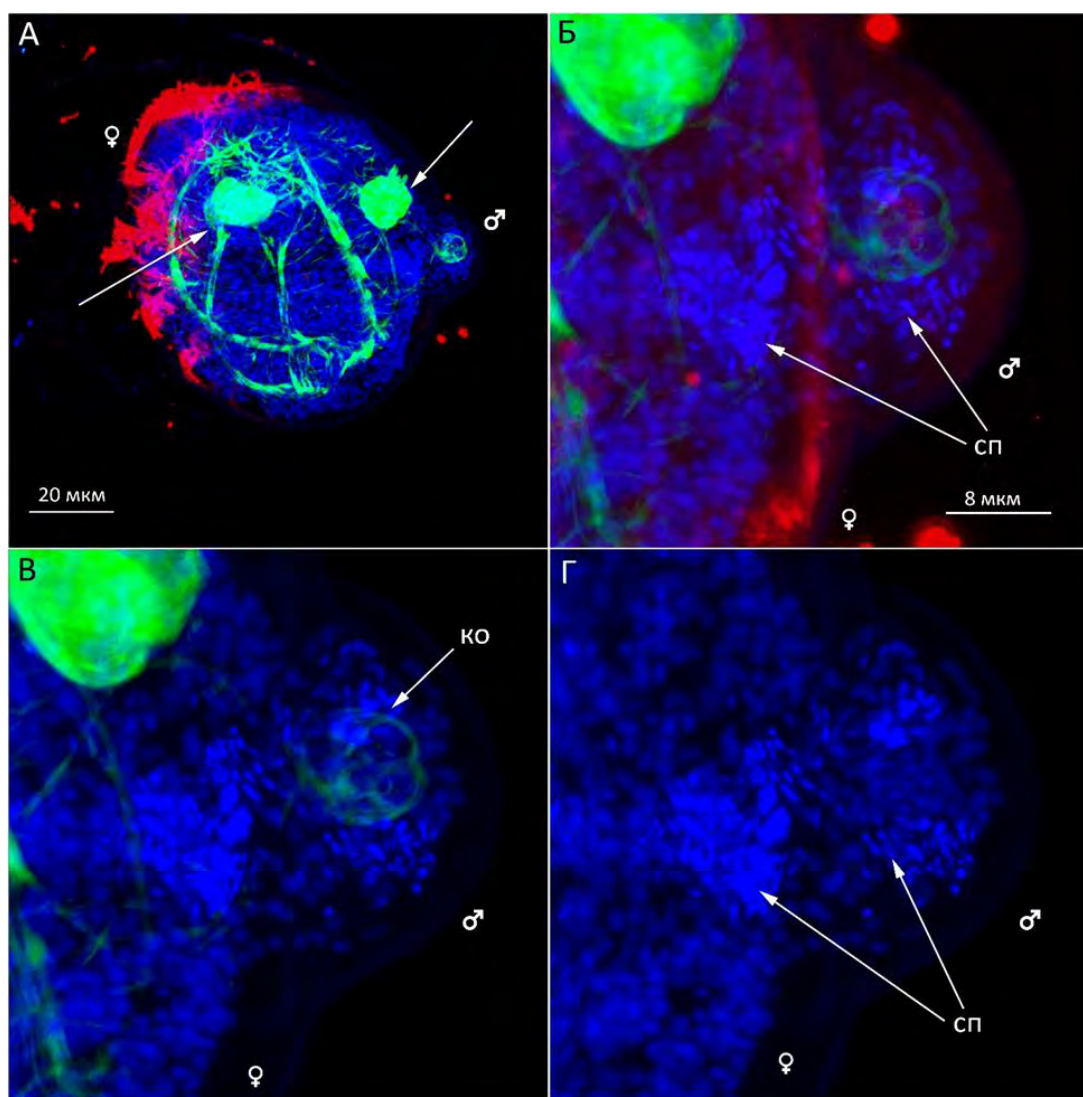


Рис. 3. Фотографии процесса копуляции *D. gyrociliatus*, большая часть сперматозоидов находится в теле самки. Зеленый – фаллоидин, синий – DAPI, красный – тубулин. А – общий вид копулирующих самца и самки, видны две крупные мышечные структуры (отмечены стрелками), на Б,В,Г представлена область копуляции с большим увеличением, отмечены сперматозоиды (сп) и копулятивный орган (ко), тубулиновые структуры копулятивного органа – предположительно его стилеты (ско), на Б видно, что ресничных структур на момент копуляции у сперматозоидов уже нет, в то время как четко выделяются ресничные структуры на поверхности тела самца и самки.



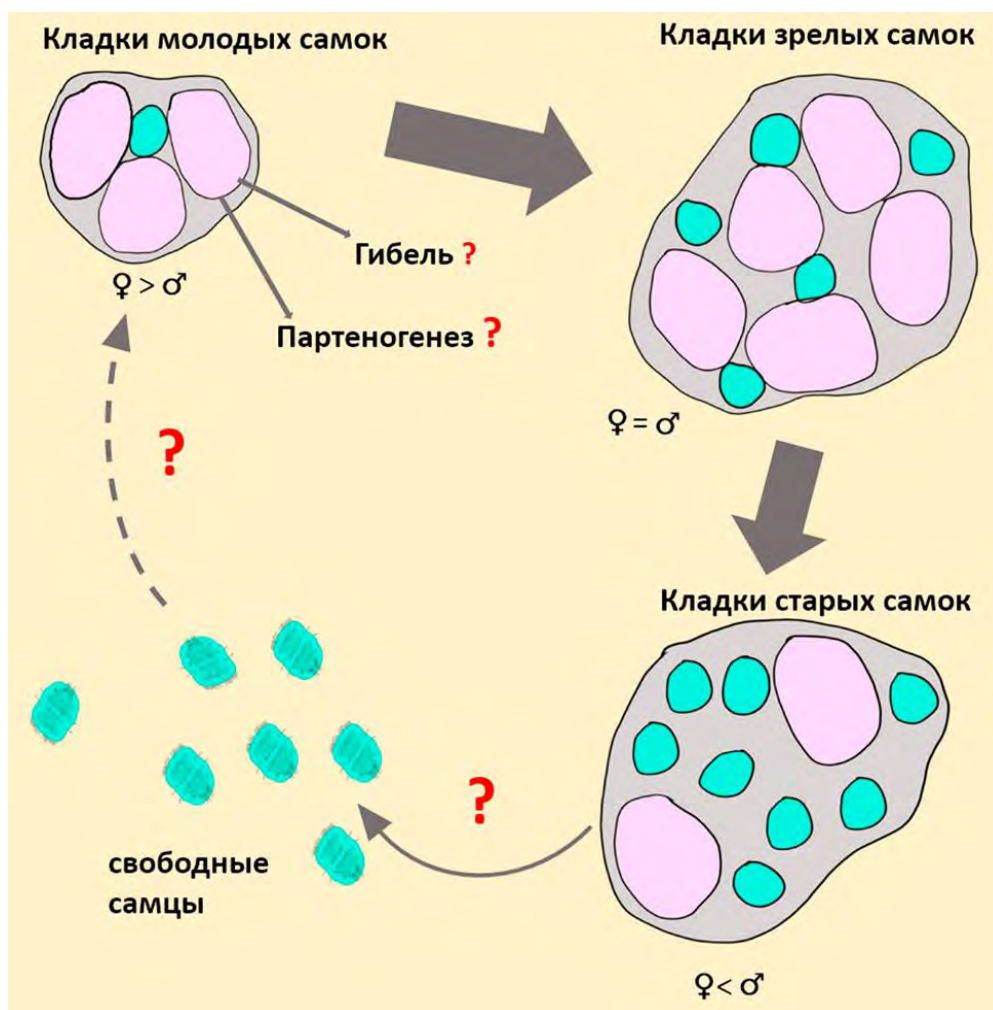


Рис. 4. Возможные варианты структуры жизненного цикла *D. gyrociliatus*. В кладках молодых самок женских яиц больше, чем мужских, если самец не оплодотворяет таких самок, то они или погибают, или развиваются партеногенетически, в кладках зрелых самок примерно одинаковое количество самцов и самок, все самцы успешно находят и оплодотворяют самок, и наконец в кладках старых самок больше мужских яиц – при повышении плотности популяции самцы, развивающиеся из них становятся «свободными», выходят из кладок и могут оплодотворять самок из кладок с меньшим числом мужских яиц.

### Выводы

- 1) Выявлены различия в раннем развитии самок и самцов *D. gyrociliatus*. Так, начиная со стадии 5ти бластомеров, у самцов начинается замедление темпов пролиферации клеток, приводящее к значительной (в 3-3,5 раза) разнице числа клеток у самцов и самок.
- 2) Показано принципиально различное строения мышечной и нервной систем у самцов и самок перед вылулплением.
- 3) Впервые проведена видеорегистрация процесса копуляции и проанализированы последовательные стадии этого процесса у *D. gyrociliatus*. Полученные данные позволяют предположить, что самец копулирует только с одной самкой, сенсорные клетки самца играют значимую роль в выборе самки

## Благодарность

Авторы благодарят Центр коллективного пользования ИБР РАН, на оборудовании которого проводилось исследование.

## Список литературы:

1. Nelson JA. The Early Development of *Dinophilus*: A Study in Cell-Lineage. Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia, Sep. - Dec., 1904, Vol. 56, No. 3 (Sep. - Dec., 1904), pp. 687-737
2. Simonini, R., Molinari, F., Pagliai, A. M., Ansaloni, I., & Prevedelli. D. Karyotype and sex determination in *Dinophilus gyrotilatus* (Polychaeta: Dinophilidae). *Marine Biology* (2002), 142(3), 441–445
3. Shearer G. The Problem of Sex Determination in *Dinophilus gyrotilatus*. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, Volume 9 , Issue 2 , October 1911 , pp. 156-160
4. Vandini R. Z. A possible way of origin of parthenogenetic strains of *Dinophilus apatris* (= *D. gyrotilatus*) // *Experientia*. 1965. V. 21. № 7. P. 388–389.
5. Sella G., Ramella L. Sexual conflict and mating systems in the dorvilleid genus *Ophryotrocha* and the dinophilid genus *Dinophilus* // *Hydrobiol.* 1999. V. 402. P. 203–213.

УДК 593.761

Рубрика 34.33.15

СТРОЕНИЕ НЕРВНО-МЫШЕЧНОЙ СИСТЕМЫ ПОЛИПОВ И ЭФИР *LINUCHE SP.*  
(SCYPHOZOA: CORONATAE)

ORGANISATION OF THE NEURO-MUSCULAR SYSTEM OF POLYPS AND EPHYRAE  
OF *LINUCHE SP.* (SCYPHOZOA: CORONATAE)

**Салова Ирина Андреевна<sup>1</sup>, Домрачева Мария Михайловна<sup>1</sup>, Хабибулина Валерия  
Руслановна<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> СПбГУ, Санкт-Петербург

**Salova Irina Andreevna<sup>1</sup>, Domracheva Maria Mikhailovna<sup>1</sup>, Khabibulina Valeria  
Ruslanovna<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> SPbU, St Petersburg

## Введение

Coronatae – небольшой отряд в составе Scyphozoa, представители которого встречаются на мелководье и глубинах до 3000 метров в теплых и холодных морях по всему земному шару. Как и у большинства сцифоидных, в их жизненном цикле чередуются два поколения – полипоидное и медузоидное. Коронатные полипы сохраняют типичные черты строения сцифистом, но имеют отличительную черту – хитиновую трубку с характерным кольчатым строением и системой внутренних выростов, позволяющих полипу закрепляться в ней и быстро втягивать капитулум с щупальцами внутрь. Медузы коронат отличаются наличием корональной бороздки на эксумбрелле, образующей куполовидную “корону”, которая начинает формироваться ещё на стадии эфиры. Большинство видов Coronatae имеют фотосимбионтов, которые присутствуют у обоих поколений.

Несмотря на распространенность Coronatae и их морфологические особенности, вызывавшие интерес у исследователей ещё в 20 веке, они до сих пор плохо изучены и наши знания о них мозаичны и требуют систематизации. Целью нашей работы стало изучение нервно-мышечной системы полипов и эфир Coronatae и особенностей их строения на гистологическом уровне.

## Материалы и методы

Объектом нашего исследования стали полипы и эфиры *Linuche sp.* – мелководного вида Coronatae, обитающего в теплых водах и успешно культивирующегося в лабораторных условиях. Живые полипы *Linuche sp.* были получены в Аквариальной Лаборатории морских исследований ЗИН РАН, а эфиры появлялись спонтанно в результате стробилиации полипов при содержании в культуре на базе РЦ "Культивирование микроорганизмов" Научного Парка СПбГУ.

Для выявления общей топологии нервно-мышечной системы использовались методы иммуногистохимии и гистологии. Мы проводили окрашивание фаллоидином и антителами к FMRF-амиду и тубулину для выявления мышечных отростков и нейронов, а также делали



серии полутонких срезов для установления пространственной организации мышечных отростков у полипов и эфир.

## Результаты

Нами было установлено, что мышечная система полипов *Linuche sp.* представлена продольными мышечными лентами, состоящими из объединенных в группы гладкомышечных отростков, которые идут от подошвы к оральному диску и далее рассредотачиваются и переходят в щупальца. Количество мышечных лент варьирует от 6 до 13 у особей разного размера. Ранее считалось, что у большинства полипов Coronatae количество мышечных лент равно четырем (Chapman, Werner, 1972), а исключение составляют только полипы *Nausithoe racemosa*. Это связывали с их необычным строением капитулюма и большим количеством щупалец (Werner, 1970., Komai, 1936). Сцифистомы *Linuche sp.* внешне устроены типичным для Coronatae образом, но обладают большим числом мышечных лент. Нервная система у полипов представлена разветвленной FMRФамидергической и тубулин-иммунореактивной нервной сетью из би- и мультиполярных нейронов, которая образует продольные группы, сопровождающие мышечные ленты в теле полипа. В щупальцах нейриты также идут параллельно мышечным отросткам, но заметных скоплений не образуют. Большинство нервных клеток, вероятно, участвует в иннервации мышечных отростков в теле и щупальцах полипа.

У эфир была обнаружена поперечнополосатая кольцевая мускулатура, лежащая параллельно корональной бороздке и обеспечивающая основное сокращение купола для реактивного движения. Также в районе мышечного кольца имеются гладкомышечные отростки, организованные в пучки и расположенные напротив лопастей ропалиев. Они заходят в сами лопасти и идут к центру купола, где собираются в четыре группы, идущие вдоль ротовой трубки. Нервные элементы эфир, как FMRФамидергические, так и тубулинергические, концентрируются в области статоцитов и уходят в лопасти и купол, где образуют заметные скопления рядом с группами мышечных отростков в ротовой трубке и идут параллельно кольцевой мускулатуре. Нервные элементы статоцитов выполняют рецепторную и ритмоводительную функцию, обеспечивая равномерное сокращение кольцевой мускулатуры и купола.

## Выводы

В ходе нашей работы мы выявили общую топологию мышечной системы и FMRФамидергической и тубулинергической нервной системы полипов и эфир *Linuche sp.* Организация нервно-мышечной системы *Linuche sp.* во многом совпадает с общим планом строения Coronatae и имеет особенности, показанные ранее для других представителей отряда. Благодаря использованию более современных методов, нами было впервые показано наличие радиальных гладкомышечных пучков у эфир и многочисленных мышечных лент у полипов *Linuche sp.*

## Список литературы:

1. Chapman D.M., Werner B. (1972). Structure of a solitary and a colonial species of *Stephanoscyphus* (Scyphozoa, Coronatae) with observations on periderm repair. Helgolander wiss. Meeresunters. 23, 393-421
2. Komai T. (1936). On Another Form of *Stephanoscyphus*, found in the waters of Japan. Coll. Sci., Kyoto Imp. Univ., Ser B 11(3): 175-183

3. *Matsuno A., Kawaguti S. (1991). An ultrastructural study of the polyp and strobila of *Atorella japonica* (Cnidaria, Coronatae) with respect to muscles and nerves. Hydrobiologia 216/217: 39-43*
4. *Werner B. (1970). Contribution to the evolution in the genus *Stephanoscyphus* (Scyphozoa, Coronatae) and ecology and regeneration qualities of *Stephanoscyphus racemosus komai*. Publications of the Seto marine biological laboratory 18(1): 1-20*

УДК 57.063.7

Рубрика 34.23.35

## УТОЧНЕНИЕ ВИДОВОЙ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ ЧЕРНОМОРСКОЙ ПЛЕВРОБРАХИИ МЕТОДАМИ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ФИЛОГЕНЕТИКИ

## CLARIFICATION OF THE BLACK SEA PLEUROBRACHIA SPECIES USING MOLECULAR PHYLOGENETICS METHODS

**Баяндина Юлия Сергеевна<sup>1</sup>, Кулешова Ольга Николаевна<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Федеральный исследовательский центр «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН» (ФИЦ ИнБЮМ), Севастополь*

**Baiandina Iuliia Sergeevna<sup>1</sup>, Kuleshova Olga Nikolaevna<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol*

### Введение

Плевробрахия – аборигенный вид гребневиков для Черного моря. Изначально специалисты по черноморскому зоопланктону относили плевробрахию к виду *P. pileus* [Димов, 1960; Кусморская, 1961; Лазарева, 1961]. Однако с 1968 г. в литературе для Черного моря стали указывать другой вид рода *Pleurobrachia* – *P. rhodopis* [Наумов, 1968]. В работе В. Е. Заика [Заика, 2012] делает вывод о принадлежности черноморской плевробрахии к роду *P. pileus* на основании сравнения максимальной дефинитивной длины *P. pileus* (30 мм) и *P. rhodopis* (10 мм). В описании вида *P. rhodopis* [Chun, 1879] кроме размерных характеристик, указана розовая окраска щупалец и щупальцевых лукович, В мировых таксономических сводках оба обсуждаемых вида признаются валидными для Чёрного моря.

Дефинитивные размеры животных и их окраска в разных частях ареала могут отличаться. В современных условиях, наряду с морфологическими методами определения видовой принадлежности, широко используют молекулярно-генетические методы.

Для уточнения видовой принадлежности нами был проведен анализ нуклеотидных последовательностей фрагментов митохондриальных генов COI и рибосомальных 18S Черноморской плевробрахии.

### Материал и методы

Черноморскую плевробрахию (n=25) отлавливали с помощью планктонной сети Богорова-Расса в 122-м рейсе НИС «Профессор Водяницкий» (07.06–02.07. 2022 г.). Тотальную ДНК выделяли из двух особей плевробрахии. С использованием разработанных нами праймеров на основе последовательности COI из опубликованной митохондриальной последовательности *Pleurobrachia pileus* (регистрационный номер GenBank. JF760211) проводили ПЦР. Продукт ПЦР секвенировали с помощью прямого, обратного и внутренних праймеров с использованием генетического анализатора Нанофор 05. Последовательность для 18S получена из собранного нами de novo общего транскриптома *Pleurobrachia Black Sea*. Реконструкция филогении проведена с использованием программного обеспечения MAFFT

v.7.48 [Kato et. al., 2013] и IQ-TREE 1.6.12 [Trifinopoulos et. al., 2016]. Для реконструкции филогении использовался набор последовательностей, полученный для типа *Stenophora* из базы NCBI (txid10197), включающих полностью или частично последовательности COI и 18S, и определённых с точностью до вида.

## Результаты

Длина тела отобранных нами плевробрахий находилась в пределах от 7 до 20 мм. Длина ктен различалась у разных особей (около  $\frac{3}{4}$  длины тела). Цвет тела прозрачный, пигментации отдельных частей тела и окраски мы не отмечали.

Для уточнения видовой принадлежности черноморских плевробрахий были построены филогенетические деревья отдельно для COI и 18S.

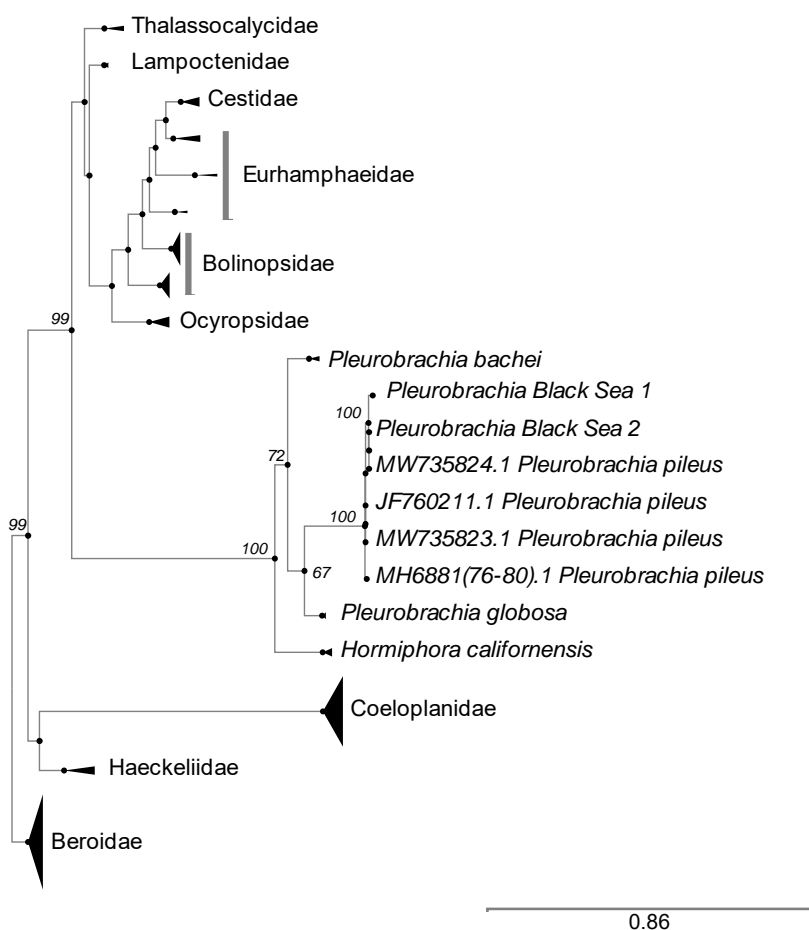


Рис. 1 – Реконструкция филогении черноморской плевробрахии для COI.

По результатам филогенетического анализа 18S черноморской плевробрахии с высокой статистической поддержкой (не менее 90 ultrafast bootstrap) кластеризуется с последовательностями 18S вида *P. pileus*. На филогенетическом дереве (Рис. 1), построенном для COI, полученные нами последовательности (*Pleurobrachia Black Sea 1* и 2) относятся (с поддержкой 100 ultrafast bootstrap) к кластеру *P. pileus* и образуют внутри кладу непосредственно черноморского штамма.

## Заключение

По максимальным дефинитивным размерам тела и отсутствию красной окраски, характерной для вида *P. rhodopis*, исследованных нами черноморских плевробрахий можно отнести к виду *P. pileus*. Полученные нами последовательности COI и 18S с высоким уровнем статистической поддержки являются составной частью клад, включающей виды имеющихся в базе данных GenBank представителей вида *P. pileus*. Таким образом мы можем однозначно утверждать, что особи, которых мы исследовали относятся именно к виду *Pleurobrachia pileus*.

## Финансирование

Исследование выполнено в рамках выполнения темы государственного задания № 121030100028-0 «Закономерности формирования и антропогенная трансформация биоразнообразия и биоресурсов Азово-Черноморского бассейна и других районов Мирового океана» (предыдущий номер АААА-А18-118020890074-2).

## Список литературы:

1. Димов И. Г. Зоопланктон в Чёрном море перед болгарским берегом в 1954, 1955 и 1956 г. // Тр. Ин-та рыбн. хоз-ва и пром-сти. – Варна (Болгария). – 1960. – 2. – С. 85 – 145.
2. Кусморская А. П. О зоопланктоне Чёрного моря // Тр. АзЧерНИРО. – 1950. – Вып. 14. – С. 177 – 214.
3. Лазарева Л. П. О поглощении кислорода гребневыми *Pleurobrachia pileus* О. F. Müller разных размеров в зависимости от температуры и солёности окружающей среды // Тр. Карадаг. биол. ст. – 1961. – Вып. 17. – С. 86 – 97
4. Наумов Д. В. Тип Гребневики // Жизнь животных. – М., 1968. – 1. – С. 329 – 334
5. Заика, В. Е. «Размеры гребневика плевробрахии в Чёрном море соответствуют виду *Pleurobrachia pileus* (OF Muller, 1776).» // Морской экологический журнал. – 2012. – 11.3. – С. 53–55
6. Chun K. Die im Golf von Neapel erscheinenden Rippenquallen. – 1879 – P. 180–217.
7. Katoh R., Standley D.M., MAFFT Multiple Sequence Alignment Software Version 7: Improvements in Performance and Usability // Molecular Biology and Evolution. – 2013. – Volume 30, Issue 4. – P. 772–780
8. Trifinopoulos J, Nguyen L.-T., Haeseler A., Minh B.Q. W-IQ-TREE: a fast online phylogenetic tool for maximum likelihood analysis // Nucleic Acids Research. – 2016. – Volume 44, Issue W1. – P. W232–W235

УДК 595.315.3:591.461.1

Рубрика 34.33.15

ЭКСКРЕТОРНАЯ СИСТЕМА МОРСКОГО ПАУКА AMMOTHEA HILGENDORFI (BÖHM, 1879) (PUSNOGONIDA: AMMOTHEIDAE)

EXCRETORY SYSTEM OF THE SEA SPIDER AMMOTHEA HILGENDORFI (BÖHM, 1879) (PUSNOGONIDA: AMMOTHEIDAE)

**Богомолова Екатерина Валериевна, Петрова Мария Алексеевна**

*МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва*

**Bogomolova Ekaterina Valerievna, Petrova Maria Alekseevna**

*Lomonosov MSU, Moscow*

### **Введение**

Русногониды (морские пауки) – небольшая (около 1400 видов) группа хелицерных, возникшая, предположительно, в кембрии. Пикногониды встречаются только в исходной для них морской среде. Анатомия и биология этих животных до сих пор изучены недостаточно полно; в частности, в учебниках указывают на отсутствие у морских пауков специализированных органов осморегуляции и экскреции [к примеру, сводка Arnaud, Vamber, 1988]. В остальных крупных кладах членистоногих хотя бы некоторые представители имеют нефридии с ультрафильтрационными мешочками – саккулусами, обозначаемые различными терминами, например «коккальные органы», так как их поры открываются у основания конечностей [Mayer, 2006; Koch et al., 2014]. Впервые о существовании подобных органов у пикногонид стало известно в 2003 г. [Ruppert, Fox, Barnes, 2004], а их описание опубликовано только в 2007 г. [Fahrenbach, Arango, 2007]. Подобно дивертикулам кишечника и гонад, нефридии морских пауков локализируются в конечностях, а не в туловище, что, по-видимому, обусловлено его небольшим объемом. Первым видом морских пауков, у которого обнаружены нефридии, стал *Nymphopsis spinosissimum* (Hall, 1912) (Ammonotheidae). Позднее выяснилось, что этот случай далеко не единственный; все остальные, известные к данному моменту, выявлены нами либо с нашим участием (табл. 1). У *N. serratum* G. O. Sars, 1879 и *P. femoratum* помимо дефинитивных нефридиев (свойственных взрослым особям) удалось найти также ларвальные, и у *P. femoratum* прослежено развитие нефридиев в онтогенезе [Богомолова, Петрова, 2022]. Мы продолжаем изучение экскреторной системы у представителей различных субтаксонов Русногониды и в данной работе описываем дефинитивные и ларвальные нефридии *Ammonothea hilgendorfi* (Böhm, 1879) – это второй (после *N. spinosissimum*) пример для сем. Ammonotheidae.

### **Материал и методы**

Взрослые животные были собраны дайверами в конце августа 2022 г. в Японском море у о. Карамзина в зал. Петра Великого (42°50'43.9"N 131°41'22.8"E), бухте Новик у о. Русский (N43°03.375' E131°50.186') в обрастаниях с преобладанием гидроидов на глубинах 4-14 м на субстратах антропогенного происхождения. Живых пикногонид транспортировали в Москву, где содержали в искусственной морской воде. В нашем распоряжении было пять экземпляров, из них один самец с кладками, из которых удалось получить личинок первой

стадии – протонимфонов. Животных фиксировали 2,5% глутаровым альдегидом на 0,1M какодилатном буфере с морской водой (1:1) с постфиксацией в 1%OsO<sub>4</sub> для изучения внешней морфологии (СЭМ), микроскопической анатомии и ультраструктуры (серийные полутонкие и ультратонкие срезы, световая микроскопия, ТЭМ).

## Результаты

### 1. Дефинитивные нефридии

Нефридии взрослых особей находятся в 4-м, самом длинном, членике пальпы (рис. 1А). Нефридий состоит из саккулуса, реабсорбционного канала и экскреторного протока.

Саккулус – уплощенный мешочек, на поперечном срезе пальпы в очертании гантелеобразный, полость узкая, две противоположащие стенки соприкасаются друг с другом в центре (рис. 1В). Саккулус зафиксирован в полости тела посредством коротких клеточных подвесок, расположенных относительно симметрично. Их число на срезе от шести в самой широкой части саккулуса (рис. 1В) до четырех и затем двух на концах. Между точками прикрепления стенка саккулуса вогнута. Горизонтальная септа как обособленная структура на уровне саккулуса не выражена. Стенка саккулуса сложена подоцитами и слоем внеклеточного матрикса (ВКМ), который одевает саккулус со стороны гемоцеля (рис. 1Г). ВКМ толщиной около 0,1-0,2 мкм, со стороны гемоцеля имеются характерные уплотненные фрагменты толщиной до 0,4-0,5 мкм (рис. 1Г–Д). Тела подоцитов равномерно распределены по всей площади стенок саккулуса (рис. 1В) и располагаются без заметных промежутков; наличие межклеточных контактов нуждается в подтверждении. Ядра подоцитов могут быть неправильной формы (рис. 1Д). Многочисленные крупные вакуоли с содержимым разнообразной структуры занимают значительную часть объема тел подоцитов, остальная цитоплазма содержит большое количество мелких везикул (рис. 1Г). Каждый подоцит контактирует с ВКМ несколькими крупными ножками, которые могут перекрываться друг с другом и с ножками соседних подоцитов; между ножками в один слой располагаются их вторичные мелкие отростки (педицеллы), прилегающие непосредственно к ВКМ (рис. 1Г–Д). Промежутки между педицеллами перекрыты тонкими перемычками – это ультрафильтрационные диафрагмы (рис. 1Д).

Клетки-подвески (рис. 1Е) являются специализированными эпидермальными клетками, которые базальной поверхностью прикреплены к кутикуле, а апикальной – к стенке саккулуса, с которой образуют специализированную «пилообразную» зону контакта, подобную контактам мускульных и «сухожильных» клеток. От зоны контакта тянутся цитоскелетные филаменты, ориентированные апикобазально (рис. 1Е).

Реабсорбционный канал широкий и короткий, на поперечном срезе полукруглый, берёт начало от одной из боковых стенок саккулуса и проходит в узком пространстве между саккулусом и стенкой тела, прилегая к ним. Стенка реабсорбционного канала сложена однослойным эпителием, также одетым со стороны гемоцеля ВКМ толщиной 0,1-0,15 мкм, который соприкасается с одной стороны с ВКМ саккулуса, а с другой – с ВКМ, подстилающим эпидермис (рис. 1Ж). Клетки канала широкие, их латеральные границы на срезе извилистые, с широкими и глубокими складками, образующими интердигитации; помимо этого, имеются апикальные контакты (рис. 1Ж). Ядра клеток эпителия канала крупные, лопастные (рис. 1Ж). Апикальная поверхность клеток несёт кайму из микроворсинок длиной около 2 мкм, на базальной стороне имеются немногочисленные впячивания (рис. 1Ж). В апикальной зоне присутствуют мелкие везикулы, в перинуклеарной и базальной – более крупные вакуоли; митохондрии распределены равномерно (рис. 1Ж). Канал открывается через короткий проток экскреторной порой размером около 2,5 мкм на внешней латеральной поверхности 4-го членика пальпы (рис. 1А–Б).



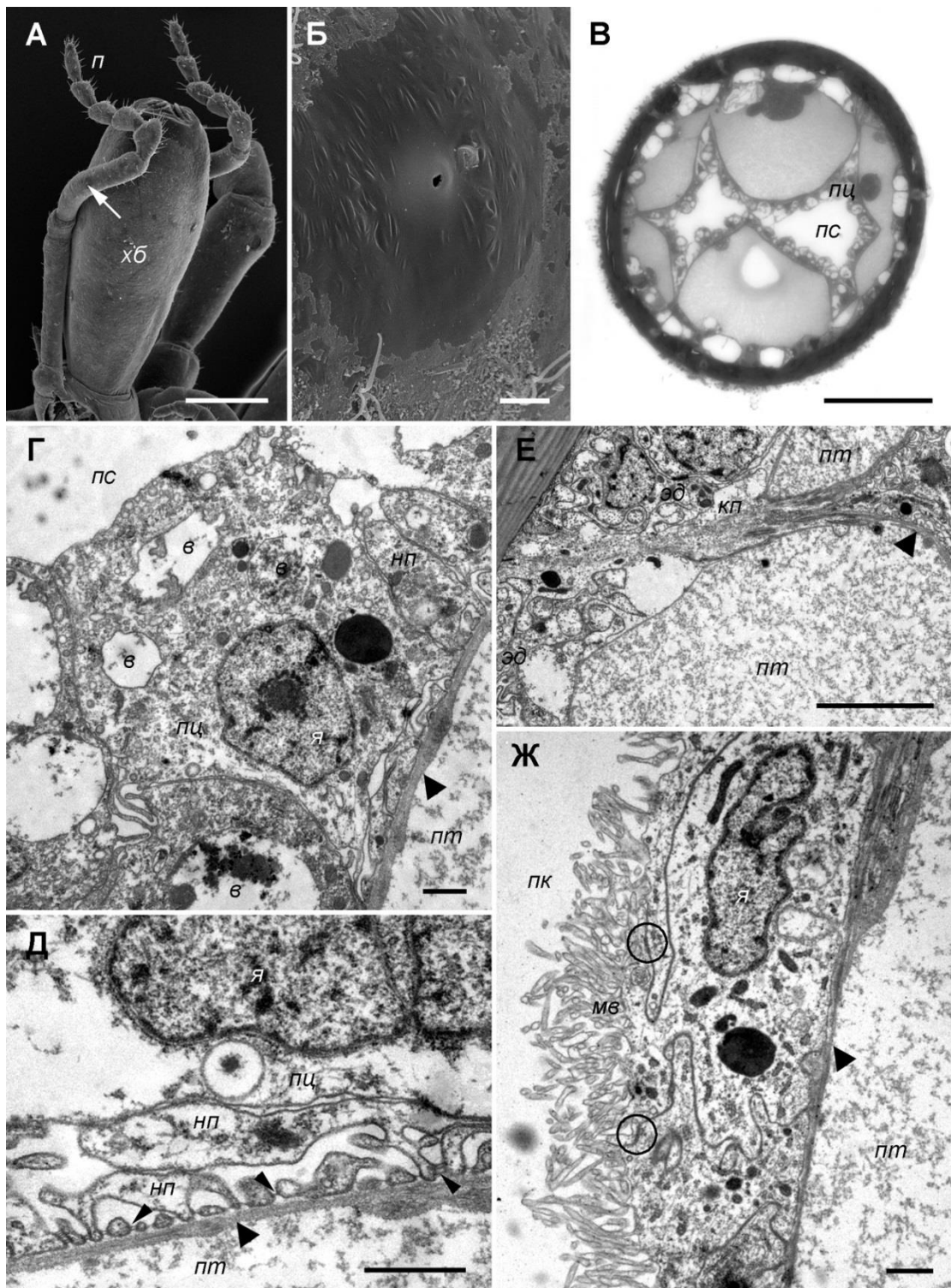


Рис 1. Дефинитивные нефридии *Ammothera hilgendorfi*. А–Б – СЭМ, В – полутонкий срез, окрашенный метиленовым синим, Г–Ж – ТЭМ. А – хобот и пальпы взрослой самки, стрелкой указано положение экскреторной поры; Б – экскреторная пора; В – поперечный срез пальпы на уровне саккулуса; Г – подоциты; Д – базальная зона стенки саккулуса; Е – контакт стенки саккулуса с эпидермисом; Ж – стенка реабсорбционного канала, окружностями обведены апикальные межклеточные контакты. Обозначения: в – вакуоли; кп – клетка-подвеска; мв – микроворсинки; нп – ножки подоцитов; пк – полость канала; пс – полость саккулуса; пт – полость тела; пц – тела подоцитов; хб – хоботок; эд – эпидермис; эн – экскреторная пора, я – ядро. Наконечники стрелок указывают: широкие – ВКМ, узкие – фильтрационные диафрагмы. Масштаб (мкм): А – 500; Б – 10; В – 50; Г–Д, Ж – 1; Е – 5.

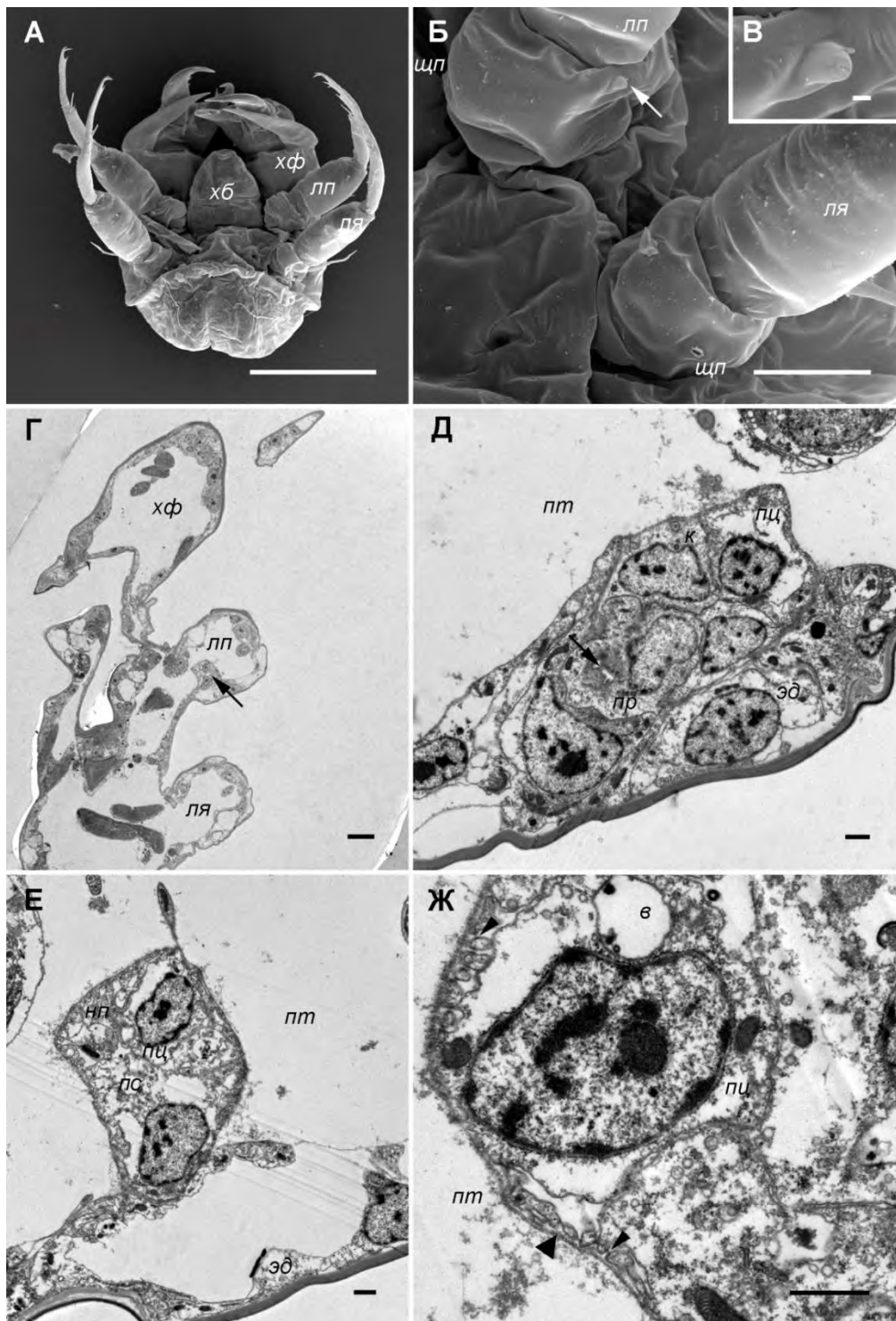


Рис.2 Нефрии личинки-протонимфона *Ammothera hilgendorfi*. А–В – СЭМ, Г–Ж – ТЭМ.

А – личинка, вид с брюшной стороны; Б – основания личиночных пальп и яйценосных ножек, стрелкой указана экскреторная пора; В – экскреторная пора; Г – парасагитальный срез протонимфона на уровне оснований конечностей; Д – косой срез ларвального нефридия, видны три зоны, стрелка указывает на просвет экскреторного протока; (Е) – саккулус на срезе, видны два подоцита; (Ж) – стенка саккулуса. Обозначения: в – вакуоли; к – переходная зона; лп – личиночные пальпы; ля – личиночные яйценосные ножки; нп – ножки подоцитов; пс – клетка, формирующая проток; пс – полость саккулуса; пт – полость тела; пц – тела подоцитов; хб – хоботок; хф – хелифоры; щп – щелевидные поры эпидермальных желез; эд – эпидермис; я – ядро. Наконечники стрелок указывают: широкие – ВКМ, узкие – фильтрационные диафрагмы. Масштаб (мкм): А – 100; Б – 20; В, Д–Ж – 1; Г – 10.



## 2. Ларвальные нефридии

Протонимфон – первая постэмбриональная стадия, длина туловища около 130-140 мкм (рис. 2А). Протонимфоны покидают вынашиваемые самцами кладки; на последующих стадиях личинки паразитируют в гидроидных полипах [Russel, Hedgpeth, 1990]. Первая пара конечностей – личиночные хелифоры с прядильным аппаратом, вторая и третья – личиночные пальпы (ЛП) и личиночные яйценозные ножки (ЛЯ). ЛП и ЛЯ – провизорные локомоторные конечности, однотипные по строению, состоящие из трёх члеников. Первый и второй членики несут типичные для пикногонид щелевидные поры эпидермальных желез (рис. 2Б). На заднем дистальном крае базального членика ЛП, но не ЛЯ, имеется бугорок с терминальной порой (рис. 2Б-В). Изучение серии ультратонких срезов подтвердило, что эта пора является наружным отверстием протока ларвального нефридия, который располагается в базальном членике ЛП (рис. 2Г). Нефридий имеет размер приблизительно 10×15 мкм и состоит всего из нескольких клеток, тем не менее, можно выделить ультрафильтрационную зону (саккулус), переходную («канал») и проток (рис. 2Д), который и завершается порой.

Саккулус на срезе ромбовидный, двумя узкими краями прикреплён к эпидермису ножки (рис. 2Е). Он состоит из двух, возможно трёх, подоцитов, снаружи одет слоем ВКМ 50-110 нм толщиной. Полость саккулуса практически не выражена: занята телами подоцитов (рис. 2Е). Педицеллы связаны друг с другом фильтрационными диафрагмами (рис. 2Ж). Две-три клетки, у которых ножки и педицеллы не выявляются, составляют «переходную зону», и ещё одна клетка в форме муфты, интегрированная в эпидермис, образует проток, выстланный кутикулой (рис. 2Д).

### Обсуждение

#### Строение и функции дефинитивных и ларвальных нефридиев.

Дефинитивный нефридий *A. hilgendorfi* по общей организации и ультраструктуре сходен с экскреторными органами, обнаруженными к настоящему времени у других пикногонид. Из всех известных нам примеров только нефридии *P. femoratum* отличаются от остальных неравномерным распределением подоцитов по площади стенки саккулуса. Ультраструктурная организация стенки саккулуса характеризует её как вероятный сайт ультрафильтрации [Ruppert, Smith, 1988], которая должна осуществляться в направлении из гемоцеля в полость саккулуса через слой ВКМ и щелевые диафрагмы. Косвенным подтверждением является то, что содержимое в полости саккулуса и канала более прозрачно по сравнению с содержимым гемоцеля (рис. 1В, Д, Ж). Подоциты, судя по богато развитому вакуолярному аппарату, могут принимать участие в модификации фильтрата, как и клетки канала, стенка которого обладает некоторыми признаками, обычными для транспортного эпителия, поэтому мы называем канал реабсорбционным.

Ларвальные нефридии, несмотря на миниатюрность, имеют типичную зону ультрафильтрации и проток, открытый во внешнюю среду; следовательно, можно предположить, что и у личинки эти органы функциональны. Это согласуется с тем, что протонимфоны *A. hilgendorfi* ведут самостоятельное существование во внешней среде. У *P. femoratum* личинки также на протяжении нескольких стадий паразитируют в гастральной полости гидроидных полипов. У протонимфона – расселительной стадии *P. femoratum* – имеются ларвальные нефридии в базальных члениках ЛП, судя по структуре – функционирующие. В период паразитического существования ЛП испытывают деградацию, и нефридии вместе с ними, хотя и не исчезают полностью. К моменту выхода из хозяина начинают развиваться уже дефинитивные нефридии [Богомолова, Петрова, 2022]. Наличие функциональных нефридиев у свободноживущих стадий и редукция у эндопаразитических является косвенным аргументом в пользу участия этих органов в осморегуляции, так как

осмотические параметры среды в теле хозяина могут регулироваться им хотя бы отчасти. Судьба ларвальных нефридиев *A. hilgendorfi* в онтогенезе подлежит дальнейшему изучению.

### Экскреторная система *A. hilgendorfi* в сравнении с другими членистоногими.

Нефридии к настоящему времени найдены у представителей четырёх семейств пикногонид (табл.1). Они всегда располагаются в конечностях цефалосомы – слитного переднего отдела тела, несущего хелифоры, пальпы, яйценозные ножки и первую пару ходильных ног. Локализацию нефридиев именно в передних конечностях можно связать с более благоприятными условиями для пассивного процесса ультрафильтрации: гемолимфа нагнетается в переднюю часть цефалосомы непосредственно из сердца, что позволяет поддерживать в этой области более высокое и стабильное давление [Alexeeva et al., in prep.]. У представителей разных семейств сегментарное положение нефридиев всё-таки различается (табл. 1), что можно интерпретировать как результат независимой олигомеризации исходно метамерной экскреторной системы. Наличие множественных пар нефридиев, по-видимому, плезиоморфно и выявляется у других хелицероных: у мечехвостов шесть пар саккулусов в эмбриональном состоянии и четыре пары в дефинитивном, а коксальные железы пауков в онтогенезе берут начало от метамерных мезодермальных зачатков. Ультрафильтрационные органы хелицероных, если имеются, находятся в сегментах просомы [Mayer, 2006; Koch et al., 2014]. У других членистоногих во взрослом состоянии нефридии находятся, как и у пикногонид, в передней тагме и, как правило, сохраняются в одном, реже в двух сегментах [Mayer, 2006; Koch et al., 2014]. Вероятно, предковые формы пикногонид тоже имели несколько пар нефридиев – по меньшей мере, в трёх передних постокулярных сегментах цефалосомы. Пока не известны морские пауки, имеющие более одной пары дефинитивных нефридиев одновременно. Косвенным подтверждением исходной метамерности служит обнаружение ларвальных нефридиев в ЛП протонимфона *N. serratum* и транзиторно существующих нефридиев в формирующихся дефинитивных пальпах *N. brevirostre* – в конечностях второй пары, а не третьей, в отличие от дефинитивных нефридиев. Таким образом, потенциал к формированию нефридиев реализуется у Nymphonidae в двух сегментах цефалосомы, но на разных этапах онтогенеза.

Таблица 1. Локализация экскреторных органов (нефридиев) у морских пауков.  
Л – ларвальные, Т – транзиторные, Д – дефинитивные нефридии.

Конечности цефалосомы  Таксоны		I, хелифоры	II, пальпы	III, яйценозные ножки	Источники
Ammonotheidae	<i>Ammothea hilgendorfi</i>	–	Л, Д	–	ориг. данные
	<i>Nymphopsis spinosissimum</i>	Д	–	–	Fahrenbach, Arango, 2007
Phoxichilidiidae: <i>Phoxichilidium femoratum</i>		–	Л, Д	–	Богомоллова, Петрова, 2022
Nymphonidae: <i>Nymphon</i> spp., <i>Pentanyphon antarcticum</i>		–	Л (только <i>N. serratum</i> ) Т (только <i>N. brevirostre</i> )	Д	Alexeeva et al., in prep.

Callipallenidae: <i>Pseudopallene spinipes</i>	–	–	Д	ориг. данные
---	---	---	---	--------------

*A. hilgendorfi* – третий вид морских пауков, у которого выявлены ларвальные нефридии. Во всех трёх случаях они локализируются в ЛП (табл. 1). В хелифорах личинок всегда развита мускулатура, а у многих видов ещё и крупные прядильные железы – по-видимому, это препятствовало бы функционированию нефридиев. Интересно, что у *A. hilgendorfi* и *P. femoratum* ларвальные нефридии находятся в конечностях того же сегмента, что и у взрослых особей, а у *N. serratum* – другого. ЛП и ЛЯ в ходе постэмбрионального развития подвергаются радикальной редукции для последующего формирования дефинитивных пальцев и яйценосных ножек, отличных по строению и функциям как друг от друга, так и от личиночных ножек. Именно метаморфоз делает возможной локализацию ларвальных и дефинитивных нефридиев в различных сегментах.

Сохранение функциональных нефридиев в конечностях тех или иных конкретных сегментов, на первый взгляд, должно объясняться различной судьбой конечностей цефалосомы в ходе дивергенции пикногонид. Конечности трёх передних пар могут быть в различной степени редуцированы, степень редукции коррелирует с их ролью в процессах питания и репродукции. Так, Nymphonidae и Callipallenidae являются сестринскими кладами [Ballesteros et al., 2021], и у тех и других нефридии найдены в яйценосных ножках. У *P. spinipes* (Callipallenidae) пальпы редуцированы, а у Nymphonidae они хотя и имеются, но невелики – этим можно объяснить, что нефридии в пальпах, если и закладываются у личинок или ювенилей, то у взрослых особей уже не обнаруживаются. Отсутствие нефридиев в хелифорах можно связать с мощным развитием мускулатуры, так как и у *P. spinipes*, и у Nymphonidae хелифоры развиты полноценно и участвуют в манипуляциях с пищевыми объектами. Однако связь между степенью редукции конечностей и локализацией нефридиев в той или иной из них далеко не однозначна. У *P. femoratum* (Phoxichilidiidae) нефридии находятся именно в рудиментарных конечностях – пальпах, а не в хорошо развитых хелифорах и не в яйценосных ножках, так как последние имеются только у самцов [Богомолова, Петрова, 2022].

Результаты данной работы показали, что у представителей разных родов Ammotheidae нефридии локализованы в различных парах конечностей: в хелифорах у *N. spinosissimum* и в пальпах у *A. hilgendorfi* (табл. 1). У *Nymphopsis* хелифоры достаточно крупные, но не участвуют в питании, клешни редуцированы – таким образом, мускулатура, по-видимому, не препятствует размещению и функционированию нефридиев. У *A. hilgendorfi* хелифоры редуцированы сильнее, до состояния несегментированных бугорков, а пальпы являются достаточно крупными и имеются у особей обоих полов, чем и можно объяснить локализацию нефридиев именно в них (яйценосные ножки у аммотеид развиты неодинаково у самцов и самок [Sabroux et al., 2023]). Отсутствие единообразия в сегментарной локализации нефридиев у Ammotheidae, во-первых, согласуется со значительной морфологической гетерогенностью этой обширной группы, хотя её предполагаемая полифилия и не подтверждается [Sabroux et al., 2017; Ballesteros et al., 2021; Sabroux et al., 2023]; *Nymphopsis* и *Ammothea* принадлежат к разным клатам в пределах Ammotheidae [Sabroux et al., 2023]. Во-вторых, локализация нефридиев в двух разных сегментах у представителей Ammotheidae дополнительно свидетельствует в пользу исходно метамерной организации экскреторной системы пикногонид.

### Благодарности

Авторы благодарят Д.Ю. Гришину и И.А. Екимову за предоставление живого материала.

## Финансирование

Исследование выполнено в рамках научного проекта государственного задания МГУ №121032300121-0.

## Список литературы

1. Богомолова Е.В., Петрова М.А. Экскреторная система морского паука *Phoxichilidium femoratum* (Rathke, 1799) (Pycnogonida) // Труды XI Международной научно-практической конференции «Морские исследования и образование (MARESEDU)-2022» Том III (IV): [сборник]. Тверь: ООО «ПолиПРЕСС», – 2022. – 2022, 429 с.: ISBN 978-5-6049290-2-5. С. 19–23.
2. Alexeeva N., Bogomolova E., Petrova M., Tamberg Y. Coxal glands of sea spiders (Pycnogonida, Nymphonidae) [in preparation].
3. Arnaud F., Bamber R. N. The biology of Pycnogonida // Adv. Mar. Biol. – 1988. – Vol. 24. P. 1–96.
4. Ballesteros J.A., Setton E.V.W., Santibáñez-López C.E., Arango C.P., Brenneis G., Brix S., Corbett K.F., Cano-Sánchez E., Dandouch M., Dilly G.F., Eleaume M.P., Gainett G., Gallut C., McAtee S., McIntyre L., Moran A.L., Moran R., López- González P.J., Scholtz G., Williamson C., Woods H.A., Zehms J.T., Wheeler W.C., Sharma P.P. Phylogenomic resolution of sea spider diversification through integration of multiple data classes // Mol. Biol. Evol. – 2021. – Vol. 38. – P. 686–701.
5. Fahrenbach W. H., Arango C. P. Microscopic anatomy of Pycnogonida: II. Digestive system. III. Excretory system // J. Morphol. – 2007. – Vol. 268, No. 11. – P. 917–935.
6. Koch M., Quast B., Bartolomaeus T. Coeloms and nephridia in annelids and arthropods / Wägele J.W., Bartolomaeus T. (eds.) Deep Metazoan Phylogeny: The Backbone of the Tree of Life. Berlin: Walter De Gruyter – 2014. – 736 p.
7. Mayer G. Origin and differentiation of nephridia in the Onychophora provide no support for the Articulata // Zoomorphology. – 2006. – Vol. 125, No. 1. – P. 1–12.
8. Ruppert E. E., Smith P. R. The functional organization of filtration nephridia // Biol. Rev. – 1988. – Vol.63, No. 2. – P. 231–258.
9. Ruppert E.E., Fox R.S., Barnes R.D. Invertebrate Zoology. A functional evolutionary approach. 7th Ed. – 2004. Brooks/Cole, Thomson Learning learning, Inc. – 990 p.
10. Russel D.J., Hedgpeth J.W. Host utilization during ontogeny by two pycnogonid species (*Tanystylum duospinum* and *Ammothella hilgendorfi*) parasitic on the hydroid *Eucopeella everta* (Coelenterata: Campanulariidae) // Bijdragen tot de Dierkunde. – 1990. – Vol.60, No. 3–4. P. 215–224.
11. Sabroux R., Corbari L., Hassanin A. Phylogeny of sea spiders (Arthropoda: Pycnogonida) inferred from mitochondrial genome and 18S ribosomal RNA gene sequences // Mol. Phylogenet. Evol. – 2023. – Vol.182. – 107726.
12. Sabroux R., Corbari L., Krapp F., Bonillo C., Le Prieur S., Hassanin A. Biodiversity and phylogeny of Ammotheidae (Arthropoda: Pycnogonida) // Eur. J. Taxon. – 2017. – Vol. 286 – P. 1–33.



УДК 565.2.074.6

Рубрика 38.31.15

ОПТИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ОСТРАКОД – КЛЮЧ К ОЦЕНКЕ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ И АБСОЛЮТНОЙ ПАЛЕОГЛУБИНЫ (КАЛИБРОВКА МЕТОДА)

OSTRACOD OPTICAL POSSIBILITIES ARE THE KEY TO RELATIVE AND ABSOLUTE PALEODEPTH EVALUATION (METHOD CALIBRATION)

**Тесакова Екатерина Михайловна**<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> *Геологический ф-т МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва*

<sup>2</sup> *ГИН РАН, Москва*

**Tesakova Ekaterina Mikhailovna**<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> *Geological Faculty MSU M.V. Lomonosov, Moscow*

<sup>2</sup> *Geological Institute RAS, Moscow*

## **Введение**

Остракоды, как и другие ракообразные – зрячие, но лишь в некоторых семействах бентосных Podocorida над боковыми глазками на раковинах формируются кальцитовые кутикулярные линзы, аккумулирующие свет и улучшающие зрение (Tanaka, 2005, 2006). Видящие остракоды распространены в фотической зоне в широком диапазоне глубин, и разные по морфологии глаза приспособлены к восприятию сильного или слабого света (Puckett, 1991; Tanaka, 2006; Tanaka et al., 2009). В зависимости от освещенности дна, их выпуклость варьирует от минимальной (такая структура называется глазным пятном (ГП)) до шарообразного глазного бугорка (ГБ), иногда приподнятого на тубусе (Николаева, 1989). ГП имеют короткое фокусное расстояние, что позволяет различать контуры предметов при высокой светосиле, а ГБ с длинным фокальным расстоянием (наличие тубусов увеличивает его ещё больше) способны определять источник света при низкой светосиле и различную освещенность предметов, но не их контуры (Tanaka, 2006). Диаметр и кривизна кутикулярной линзы в основном зависят от освещенности дна, связанной с глубиной, но также от наличия и амплитуды скульптуры на створке – крупные выросты и гребни, окружающие оптическую структуру, снижают количество попадающего на нее света (Tanaka, 2006). Наиболее чувствительным к светосиле параметром является диаметр глаза (Tanaka et al., 2009), измеряя который можно реконструировать палеоглубину независимо от систематической принадлежности остракод и их геологического возраста (Рис. 1А, Б) (Bonaduce, Danielopol, 1988; Kontrovitz, Myers, 1988; Puckett, 1991; Tanaka, 2006; Tanaka et al., 2009; Tian et al., 2022).

Компьютерное моделирование и морфопространственный анализ позволили Г. Танаке выделить четыре типа глаз по адаптации к легкой (light – LG1, LG2), средней (medium – MG) и сильной (high – HG) затемненности (Рис. 1Б) (Tanaka, 2006). Светолюбивые рачки верхней сублиторали имеют самые крупные и почти плоские ГП (LG-1 и LG-2). На слабо освещенной нижней сублиторали преобладают крупные, сильно выпуклые и полусферические ГБ (MG). В наиболее сумеречных местах как, например, дистальный и/или эвтрофный шельф, отмечаются маленькие, почти шарообразные ГБ, иногда приподнятые на тубусе (HG). Изучение современных подокопид с LG-1 и LG-2 из Японского моря показало увеличение

относительного размера кутикулярной линзы с глубиной до 50–60 м, затем его быстрое уменьшение до рубежа 100-120 м и спорадическую встречаемость остракод с маленькими ГП

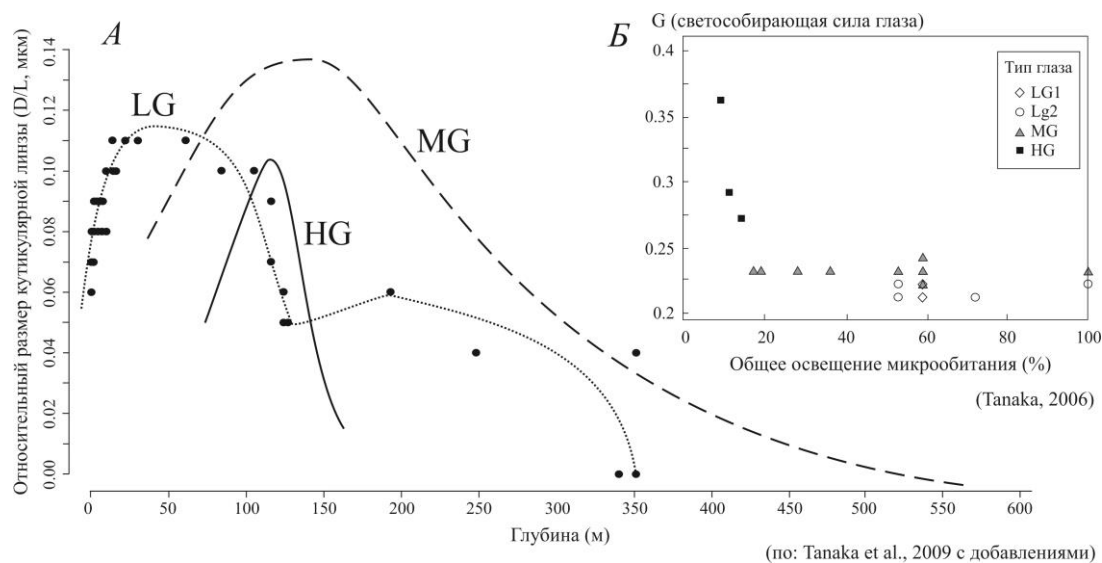


Рис. 1. Батиметрическое распределение остракод с разными типами глаз: (А) по актуалистическим данным из Японского моря (крупные точки, образующие график LG/точечная линия, приводится по: Tanaka et al., 2009) с добавлениями (графики MG/пунктир и HG/сплошная линия предполагаются автором статьи по литературным данным: Venson, 1984; Николаева, 1989; Tanaka, 2006; Karpuk, 2021); (Б) по экспериментальным данным, показавшим связь между типами глаз остракод и микрообитаниями с разной освещенностью (Tanaka, 2006).

до глубины 350 м (Tanaka et al., 2009) (Рис. 1А). Редкие находки створок с ГП на континентальном склоне объясняется либо посмертным перемещением (Puckett, 1991), либо – если это раковины достоверно живых особей – освоением новой, необычной для таксона глубоководной ниши с утратой зрения, а ГП являются бесполезными рудиментами (Hunt, 2007; Whatley et al., 1986).

Другими словами, остракоды с крупной кутикулярной линзой собирают больше света на мелководье, в то время как меньшие глаза более полезны для фоторецепции с уменьшением числа фотонов, проникающих ниже 60 м (Puckett, 1991; Tanaka et al., 2009). Глубоководные остракоды (особенно >1 км) в основном слепы и не имеют кутикулярной линзы (Venson, 1984; Kontrovitz, Myers, 1988; Puckett, 1991; Tanaka et al., 2009).

Используя референсную кривую Танаки (Рис. 1А), в заливе Солсбери (США) было установлено стремительное обмеление примерно на 40 м во время палеоцен-эоценового термального максимума, где начальное и финальное положение уровня моря составило по остракодам ≈ 150 – 110 м (Tian et al., 2022).

На основе формулы, рассчитанной М. Контровичем и Дж. Мьерсом (Kontrovitz, Myers, 1988), М. Пакетт определил глубину образования мергеля и писчего мела из позднемеловой формации Демополис (США) в 35 м для первого и 65-90 м для второго (Puckett, 1991).

Других исследований по оценке абсолютной палеоглубины с измерением диаметра глаз остракод, до настоящей работы, сделано не было. Но известны реконструкции относительной палеоглубины по ГБ остракод, выполненные отечественными учеными (Николаева, 1989, 2018; Karpuk, 2021; Тесакова, 2023а, б).

Относительная глубина Крымского моря в палеогене (Николаева, 1989, 2018) и позднем мелу (Тесакова, 2023а) могла быть реконструирована только по остракодам с НГ. Другие рачки в таких комплексах были изначально или вторично слепыми из-за крайне низкой освещенности в мутном эвтрофном бассейне с перемежающейся дизоксией в осадке. Последнее читалось по периодическому возрастанию *Cytherella*-сигнала с одновременным уменьшением доли мелкогабаритных остракод, часть которых – зарывающиеся (Тесакова, 2023а). И.А. Николаева и Е.М. Тесакова полагали, что число особей с НГ, как и его диаметр, возрастали при обмелении (Николаева, 1989, 2018; Тесакова, 2023а).

Палеобатиметрические кривые для нижнемеловых разрезов Ц. Крыма основывались на вариации в комплексах с нижней сублиторали доли остракод с МГ. Глубины ниже волнового воздействия определялись как по литологии, так по морфофункциональным особенностям и систематическому составу остракод. Увеличение числа особей с МГ понималось М.С. Карпук как углубление на внешнем шельфе (Карпук, 2021).

Реконструкция относительной глубины Среднерусского моря в средней – поздней юре по остракодам из среднего келловея – нижнего оксфорда разреза Михайловцемент (Рязанская обл.) производилась трижды. Сначала выполнялась комплексом методов остракодового анализа по соотношению: а) размерных кластеров, б) видов-индексов разных палеообстановок, в) разнообразия/численности, по выявлению в разрезе видов-космополитов и миграционных событий. Было показано, что породы среднего и верхнего келловея накапливались на верхней сублиторали, а нижнего оксфорда – на нижней (Тесакова, Shurupova, 2018). Позже палеособытия реконструировались петромагнитным и литологическим методами, и новые результаты показали высокую сходимость с предыдущими данными (Степанов и др., 2019; Рис. 2А).

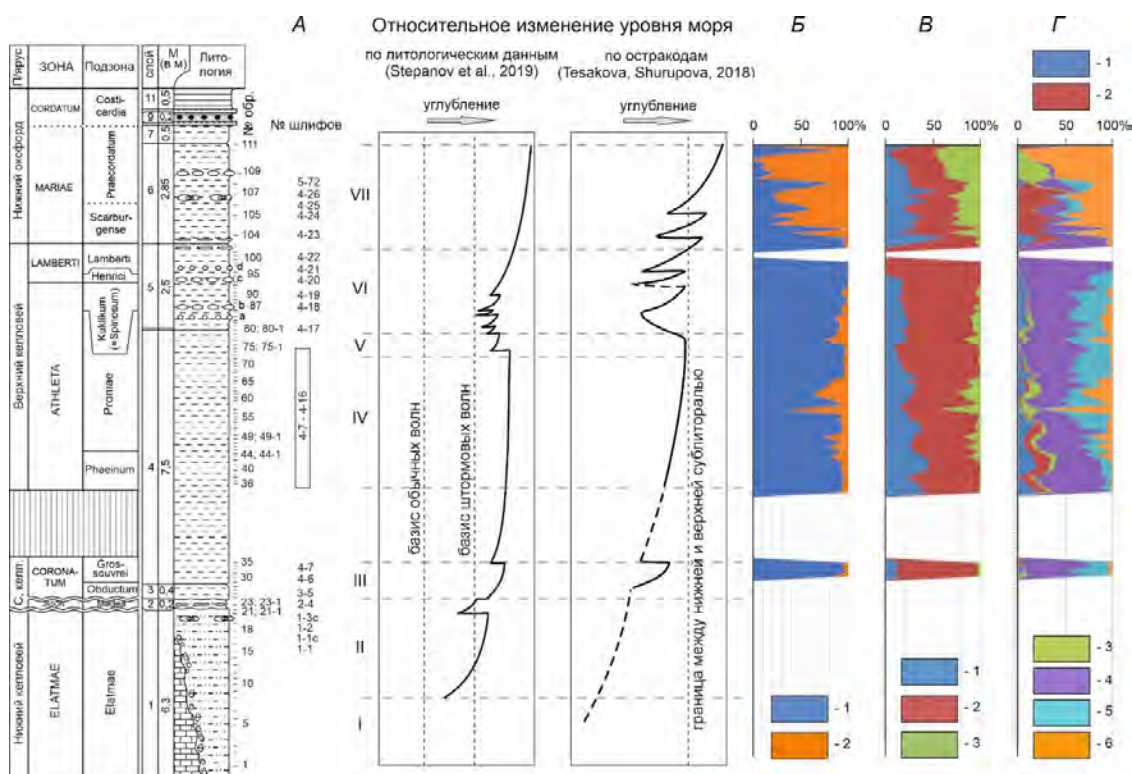


Рис. 2. Распределение слепых и зрячих остракод по разрезу Михайловцемент (Рязанская обл.). (А) Реконструкция Т/Р событий в келлоеве и нижнем оксфорде по петромагнитным и литологическим данным и по остракодам (римскими цифрами обозначены интервалы с различными петромагнитными характеристиками) (Степанов и др., 2019). (Б) Соотношение крупного размерного кластера (1), преобладающего на верхней сублиторали – роды

*Cytherella, Bythoceratina, Patellacythere, Schuleridea, Galliaecytheridea, Pseudoperissocytheridea, Camptocythere, Lophocythere, Neurocythere, Platylphocythere, Sabacythere, Fastigatocythere, Fuhrbergiella* и *Palaeocytheridea* (Табл. I) и мелкого размерного кластера (2), предпочитающего нижнюю сублитораль – роды *Pontocyprilla, Paracypris?*, *Aaleniella, Rubracea, Cytheropteron, Procytherura, Eucytherura, Pedicythere, Tethysia, Ektyphocythere, Balowella, Exophthalmocythere*. (B) Соотношение остракод без ГП (1), с ГП (2) и с ГБ (3) (Табл. I). (Г) Соотношение мелководных *Schuleridea* (1), глубоководных *Fuhrbergiella* с НГ (2), глубоководных и слепых/вторично слепых из мелкого размерного кластера *Tethysia, Pedicythere*, некоторые *Eucytherura* (3), *Neurocythere* и *Fastigatocythere* с LG-1 (4), *Lophocythere* с LG-2 (5), *Eucytherura* с MG (6) (Табл. I).

Анализ нового, более детального, материала из р. Михайловцемент методом размерных кластеров (Рис. 2Б) не только подтвердил предыдущую батиметрическую кривую по остракодам (Рис. 2А), но позволил детализировать ее в интервале аммонитовой зоны *Athleta* (Тесакова, 2023б). Обобщенный анализ распространения по разрезу слепых и зрячих остракод (Рис. 1Б) выявил ожидаемую связь с глубиной: ее увеличение сопровождалось уменьшением экземпляров с LG-1 и увеличением таковых с MG. Наиболее мутные эвтрофные эпизоды подчеркивались появлением остракод с НГ и увеличением доли вторично слепых *Lophocythere*, у которых ГП типа LG-2 орнаментированы выростами и гребнями (Табл. I), что, предположительно, свидетельствует об утрате зрения. Гипотеза о вторичной слепоте лофоцитер получила косвенное подтверждение путем сравнения их встречаемости с заведомо мелководными и глубоководными таксонами (Рис. 2Г).

Задача настоящей работы – проверить возможности юрских остракод для реконструкции абсолютной глубины с использованием референсной кривой Танаки на примере хорошо изученного разреза Михайловцемент.

## Материал и методы

Материалом послужили зрячие остракоды родов *Neurocythere* (LG-1), *Fuhrbergiella* (НГ), *Eucytherura* и *Procytherura* (MG) (Табл. I) с 30 стратиграфических уровней разреза, отобранных М.А. Роговым (ГИН РАН) в 2005 г (Рис. 3А). Диаметр глаза и длина раковины (в мкм) измерялись в программе ImageJ по фотографиям, сделанным на сканирующих микроскопах Tescan Vega-2 и Vega-3 в кабинете приборной аналитики ПИН РАН. С кривой Танаки сопоставлялись относительные размеры кутикулярных линз (отношение диаметра глаза к длине раковины), поэтому измерениям подлежали только половозрелые экземпляры. В анализ не вошли обломанные экземпляры (с неполной длиной) и экземпляры, сфотографированные под углом (с неполным диаметром глаза).

## Результаты

Относительные размеры кутикулярных линз заведомо мелководных остракод рода *Neurocythere* (их обитание на смешанных песчано-илистых или песчаных грунтах верхней сублиторали определяется по ребристо-сетчатой робустной скульптуре; по: Tesakova, Shurigova, 2018) варьируют в пределах 0,030–0,077 (Рис. 3Б). Уменьшение этого параметра отвечает эпизодам обмеления моря (а увеличение, соответственно, углублению), реконструированных по соотношению размерных кластеров (Рис. 3А). Но его значения, сопоставленные с референсной кривой Танаки для LG, дают либо первые метры крайнего побережья, либо батимальные глубины (>150-200 м), что противоречит реконструкциям относительных глубин Среднерусского моря в среднем и позднем келловее по



литологическим и палеонтологическим данным (Sahagian et al., 1999; Tesakova, Schurupova, 2018). Относительные размеры глаз более глубоководных мелкоразмерных цитерурид (*Eucytherura* и *Procytherura*) показывают значения 0,072–0,122, что в сравнении с кривой МГ на рис. 1А, определяют вариацию глубин на протяжении всего времени в 30–40–90 м, судя по восходящей ветви графика (возрастание параметра соответствует увеличению глубины). Глубины в интервале 170–180–260 м, отвечающие нисходящей ветви графика, являются нереальными для эпиконтинентального моря. Глубина, рассчитанная по относительному размеру глаз остракод с НГ 0,054–0,087, в соответствии с графиком НГ (Рис. 1А) составляет 70–110 м, судя по восходящей ветви, и 120–130 м, судя по нисходящей.

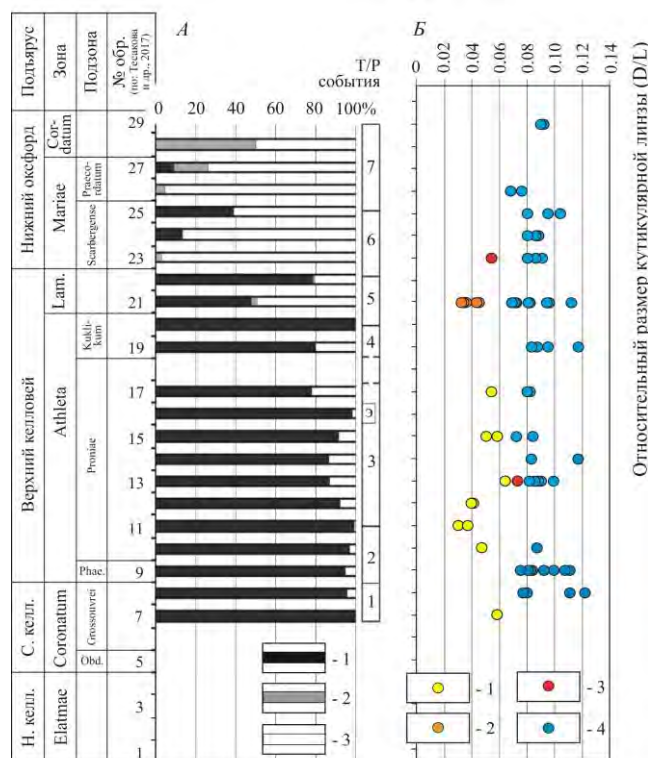


Рис. 3. Сравнение палеобатиметрической реконструкции в разрезе Михайловцемент по соотношению крупноразмерного и мелкоразмерного кластеров (А) с относительным размером кутикулярной линзы изученных остракод (Б). (А) (по: Tesakova, Shurupova, 2018): 1 – крупнораковинные остракоды верхней сублиторали (см. объяснения к Рис. 2Б) с L = 0,80–0,45 мм; 2 – крупнораковинный род *Sabacythere*, отождествляемый с глубиной более 50 м; 3 – мелкоразмерные остракоды нижней сублиторали с L = 0,35–0,25 мм. (Б) (настоящая работа): 1 – *Neurocythere cruciata cruciata* с LG-1, 2 – *N. flexicosta labyrinth* с LG-1, 3 – *Fuhrbergiella archangelskyi* с НГ, 4 – разнообразные *Eucytherura* и *Procytherura* с МГ.

## Выводы

Наиболее правдоподобными глубинами выглядят значения, отвечающие восходящей ветви графика МГ, а именно 30–40–90 м. Т.е. в целом глубина седиментации разреза Михайловцемент варьировала в разные времена именно в этих пределах. Периодическое обмеление до первых десятков метров происходило в среднем и позднем келловее, что подтверждается высокой численностью в это время мелководных остракод из крупного размерного кластера, некоторые из которых имели раковину с толстой стенкой (*Schuleridea*) или специфическую для песчаных/песчано-илистых грунтов скульптуру (*Neurocythere*). Однако расчет абсолютной глубины по ГБ *Neurocythere* себя не оправдал, что требует

дополнительной шлифовки метода измерения глазных образований на ископаемом материале и новых актуалистических данных по размерам глаз остракод в акваториях с разной мутностью/трофностью. Нижняя сублитераль характеризовалась глубиной 50–90 м.

### Финансирование

Работа выполнена в рамках тем госзадания №№ 0135-2019-0062 (ГИН РАН) и АААА-А16-116033010096-8 (МГУ).

### Список литературы:

1. Николаева И.А. Общая характеристика кайнозойских Ostracoda. Палеоэкология и связь с фациями / Остракоды кайнозоя. Практическое руководство по микрофауне СССР. Т. 3. – Л: Недра, 1989. – С. 7–26, с. 204–207.
2. Николаева И.А. Зональное деление по остракодам палеоцена и эоцена Крымско-Кавказской области // Тр. XVII Всеросс. микропалеонтологического сов. «Современная микропалеонтология – проблемы и перспективы» (Казань, 24–29 сен. 2018 г.) / Отв. ред. М.С. Афанасьева и А.С. Алексеев. – М.: ПИН РАН, 2018. – С. 248–252.
3. Степанов И.А., Казанский А.Ю., Киселев Д.Н., Косарева Л.Р., Рогов М.А., Тесакова Е.М., Щепетова Е.В., Шурупова Я.А. Возможности петромагнитных методов при палеоэкологических реконструкциях на примере юрских отложений (келловой-нижний оксфорд) разреза Михайловцемент (Рязанская область) // Вестник Московского университета. Серия 4: Геология. – 2019. – № 2. – С. 30-38.
4. Тесакова Е. М. Оценка относительной палеоглубины по остракодам методом глазных бугорков / Экзолит – 2023. Новаторская литология Фролова: общее и частное. Годич. собр. (науч. чтения) / Ю.В. Ростовцева (ред.). Москва, 22–23 мая 2023 г. Сб. науч. мат. – М: МАКС Пресс, 2023а. – С. 188–197. doi.org/10.29003/m3432.exolith-2023
5. Тесакова Е. М. Глаза остракод и палеоглубина (методы палеореконовструкций) / Вопросы палеонтологии и региональной стратиграфии фанерозоя Европейской части России. Всеросс. науч.-практ. конф., посв. 225-летию со дня рождения П. М. Языкова. (г. Ульяновск, 22 – 25 сентября, 2023 г.). Сб. научн. тр. – Ундоры: Ундоровский палеонтологический музей им. С. Е. Бирюкова, 2023б. – С. 91–95.
6. Benson R.H. Estimating greater paleodepths with ostracodes, especially in past thermospheric oceans // *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.* – 1984. – Vol. 48. – P. 107–141.
7. Bonaduce G., Danielopol D.L. To see and not to be seen: the evolutionary problems of the Ostracoda Xestoleberididae / In: Hanai T., Ikeya N., Ishizaki K. (Eds.) *Evolutionary biology of Ostracoda, its fundamentals and applications.* – Tokyo: Kodansha, 1988. – P. 375–398.
8. Hunt G. Morphology, ontogeny, and phylogenetics of the genus *Poseidonamicus* (Ostracoda: *Thaerocytherinae*) // *J. Paleontol.* – 2007. – V. 81. – P. 607–631.
9. Karpuk M. Relative depth reconstruction method using marine ostracods: A casestudy from the upper Barremian–Aptian of the Crimean Mountains // *Cretaceous Research.* – 2021. – Vol. 120. – 104719
10. Kontrovitz M., Myers J.H. Ostracode eyes as paleoenvironmental indicators: Physical limits of vision of some podocopids // *Geology.* – 1988. – Vol. 16. – P. 293–295.
11. Puckett T.M. Absolute paleobathymetry of upper Cretaceous chinks based on Ostracodes-evidence from the Demopolis Chalk (Campanian and Maastrichtian) of the Northern Gulf Coastal Plain // *Geology.* – 1991. – Vol. 9. – P. 449–452.
12. Sahagian D., Pinous O., Olferiev A., and Zakharov V. Eustatic curve for the Middle Jurassic–Cretaceous based on Russian Platform and Siberian stratigraphy: Zonal resolution // *Bull. Am. Ass. Petrol. Geol.* – 1996. – Vol. 80. – P. 1433–1458.



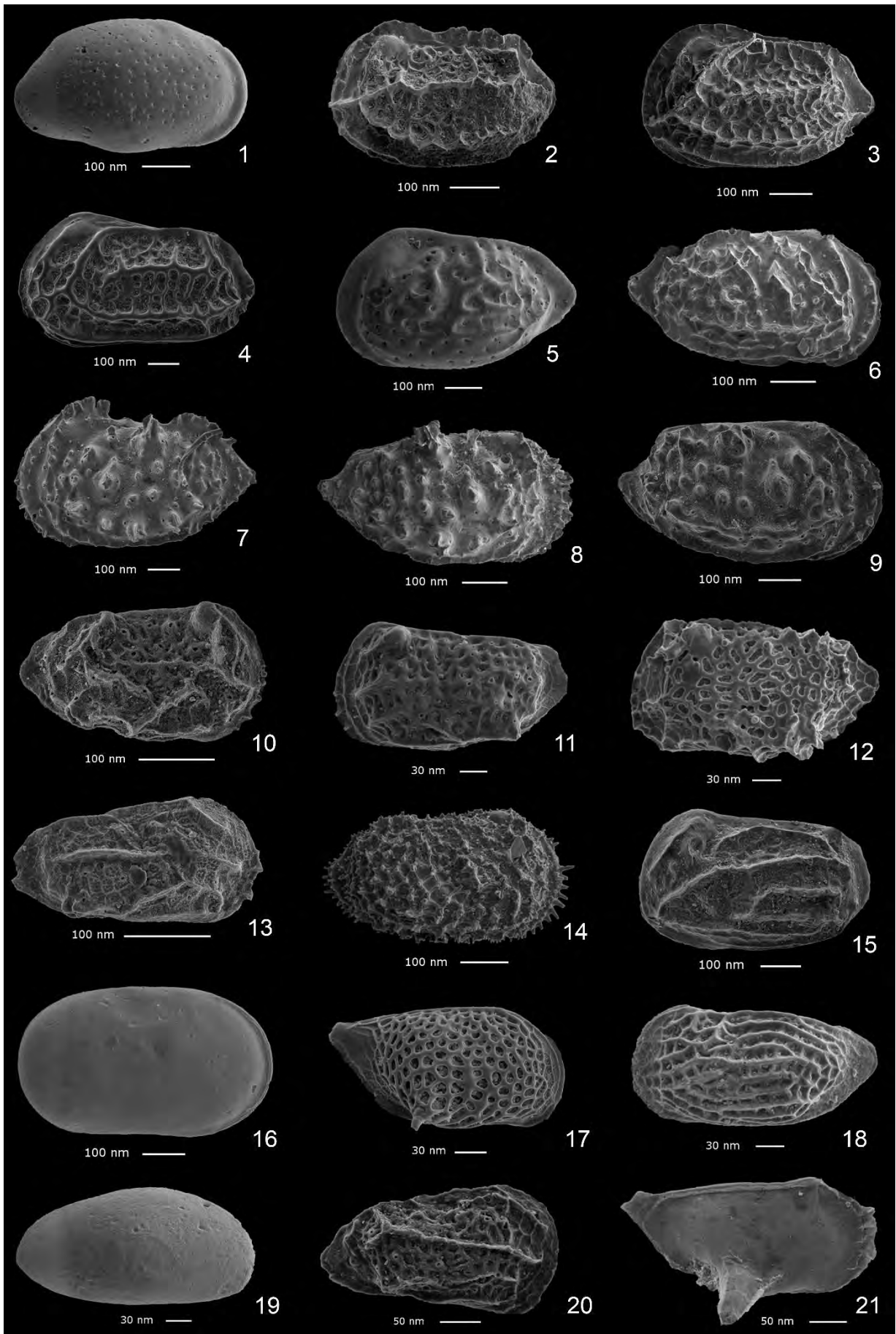
13. Tanaka G. Morphological design and fossil record of the podocopid ostracod naupliar eye // *Hydrobiologia*. – 2005. – V. 538. – P. 231–242. DOI 10.1007/s10750-004-4969-x
14. Tanaka G. Functional morphology and light-gathering ability of podocopid ostracod eyes and the palaeontological implications // *Zoological Journ. Linnean Soc. London*. – 2006. – Vol. 147. – P. 97–108.
15. Tanaka G., Siveter D.J., Parker A.R. The visual system and paleoecology of the Silurian Ostracod *Primitiopsis planifrons* // *Journ. Paleontology*. – 2009. – Vol. 83. – P. 414–421.
16. Tesakova E.M., Shurupova Ya.A. Ostracod analysis of Callovian and Lower Oxfordian deposits of the Mikhailovtsement section (Ryazan Region): methods and results // *Paleontol. Journ.* – 2018. – Vol. 52. № 13. – P. 1561–1582.
17. Tian S.Y., Yasuhara M., Robinson M.M., Huang H.-H.M. Ostracod eye size: A taxonomy-free indicator of the Paleocene-Eocene Thermal Maximum sea level // *Marine Micropaleontology*. – 2022. – Vol. 174. doi.org/10.1016/j.marmicro.2021.101994
18. Whatley R., Downing S., Kesler K., Harlow C. The ostracod genus *Poseidonamicus* from the Cainozoic of DSDP sites in the SW Pacific // *Rev. Esp. Micropaleontol.* – 1986. – V. 18. – P. 387–400.

### Объяснение к таблице I.

Все остракоды (самки) происходят из разреза Михайловцемент (Рязанская обл.); правая створка (пс), левая створка (лс). Экз. 1, 3, 5, 7 из зоны *Coronatum*, подзоны и биогоризонта *Grossouvrei*; экз. 2, 11, 17 из зоны *Mariae*, биогоризонта *Paucicostatum*; экз. 4, 13, 21 из зоны *Lamberti*; экз. 8, 19 из зоны *Athleta*, подзоны *Phaeinum*; экз. 9, 20 из зоны *Athleta*, подзоны “*Spinotum*”; экз. 16, 18 из зоны *Athleta*, подзоны *Proniae*; экз. 10, 15 из зоны *Cordatum*. Зрячие остракоды промаркированы соответствующим знаком кутикулярной линзы; слепые, вторично слепые или зрячие, но без выраженной линзы, такой маркировки не имеют; орнаментированная линза, утратившая светособирающую функцию, обозначена здесь как LG-2.

(1) *Schuleridea translucida* (Lyub.): экз. МГУ МС-32, пс. (2) *Neurocythere cruciata cruciata* (Trieb.) s.l.: экз. МГУ МС-250, лс, LG-1. (3) *N. flexicosta* (Trieb.) ssp. A: экз. МГУ МС-7, пс, LG-1. (4) *N. flexicosta labyrinthica* What., Ball., Arm.: экз. МГУ МС-35, лс, LG-1. (5) *Fastigatocythere* sp. A: экз. МГУ МС-10, лс, LG-1. (6) *Lophocythere acrolophos* What., Ball., Arm.: экз. МГУ МС-144, пс, LG-2, зона *Athleta*, подзона *Proniae*, биогоризонт *Funiferus*. (7, 8) *L. karpinskyi* (Mand. in Lyub.): 7 – экз. МГУ МС-2, лс, LG-2; 8 – экз. МГУ МС-79, пс, LG-2. (9) *L.* sp. B: экз. МГУ МС-66, пс, LG-2. (10) *Eucytherura costaeirregularis* What.: экз. МГУ МС-69, пс, MG. (11) *E. grandipyga* (Tesak.): экз. МГУ МС-311, лс, MG. (12) *E. rectodorsalis* Błaszcyk: экз. МГУ МС-110, лс, MG, зона *Athleta*, подзона *Proniae*, биогоризонт *Phaeinum*. (13) *E.* sp. 4 Tesakova: экз. МГУ МС-56, пс. (14) *Fuhrbergiella archangelskyi* (Mand. in Lyub.): экз. МГУ МС-336, пс, HG, зона *Athleta*, подзона *Proniae*, биогоризонт *Allae compressum*. (15) *Sabacythere attalicata* (Mand. in Lyub.): экз. МГУ МС-68, лс, LG-2. (16) *Cytherella perennis* Błaszcyk: экз. МГУ МС-206, пс. (17) *Cytheropteron spinosum* (Lyub.): экз. МГУ МС-317, пс. (18) *Procytherura* aff. *tenuicostata* What.: экз. МГУ МС-307, лс. (19) *Rubracea artis* Lyub.: экз. МГУ МС-95, пс. (20) *Tethysia bathonica* Scherr.: экз. МГУ МС-33, пс. (21) *Pedicythere anterodentina* (What.): экз. МГУ МС-53, пс.

**Таблица I**



УДК 574.32

Рубрика 34.33.15

ГЕНЕТИЧЕСКАЯ СВЯЗЬ ПОПУЛЯЦИЙ ХЕМОСИМБИОТРОФНЫХ ДВУСТВОРЧАТЫХ МОЛЛЮСКОВ *CALYPTOGENA PACIFICA* (VESICOMYIDAE: PLIOCARDIINAE) БЕРИНГОВА МОРЯ И ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ТИХОГО ОКЕАНА

POPULATION CONNECTIVITY OF THE CHEMOSYMBIOTROPHIC BIVALVE *CALYPTOGENA PACIFICA* (VESICOMYIDAE: PLIOCARDIINAE) IN THE BERING SEA AND EASTERN PACIFIC OCEAN

**Белов Дмитрий Алексеевич, Кременецкая Антонина Владимировна, Крылова Елена Михайловна**

*Институт океанологии им. П.П. Шишова РАН (ИО РАН), г. Москва*

**Belov Dmitry Alexeevich, Kremenetskaya Antonina Vladimirovna, Krylova Elena Mikhailovna**

*Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow*

Моллюски подсемейства Pliocardiinae (Vesicomylidae) живут в симбиозе с сульфид-окисляющими хемоавтотрофными внутриклеточными бактериями. Эти бактерии синтезируют органическое вещество, которое служит основным, а возможно, и единственным источником пищи для моллюсков. Бактериям для жизнедеятельности необходимы сульфиды. На дне океана сульфиды в необходимых количествах имеются только в специфических восстановительных биотопах, таких как гидротермальные источники, холодные метановые выходы, скопления разлагающегося органического вещества, в том числе скелеты китов. Эти местообитания существенно отличаются от окружающей среды по физико-химическим условиям и отделены друг от друга пространствами, непригодными для жизни плиокардин. В результате распространение этих моллюсков носит фрагментарный, или "островной", характер. Анализ генетической структуры локальных популяций позволяет оценить уровень различий популяций из разных районов, интенсивность обмена генами, время расхождения популяций, и предположить направление расселения. Эта информация важна для выявления путей формирования фаун восстановительных биотопов.

*Calyplogena pacifica* Dall, 1891 (Pliocardiinae) обитает в восстановительных биотопах северной Пацифики: в восточной части океана - от пролива Диксон-Энтрэнс на севере до полуострова Калифорния на юге, на глубинах от 361 до 2423 м; в западной части - на вулкане Пийпа (470-490 м) (Krylova, Sahling, 2006) и на Корякском склоне (400-695 м) Берингова моря (Данилин, 2013; Рыбакова и др., 2022). В отличие от восточнотихоокеанских популяций, данные по генетике *C. pacifica* из Берингова моря в настоящее время отсутствуют. Целью нашего исследования было определить, отличаются ли генетически популяции *C. pacifica* с Корякского склона и вулкана Пийпа от пространственно удаленных популяций этого вида из восточной части Тихого океана.

В ходе 82-го рейса НИС "Академик М.А. Лаврентьев", организованного ННЦМБ ДВО РАН (г. Владивосток) в 2018 г., моллюски были собраны в районах метановых выходов (Корякский склон, 660 – 690 м) и гидротерм (вулкан Пийпа, 470 м) с помощью манипулятора

телеуправляемого беспилотного подводного аппарата "Команч-18". Фрагменты аддукторов и ноги моллюсков фиксировали в 96%-ном охлажденном этаноле и хранили при температуре - 20°C. Для молекулярного анализа использовали фрагмент гена цитохром с-оксидазы субъединицы 1 (COI) (длина анализируемого фрагмента 482 п.н.). ДНК выделили из 146 образцов калиптоген. Для выделения ДНК использовали набор QuickExtract™ DNA Extraction Solution (Lucigen), ПЦР-амплификацию проводили с помощью набора Encyclo Plus PCR kit (Eurogen) и праймеров VesHCO и VesLCO (Peek, 1997). Полученные последовательности редактировали и выравнивали с помощью алгоритма MUSCLE, филогенетический анализ проводили с использованием байесовской статистики с помощью программы MrBayes 3.2.7a. Лучшие модели эволюции нуклеотидов определяли в программе PartitionFinder2 (Lanfear, 2017). Кроме того, в анализе использовали данные по 31 последовательности *COI C. pacifica* из восточной части Тихого океана, опубликованные в Genbank (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/genbank/>). Полученные результаты были использованы для построения сети гаплотипов с помощью алгоритма медианного сцепления в программе POPART (Leigh, 2015).

В результате молекулярного анализа по маркеру COI было выявлено 7 гаплотипов на Корякском склоне, из которых 4 уникальных. На вулкане Пийпа обнаружено 3 гаплотипа, один из них уникальный, а два также присутствуют на Корякском склоне. Общие гаплотипы для популяций Берингова моря найдены в заливе Монтерей в Восточной Пацифике (рис. 1). Из семи обсуждаемых районов максимальное число гаплотипов (9) отмечено для залива Монтерей. Высокий уровень генетического разнообразия может быть обусловлен большим разнообразием типов местообитаний калиптоген в широком диапазоне глубин (361 – 959 м) в заливе Монтерей, а также более длительной историей обитания калиптоген в этом районе. Наличие общих гаплотипов в популяциях Берингова моря и восточной части Тихого океана позволяет предположить возможность генетического обмена, который осуществляется через гипотетические популяции, населяющие склоны Берингова моря к северу от исследуемого района.

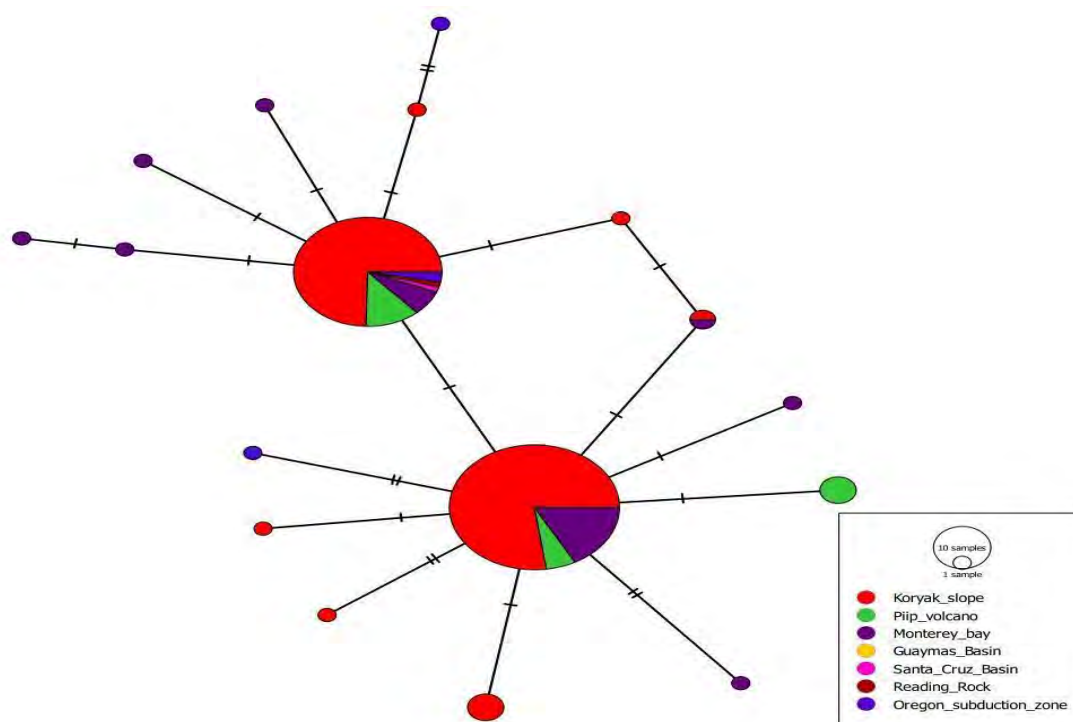


Рис.1 Сеть гаплотипов *Calyptogenia pacifica*, представленных в западной (Корьяк slope, Piip Volcano) и восточной (все остальные местообитания) частях Тихого океана.

## Список литературы

1. Данилин Д. Д. Двустворчатые моллюски как потенциальные индикаторы районов гидротермальной активности //Вулканизм и связанные с ним процессы. Науч. конф., посвящ. Дню вулканолога, Петропавловск-Камчатский. – 2013. – С. 28-29.
2. Kozlov A. M. et al. RAxML-NG: a fast, scalable and user-friendly tool for maximum likelihood phylogenetic inference //Bioinformatics. – 2019. – Т. 35. – №. 21. – С. 4453-4455.
3. Krylova E. M., Sahling H. Recent bivalve molluscs of the genus *Calypptogena* (Vesicomidae) //Journal of Molluscan Studies. – 2006. – Т. 72. – №. 4. – С. 359-395.
4. Lanfear R. et al. PartitionFinder 2: new methods for selecting partitioned models of evolution for molecular and morphological phylogenetic analyses //Molecular biology and evolution. – 2017. – Т. 34. – №. 3. – С. 772-773.
5. Leigh J. W., Bryant D. POPART: full-feature software for haplotype network construction //Methods in ecology and evolution. – 2015. – Т. 6. – №. 9. – С. 1110-1116.
6. Peek A. S. et al. Evolutionary relationships of deep-sea hydrothermal vent and cold-water seep clams (Bivalvia: Vesicomidae): results from the mitochondrial cytochrome oxidase subunit I //Marine Biology. – 1997. – Т. 130. – С. 151-161.
7. Rybakova E. et al. Methane seep communities on the Koryak slope in the Bering Sea //Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography. – 2022. – Т. 206. – С. 105203.

УДК 594.711

Рубрика 34.33.15

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЖЕСТКИХ СТРУКТУР У ВЫМЕРШИХ И  
СОВРЕМЕННЫХ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ МШАНОК ИЗ КЛАССА STENOLAEMATA  
COMPARATIVE ANALYSIS OF RIGID STRUCTURES IN EXTINCT AND RECENT  
REPRESENTATIVES OF BRYOZOANS FROM THE CLASS STENOLAEMATA

**Вахрушев Алексей Евгеньевич<sup>1</sup>, Темерева Елена Николаевна<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва

**Vahrushev Alexey Evgenyevich<sup>1</sup>, Temereva Elena Nikolaevna<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>MSU M. V. Lomonosov, Moscow

## 1. Введение

Мшанки - тип животных из группы Lophophorata, насчитывающий 6141 вид нынеживущих и 15 774 вымерших вида (по данным WoRMS на 21.08.2023). В состав этого типа входит три класса: Phylactolaemata, Gymnolaemata и Stenolaemata. Класс Stenolaemata был описан Боргом (Borg 1926a), чье описание было дополнено (Brood 1972 и Boardman 1983).

Большинство обнаруженных видов мшанок из Палеозоя принадлежат именно к классу Stenolaemata. В его составе выделяют два надотряда: Palaeostomata и Tubuliporata. В составе надотряда Palaeostomata выделяют несколько отрядов: Esthonioporata, Trepotomata, Cystoporata, Fenestrata, Cryptostomata. Все группы этого надотряда появились в результате Большого Ордовикского взрыва видообразования (Taylor & Ernst, 2004). Большинство из них обладает кальцитным скелетом с низким содержанием Mg, кроме Esthonioporata, в скелетах которых обнаружено высокое содержание магния (Taylor & Wilson 1999). Почти все представители этой группы не пережили Пермь-Триасовое вымирание, а оставшиеся отряды окончательно вымерли к концу Триаса.

Надотряд Tubuliporata - представлен единственным отрядом - Cyclostomata. Этот отряд также появился в начале Ордовика. Для них характерны трубчатые зооиды с терминальными апертурами. Представители циклостомных мшанок имеют мощный обызвествленный цистид и по строению зооидов схожи с Palaeostomata, однако отличаются от них особенностями организации колоний. Циклостомные мшанки пережили вымирание конца Палеозоя, после чего в Мезозое прошли через всплеск видообразования. Однако, на данный момент число видов этого отряда составляет всего несколько сотен.

## 2. Строение мшанок класса Stenolaemata

Представители двух надотрядов Stenolaemata демонстрируют некоторые различия как в общей организации колоний, так и в деталях строения зооидов. Так, у Palaeostomata колонии полусферические, массивные, ветвистые, фрондозные, сетчатые или покрывающиеся коркой, иногда с сочленениями. Аутозооиды могут иметь разную длину и иметь многоугольную или округлую форму поперечного сечения. Псевдопоры, как правило, отсутствуют. Цистид внутри



перегорожен поперечными стенками - диафрагмами или полудиафрагмами. Часто внутренние стенки цистида формируют различного рода шипы и выросты. Функция подобных структур в большинстве случаев не ясна. Так, например, у *Palaeostomata* обнаружены акантостили - специальные выросты, возможно, служившие для приподнятия внешней мембраны над скелетом, для улучшения обмена веществами между зооидами (Boardman 1983).

В составе колонии *Palaeostomata* обычно присутствуют разнообразные геретозоиды: аллозооэции, мезозооэции, макрозооэции, авикуломорфы и т.д. Вероятно, некоторые из них выполняли структурную функцию, некоторые защитную (Morozova 1973, 1974, 1987, 2001). Также среди представителей *Palaeostomata* встречаются структуры для вынашивания эмбрионов (Tavener-Smith 1966, Morozova 2001).

Важной морфологической особенностью представителей надотряда *Palaeostomata* является разделение колонии на внутреннюю часть, эндозону, и внешнюю часть, экзозону. У *Cyclostomata* разделения на внутреннюю и внешнюю часть не обнаружено.

У представителей отряда *Cyclostomata* колонии имеют форму от тонких разветвленных веточек до грубых корковых обрастаний, плотно или неплотно прилегающих к субстрату. У некоторых представителей участки колонии (интернодии) связаны друг с другом за счет хитиновых сочленений. Рост колонии всегда начинается с преанцеструлы. Стенки цистида пронизаны многочисленными псевдопорами; между соседними зооидами имеются поры или псевдопоры. В колонии имеются гетерозоиды, представленные гонозоидами и кенозоидами. Гетерозоиды среди *Cyclostomata* развиты довольно скудно. Основные из них это гонозоиды, у пост-палеозойских представителей, и кенозоиды. Однако, у некоторых вымерших представителей, таких как *Eleidae*, *Fenestrapora*, обнаружены причудливые гетерозоиды, напоминающие авикулярии *Cheilostomata* (McKinney 1998, Taylor & Zagorsek 2011).

Кроме особенностей организации колонии представителей двух надотрядов отличаются и по особенностям строения отдельных зооидов. Так, у представителей *Tubuliporata* практически нет внутренних перегородок, а внутренние шипы, если и имеются, очень однообразны по морфологии. С другой стороны, у большинства представителей *Palaeostomata* цистида лишены псевдопор, которые обычны для *Tubuliporata*.

### 3. История *Stenolaemata*

#### 3.1 Кембрий

Сведения о самых ранних находках мшанок появились в научной литературе в 2010 году. В палеонтологической статье 2010 г. описана находка якобы кембрийских мшанок (Landing et al. 2010). Эти данные, однако, выглядят сомнительными, т.к. описываемые в работе экземпляры характеризовались «зооидами» в форме коробочки. Однако коробочка — это самая продвинутая и самая эволюционно молодая форма зооидов у мшанок. Первые известные мшанки характеризовались зооидами в форме трубочек. Действительно, в 2013 г. появилась статья, в которой доказывается, что описание мшанок в упомянутой выше статье 2010 г. ошибочно, и обнаруженные авторами скелеты принадлежат восьмилучевым кораллам. Тем не менее, авторы статьи 2010 г. на новом материале и с привлечением более детальных реконструкций в 2015 г. попытались доказать, что их находка — это не восьмилучевые кораллы, а самые настоящие древние мшанки. В 2021 г. в журнале *Nature* опубликована статья, в которой из кембрийского периода описаны фоссильзированные колонии «мшанки» *Protomelission gatehousei* (Zhang et al. 2021). На фотографиях и реконструкциях форма зооидов у этого организма тоже очень похожа на коробочку. Тем не менее, в 2023 г. в том же журнале доказывается, что *Protomelission* является зеленой водорослью (Yang 2023). Эта полемика — интересный пример научной дискуссии в общем научном поле. В то же время, однако, в 2022

г. группа исследователей обнаружила в отложениях нижнего кембрия в штате Невада (США) отпечатки колоний обызвестленных организмов, напоминающих мшанок (Pruss et al. 2022). Поэтому вопрос о появлении мшанок нельзя считать окончательно решенным.

### 3.2 Ордовик

Самая ранняя однозначная находка мшанки относится к Ордовику (Ma et al. 2015). На основании палеонтологических находок видно, что все группы, входящие в состав *Stenolaemata*, кроме *Timanodictyina*, появились именно во время Ордовикского взрыва видообразования (Ernst 2018).

Увеличение числа видов наблюдается на протяжении практически всего Ордовика. Во второй половине этого периода также наблюдается потеря эндемичности и переход к более космополитичному распространению мшанок (Taylor & Ernst 2004). Это явление связывают с увеличением температуры.

К концу Ордовика, наблюдалось снижение темпов видообразования среди мшанок (Ernst 2018). И впоследствии наблюдается несколько волн вымираний.

### 3.3 Силур

В Силурийском периоде наблюдается общий низкий уровень эндемизма мшанок. Это было обусловлено закрытием океана Лапетус, который был барьером для личинок морских животных (Socks 2001). Однако, уровень эндемизма не был постоянно низким: были показаны колебания провинциальности в течение этого периода (Buttler et al. 2013).

В конце Силура наблюдается вымирание мшанок. Это событие было обусловлено изменением режима осадконакопления и уменьшением количества подходящих местообитаний.

### 3.4 Девон

Разнообразие мшанок стабильно росло в течение раннего и среднего Девона (например, Ernst & Rodriguez 2023). Однако, после такого роста наблюдается резкое падение родового разнообразия. Это событие связывают с серией изменений в структуре фауны. Причиной которых считается трансгрессия Мирового Океана.

Большое количество Девонских мшанок обладало развитыми структурами защиты (McKinney et al. 2003). Такой тренд морфологических изменений может свидетельствовать об увеличении давления хищников, что согласуется с средне-Палеозойской революцией хищников (Sallan et al 2011).

### 3.5 Карбон

В Карбоне отмечается несколько крупных событий, оказавших влияние на мшанок. Первое - быстрое увеличение количества родов и последующие их уменьшение (Ross 1981). Такое увеличение числа родов вызвано заполнением свободных ниш, ставших пустыми после вымирания конца Девона. Второе — это снижение влияния хищников, о чем свидетельствует существенное уменьшение количества защитных структур у мшанок.

### 3.6 Пермь

В Пермском периоде мшанки показывают высокое разнообразие по всему миру (Gilmour & Morozova 1999).

Конец же Пермского периода ознаменован самым крупным вымиранием за весь Фанерозой (Ervin 1993, Retallack 1995, Becker et al. 2001). Пермь-Триасовое вымирание проходило в два этапа. Каждый из них имел разные причины, однако каждое из них имело примерно равные по своей катастрофичности последствия (Jin et al. 1994). Первый этап вымирания был связан с очередным глобальным похолоданием (Isozaki & Aljinovic 2009). Второй этап имел комплексную структуру, включающую как климатические причины, так и геологические (Renne & Vasu 1991) или даже внеземные (удар метеорита Becker et al 2001).

### **3.7 Триас**

Среди представителей Palaeostomata только отряд Trepostomata пережил Пермь-Триасовое вымирание. Позднее в они смогли восстановиться и дать существенное количество родов. Однако, к концу Триаса этот надотряд окончательно вымирает вместе с отрядом Trepostomata (Schäfer 1994).

В то же время Cyclostomata смогли пережить вымирание конца Перми. Однако в их находках существует перерыв в 20 млн. лет. Это задает вопросы о их филогенетических отношениях (Boardman 1984, Schäfer 2006).

### **3.8 Юра**

В Юрском периоде разнообразие мшанок возрастает. Этому способствует несколько морфологических новинок: гонозоиды, free-walled организация скелета, развитие коммуникационных пор (Taylor & Larwood 1990).

Большинство Юрских мшанок ассоциированы с нетропическими местами обитания. В то время как тропические мшанки очень редки.

### **3.9 Мел**

Меловой период характеризуется большим таксономическим разнообразием Cyclostomata и появлением новых подотрядов.

Вымирание на границе Мезозоя и Кайнозоя ассоциированное с падением метеорита (Alvarez et al. 1980) оказало сильное влияние на морские сообщества, в том числе на сообщества мшанок.

### **3.10 Кайнозой**

После Мел-Палеогенового вымирания разнообразие Cyclostomata оставалось низким (Voigt 1985). Наиболее разнообразные фауны обнаруживаются за пределами тропиков (Taylor 2000b). Однако, это может быть артефактом отложений, так как в тропиках формируются менее устойчивые к действию времени колонии (Taylor et al. 2009a).

В течение Кайнозоя масштабные вымирания не зафиксированы (Voigt 1985).

## **4. Значение изучения морфологии нынеживущих и вымерших мшанок**

В силу того, что мшанки представляют собой животных, которые производят мощные скелеты из карбоната кальция, их скелеты хорошо сохраняются в палеонтологической летописи. В связи с этим, они являются отличной группой для изучения эволюции. К тому же состав скелета и состояние скелета может быть индикатором изменений кислотности океана (Taylor et al. 2014).

Также показано (Nelson et al. 1988, McKinney & Jackson 1989, Smith 1995, Amini et al. 2004, Lombardi et al. 2023), что рост колоний мшанок зависит от таких параметров как: температура, солёность, глубина, субстрат и другие. Также показано полезность ассоциаций мшанок для интерпретации окружающей среды прошлого и настоящего (Brood 1976, Gordon 1987, Nelson et al. 1988, Smith 1995).

Хотя мшанки никогда не участвовали в глобальном формировании рифов, их вклад в построение подобных образований значителен (Cuffey 1977, 1985) причем начиная с Ордовика (Cuffey 1977, 1985, Cuffey et al. 2012). В течение всего Палеозоя они играли довольно важную роль в образовании рифов (). В пост-Палеозойскую эпоху участие мшанок в рифообразовании стало более редким. Однако в течение Кайнозоя постройки, созданные мшанками, составляли около 5% от общего количество биогенных конструкций (Perrin 2002). Современные рифы мшанок известны на мелководье юго-западных Нидерландов (Vijma & Boekschoten 1985).

## 5. Выводы

Мшанки - перспективная группа для изучения палеоэкологии и окружающей среды прошлого. Эти организмы обладают большим набором признаков, которые напрямую зависят от окружающей среды. При этом благодаря тому, что они производят биоминеральные скелеты, хорошо сохраняющиеся в палеонтологической летописи, мы можем реконструировать окружение мшанок того или иного периода. Также эта особенность мшанок помогает отслеживать нынешнее состояние океанов и тенденции в них.

Помимо этого, мшанки - отличная группа для изучения эволюции. Морфологическое разнообразие современных представителей, а также вымерших, отраженных в палеонтологической летописи, позволяет наблюдать разнообразные эволюционные процессы на очень большом промежутке времени, начиная с Ордовика

## Финансирование

Исследование выполнено при поддержке РФФ 23-14-00020.

## Список литературы:

1. Alvarez, L.W., Alvarez, W., Asaro, F. & Michel, H.V. (1980): Extraterrestrial cause for the Cretaceous-Tertiary extinction. *Sci New Ser* 208(4448): 1095–1108
2. Amini, Z.Z., Adabi, M.H., Burrett, C.F. & Quilty, P.G. (2004): Bryozoan distribution and growth form associations as a tool in environmental interpretation, Tasmania, Australia. *Sediment Geol* 167(1–2): 1–15
3. Becker, L., Poreda, R.J., Hunt, A.G., Bunch, T.E. & Rampino, M. (2001): Impact event at the Permian-Triassic boundary: evidence from extraterrestrial gases in fullerenes. *Science* 291: 1530–1533.

4. Bijma, J. & Boekschoten, G.J. (1985): Recent bryozoan reefs and stromatolite development in brackish inland lakes, SW-Netherlands. *Senckenb Marit* 17(1–3): 163–183.
5. Boardman, R.S. (1983): General features of the Class Stenolaemata. In: Robison, R.A. (ed.). *Treatise on Invertebrate Paleontology, Part G, Revised, Bryozoa*. Geological Society of America and University of Kansas Press, Boulder, Colorado, and Lawrence, Kansas: 49–137.
6. Boardman, R.S. (1984): Origin of the Post-Triassic Stenolaemata (Bryozoa): a taxonomic oversight. *J Paleontol* 58: 19–39.
7. Boardman, R.S. (2001): The growth and function of skeletal diaphragms in the colony life of Lower Paleozoic Trepostomata (Bryozoa). *J Paleontol* 75: 225–240.
8. Borg, F. (1926): Studies on Recent cyclostomatous Bryozoa. *Zool Bidr Uppsala* 10: 181–507.
9. Brood, K. (1972): Cyclostomatous Bryozoa from the Upper Cretaceous and Danian in Scandinavia. *Stockholm Contrib Geol* 26: 1–464
10. Brood, K., 1976. Bryozoan palaeoecology in the Late Silurian of Gotland. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, 20: 187--208.
11. Buttler, C.J., Wyse Jackson, P.N., Ernst, A. & McKinney, F.K. (2013): A review of the Early Palaeozoic biogeography of bryozoans. In: Harper, D. & Servais, T. (eds.). *Early Palaeozoic Palaeobiogeography and Palaeogeography*. Geological Society of London Memoirs 38: 145–155
12. Cocks, L.R.M. (2001): Ordovician and Silurian geography. *J Geol Soc Lond* 158: 197–210
13. Cuffey, R.J. (1977): Bryozoan contributions to reefs and bioherms through geologic time. *Stud Geol* 4: 181–194.
14. Cuffey, R.J. (1985): Expanded reef-rock textural classification and the geologic history of bryozoan reefs. *Geology* 13: 307–310.
15. Cuffey, R.J. & Fine, R.L. (2005): The largest known fossil bryozoan reassembled from near Cincinnati. *Ohio Geol* 1: 1, 3–4.
16. Cuffey, R.J., Xiao, C., Zhu, Z., Spjeldnaes, N. & Hu, Z.-X. (2012): The world's oldest-known bryozoan reefs: Late Tremadocian, mid-Early Ordovician; Yichang, Central China. In Ernst, A., Schäfer, P. & Scholz, J. (eds.). *Bryozoan Studies 2010*. Springer, Heidelberg: 13–27.
17. Ernst, A. (2018): Diversity dynamics of Ordovician Bryozoa. *Lethaia* 51: 198–206.
18. Ernst, A., & Rodríguez, S. (2023): Lower Devonian bryozoans of SW Spain - *Spanish Journal of Palaeontology* 38.
19. Ernst, A. & Schafer, P. (2006). Palaeozoic vs. post-Palaeozoic Stenolaemata: phylogenetic relationship or morphological convergence? *Courier Forschungsinstitut Senckenberg* 257, 49–64.
20. Erwin D.H., *The Great Paleozoic Crisis* (Columbia Univ. Press, New York, 1993)
21. Gilmour, E.H. & Morozova, I.P. (1999): Biogeography of the Late Permian bryozoans. *Paleontol Zhur* 99(1): 38–53.
22. Isozaki, Y. & Aljinović, D. (2009): End-Guadalupian extinction of the Permian gigantic bivalve Alatoconchidae: end of gigantism in tropical seas by cooling. *Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol* 284: 11–21

23. Jin, Y.G., Zhang, J. & Shang, Q.H. (1994): Two phases of the end-Permian mass extinction. In: Embry, A.F., Beauchamp, B., Glass, D.J. (eds.). *Pangea: global environments and resources*. Mem Can Soc Petrol Geol 17: 813–822.
24. Key Jr, M.M., Thrane, L. & Collins, J.A. (2002): Functional morphology of maculae in a giant ramose bryozoan from the Permian of Greenland. In: Wyse Jackson, P.N., Buttler, C.J. & Spencer-Jones, M. (eds.). *Bryozoan Studies 2001*. Balkema, Lisse, Abingdon, Exton, Tokyo: 163–170.
25. Landing E., English A., Keppie J.D. 2010. Cambrian origin of all skeletalized metazoan phyla — Discovery of Earth’s oldest bryozoans (Upper Cambrian, southern Mexico). *Geology*. Vol.38. P.547– 550
26. Lombardi, C.; Kuklinski, P.; Spirandelli, E.; Bruzzone, G.; Raiteri, G.; Bordone, A.; Mazzoli, C.; López Correa, M.; van Geldern, R.; Plasseraud, L.; et al. Antarctic Bioconstructional Bryozoans from Terra Nova Bay (Ross Sea): Morphology, Skeletal Structures and Biomineralization. *Minerals* 2023, 13, 246
- Ma, J.-Y., Buttler, C.J. & Taylor, P.D. (2014): Cladistic analysis of the ‘trepotome’ Suborder Esthonioporina and the systematics of Palaeozoic bryozoans. In: Rosso, A., Wyse Jackson, P.N. & Porter, J.S. (eds.). *Bryozoan Studies 2013*. Museo delle Scienze, Trento: 153–161
27. Ma, J., Taylor, P.D., Xia, F. & Zhan, R. (2015): The oldest known bryozoan: *Prophyllodictya* (Cryptostomata) from the Lower Tremadocian (Lower Ordovician) of Liujiachang, south-western Hubei, central China. *Palaeontology* 58(5): 925–934.
28. McKinney, F.K. (1998): Avicularia-like structures in a Paleozoic fenestrate bryozoan. *J Paleontol* 72: 819–826.
29. McKinney, F.K. & Jackson, J.B.C. (1989): *Bryozoan Evolution*. Unwin Hyman, Boston
30. McKinney, F.K., Taylor, P.D. & Lidgard, S. (2003): Predation on bryozoans and its reflection in the fossil record. In: Kelley, P.H., Kowaleski, M. & Hansen, T.A. (eds.). *Predator-Prey Interactions in the Fossil Record*. Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York: 239–261.
31. I.P. Morozova (1967) New suborder of bryozoans: Order Cryptostomata (late Paleozoic), *International Geology Review*, 9:2, 186-194
32. Morozova, I.P. (1973): New and little-known structures of Fenestelloidea. In: Larwood, G.P. (ed.). *Living and Fossil Bryozoa*. Academic Press, London: 327–333.
33. Morozova, I.P. (1974): Revision of the bryozoan genus *Fenestella*. *Paleontol J* 8(2): 167–180.
34. Morozova, I.P. (1987): Morphogenesis, system and colonial integration in Bryozoa of the Order Fenestrida [Russian]. In: Morozova, I.P. (ed.). *Morphogenesis and ways of development of coloniality in Bryozoa and Coelenterata*. *Trudy Paleontol Inst Akad Nauk SSSR* 222: 70–88.
35. Morozova, I.P. (2001): Bryozoans of the Order Fenestellida [Russian]. *Trudy Paleontol Inst Rossiiskoi Akad Nauk* 277: 1–176.
36. Nelson, C.S., Hyden, F.M., Keane, S.L., Leask, W.L. & Gordon, D.P. (1988): Application of bryozoan zoarial growth-form studies in facies analysis of non-tropical carbonate deposits in New Zealand. *Sediment Geol* 60: 301–322
37. Perrin, C. (2002): Tertiary: the emergence of modern reef ecosystems. In: Kiessling, W., Flügel, E. & Golonka, J. (eds.)
38. Pruss S.B. et al. 2022. The oldest mineralized bryozoan? A possible palaeostomate in the lower Cambrian of Nevada, USA. *Sci. Adv.* DOI:10.1126/sciadv.abm8465)



39. Renne, P.R. & Basu, A.R. (1991): Rapid eruption of the Siberian Traps flood basalts at the Permo-Triassic boundary. *Science* 253: 176–179.
40. Retallack G. J. (1995): Permian-Triassic Life Crisis on Land. *Science* 267, 77-80.
41. Ross, J.R.P. (1981): Biogeography of Carboniferous ectoproct Bryozoa. *Palaeontology* 24: 313–341.
42. Sallan, L.C., Kammer, T.W., Ausich, W.I. & Cook, L.A. (2011): Persistent predator-prey dynamics revealed by mass extinction. *Proc Natl Acad Sci U S A* 108: 8335–8338.
43. Schäfer, P. (1994): Bryozoen der Trias-eine Übersicht. *Abh Geol B-A* 50: 387–397.
44. Smith, A.M., 1995. Palaeoenvironmental interpretation using bryozoans: a review. In: Bosence, D.W.J., Allison, P.A. (Eds.), *Marine Palaeoenvironmental Analysis from Fossils*. Spec. Publ.-Geol. Soc. Lond., vol. 83, pp. 231 – 243
45. Tavener-Smith, R. (1966): Ovicells in fenestrate cryptostomes of the Visean age. *J Paleontol* 40(1): 190–198.
46. Taylor, P.D. (2000b): Origin of the modern bryozoan fauna. In: Culver, S.J. & Rawson, P.F. (eds.). *Biotic Response to Global Change. The Last 145 Million Years*. Natural History Museum/Cambridge University Press, Cambridge: 195–209.
47. Taylor, P.D. & Ernst, A. (2004): Bryozoans. In: Webby, B.D., Paris, F., Droser, M.L. & Percival, I.G. (eds.). *The Great Ordovician Biodiversification Event*. Columbia University Press, New York: 147–156.
48. Taylor, P.D. & Larwood, G.P. (1990): Major evolutionary radiations in the Bryozoa. In: Taylor, P.D. & Larwood, G.P. (eds.). *Major evolutionary radiations*. *Syst Assoc Spec Vol* 42: 209–233
49. Taylor, P.D. & Wilson, M.A. (1999): *Dianulites* Eichwald, 1829: an unusual Ordovician bryozoan with a high-magnesium calcite skeleton. *J Paleontol* 73(1): 38–48.
50. Taylor, P. D., Weedon. M. J. & Jones, C. G. (1995): Skeletal ultrastructure in some cyclostome bryozoans of the family Lichenoporidae. - *Acta Zoologica (Stockholm)* 76: 205-216.
51. Taylor, P. D. & Zagorsek K. (2011): Operculate cyclostome bryozoans (Eleidae) from the Bohemian Cretaceous. *Palaontol Z* (2011) 85:407–432
52. Taylor, P.D., James, N.P., Bone, Y., Kuklinski, P. & Kyser, T.K. (2009a): Evolving mineralogy of cheilostome bryozoans. *Palaios* 24: 440–452
53. Voigt, E. (1985): The Bryozoa of the Cretaceous-Tertiary boundary. In: Nielsen, C. & Larwood, G.P. (eds.). *Bryozoa: Ordovician to Recent*. Olsen & Olsen, Fredensborg: 329–342.
54. Wood, R., Dickson, J.A.D. & Kirkland-George, B. (1996): New observations on the ecology of the Permian Capitan Reef, Guadalupe Mountains, Texas and New Mexico. *Palaeontology* 39: 733–762
55. Jie Yang, Tian Lan, Xi-guang Zhang & Martin R. Smith (2023): Protomelission is an early dasyclad alga and not a Cambrian bryozoan. *Nature* Vol. 615: 468-471
56. Zhiliang Zhang, Zhifei Zhang, Junye Ma, Paul D. Taylor, Luke C. Strotz, Sarah M. Jacquet, Christian B. Skovsted, Feiyang Chen, Jian Han & Glenn A. Brock (2021): Fossil evidence unveils an early Cambrian origin for Bryozoa. *Nature* Vol. 599: 251-255

УДК 574.9

Рубрика 34.35.25

ТРАНСМИССИВНАЯ НЕОПЛАЗИЯ МИДИЙ Р. MYTILUS В МОРЯХ РОССИИ  
TRANSMISSIBLE NEOPLASIA OF MYTILUS SP. IN THE RUSSIAN SEAS

**Сказина Мария Александровна<sup>1</sup>, Стрелков Петр Петрович<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*СПбГУ, Санкт-Петербург*

**Skazina Maria Aleksandrovna<sup>1</sup>, Strelkov Petr Petrovich<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*SPbSU*

Трансмиссивный рак это онкологическое заболевание, передающееся от одной особи к другой путем передачи живых раковых клеток. При трансмиссивном раке раковые клетки имеют генотип родственный генотипу "нулевого пациента" – особи, у которой этот рак возник впервые. На сегодняшний день известно 11 трансмиссивных раков, три у наземных позвоночных: трансмиссивная венерическая опухоль собак, (Canine Transmissible Venereal Tumor, CTVT), две независимые линии лицевой опухоли тасманийского дьявола (Devil Facial Tumor Disease, DFTD) и остальные - линии трансмиссивной неоплазии двустворчатых моллюсков (Bivalve Transmissible Neoplasia, BTN)

Трансмиссивная неоплазия, BTN, проявляется как диссеминированная неоплазия (Disseminated Neoplasia, DN). DN это заболевание схожее с раком крови человека. На начальных этапах DN поражает гемолимфу моллюсков (аналог крови у беспозвоночных) - раковые клетки с крупным ядром и видоизмененным актиновым цитоскелетом постепенно замещают здоровые гемоциты (клетки крови беспозвоночных). С развитием заболевания раковые клетки проникают в другие органы и ткани моллюска. Заражение происходит следующим образом: раковые клетки покидают организм моллюска и через воду попадают в организм других моллюсков. DN зарегистрирована у 22 видов морских двустворок {Formatting Citation}. Для большинства из них трансмиссивность болезни еще не проверялась.

На настоящий момент описано по одной линии BTN у песчаной мии *Mya arenaria*, золотистого полититапеса *Polititapes aureus*, венериды *Venus verrucosa* и балтийской ракушки *Macoma balthica*; по две у сердцевидки *Cerastoderma edule* и у мидий р. *Mytilus* (*Mytilus trossulus*, *M. edulis*, *M. chilensis*, *M. galloprovincialis*) [Michnowska et al., 2022; Ní Leathlobhair, Lenski, 2022]. Стоит отметить, что линии трансмиссивного рака *Polititapes aureus* и *Venus verrucosa* произошли от других видов: *Venerupis corrugata* и *Chamelea gallina*, соответственно. Интересно, что у этих видов - «доноров» BTN, BTN доказать не удалось [Garcia-Souto et al., 2022].

В связи с недавним открытием BTN [Metzger et al., 2015] данные о распространении и заболеваемости BTN ограничены. Наиболее подробно изучены трансмиссивные раки голубых ракушек - мидий р. *Mytilus*. У них нашли две независимые генетические линии BTN MtrBTN1 и MtrBTN2, которые произошли от тихоокеанской мидии *Mytilus trossulus* Обе эти линии несут геном родственный *M. trossulus*, то есть «нулевым пациентом» была мидия этого вида.

MtrVTN1 была сперва обнаружена у *M. trossulus* на тихоокеанском побережье Канады, в то время как MtrVTN2 - у *M. edulis* в Западной Европе и у *M. chilensis* в Чили и Аргентине [Metzger et al., 2016; Yonemitsu et al., 2019]. Последующие исследования MtrVTN2 в Западной Европе показали, что эта линия так же заражает *M. galloprovincialis* и ее гибридов с *M. edulis* [Hammel et al., 2022].

Явление VTN ставит перед исследователями множество вопросов, и мы остановимся на тех из них, которые мы попытались решить в собственных исследованиях.

Один вопрос связан со способностью моллюсков формировать устойчивость к заражению VTN. В ранних исследованиях MtrVTN2 нашли у трех видов *M. edulis*, *M. galloprovincialis* и *M. chilensis*, но не смогли обнаружить у *M. trossulus*. Была выдвинута гипотеза о том, что, как и упомянутые выше *Venerupis corrugata* и *Chamelea gallina*, родительский вид MtrVTN2 сформировал устойчивость к трансмиссивному раку [Yonemitsu et al., 2019].

Другой вопрос касается рисков эпизоотий VTN. Со времени первого описания DN в 60х годах прошлого века известны случаи эпизоотий этого заболевания у мидий и других двустворчатых моллюсков. В тихоокеанских популяциях *M. trossulus* заболеваемость DN достигает 30% [Brannock, Hilbish, 2010; Vassilenko, Baldwin, 2014], однако является ли причиной такой заболеваемости трансмиссивный или спонтанный рак неизвестно.

Наконец, ключевой вопрос сегодня, когда мы, по сути, находимся еще на пороге исследований VTN, является не теоретическим, а практическим. На пути получения новых данных о VTN, MtrVTN в частности, стоит сложность диагностики этой инфекции. Сегодня, диагностика VTN, это процесс, состоящий из двух ключевых этапов. Сначала необходимо диагностировать DN с помощью цитологических или гистологических подходов. На этом этапе хорошо себя зарекомендовала проточная цитометрия гемоцитов, окрашенных ДАПИ (флюоресцентный краситель ДНК). По сравнению с нормальными диплоидными гемоцитами раковые клетки анеуплоидны и имеют повышенное содержание ДНК. Проточная цитометрия позволяет выявлять и количественно описывать фракции анеуплоидных клеток.

На следующем этапе ткани мидий с DN генотипируют по локусам, диагностическим для VTN. Молекулярное клонирование позволяет надежно отличить раковые аллели от аллелей хозяина. При этом важно генотипировать разные ткани моллюска - наиболее пораженные раком ткани (гемолимфа) и наименее пораженные (обычно это мышцы ноги). Параллельное генотипирование необходимо, чтобы на фоне генотипа хозяина (доминирует в тканях мышц ноги) идентифицировать генотип рака (доминирует в гемолимфе).

Для идентификации VTN, MtrVTN1 и MtrVTN2 в частности, ткани моллюсков генотипируют по трем локусам: интрон гена, кодирующего фактор элонгации 1 $\alpha$  (elongation factor 1 $\alpha$  gene, EF1 $\alpha$ ), участок митохондриального гена субъединицы 1 цитохромоксидазы (cytochrome c oxidase subunit 1, COI) и фрагмент мтДНК захватывающий высокополиморфный контрольный регион (control region, CR).

Молекулярное клонирование – весьма трудоемкий метод. Если говорить по-простому, то для изучения нескольких образцов в наших условиях требуется несколько недель работы специалиста и несколько десятков тысяч рублей. Ранее, для анализа объёмных выборок была предложена тест система на основе количественной ПЦР (кПЦР) с праймерами специфичными для раковых аллелей вышеупомянутого локуса EF1 $\alpha$  [Burioli et al., 2021; Yonemitsu et al., 2019]. Забегая вперед, скажем, что на нашем материале эта тест-система себя не оправдала.

MtrVTN открыли в 2016 году, и уже в 2019 году наш коллектив приступил к поиску трансмиссивного рака мидий в морях России, используя в первую очередь проточную цитометрию для диагностики DN и молекулярное клонирование трех упомянутых локусов

для проверки гипотезы BTN. В первую очередь мы обратили внимание на Японское море, где ранее была отмечена DN у *M. trossulus* из залива Находка [Odintsova et al., 2011; Usheva, Frolova, 2000]. В других морях России DN у мидий не отмечали, скорее, просто не искали.

В выборке *M. trossulus* со швартовой бочки из бухты Гайдамак залива Восток Японского моря мы обнаружили редких мидий с DN (4% от выборки), и подтвердили для них BTN [Skazina et al., 2021]. Это оказалась линия MtrBTN2. Так мы убедились, что *M. trossulus* болеет MtrBTN2 и опровергли гипотезу о том, что *M. trossulus* выработала устойчивость к этой линии трансмиссивного рака.

Найдя рак в Японском море, мы продолжили поиск MtrBTN в Охотском море - в северной части тихоокеанского ареала *M. trossulus*, который считается анцестральным для этого вида. Параллельно мы начали исследование другой точки - в Кольском заливе Баренцева моря, (инвазивный ареал для этого вида). У мидий в окрестностях г. Магадан и в Кольском заливе мы нашли сразу обе известные линии - MtrBTN1 и MtrBTN2. Общая зараженность составила 5% в Охотском и всего 0.4% в Баренцевом море. Таким образом мы первыми обнаружили MtrBTN1 за пределами восточной Канады и обе линии MtrBTN вместе, в одной и той же популяции мидий.

Проведя географическое исследование, мы собрали большую коллекцию раков, которую использовали для совершенствования методов его экспресс-диагностики. Во-первых, мы использовали кПЦР с праймерами специфичными для аллелей MtrBTN1 и MtrBTN2, и убедились в его невысокой надежности из-за высокой частоты ложноположительных результатов. Во-вторых, мы испробовали подход, основанный на генотипировании, тканей больных и здоровых мидий по фрагментам митохондриального COI и ядерного p53-подобного онкогена мидий (p53) с помощью секвенирования по Сэнгеру и визуального анализа хроматограмм. Оказалось, что у всех инфицированных мидий с долей анеуплоидных клеток в гемолимфе не менее 15% на хроматограммах можно прочесть раковые аллели. Если у MtrBTN1 и MtrBTN2 разные COI аллели, то генотипы p53 у них одинаковые. Методику диагностики BTN с помощью COI мы опубликовали под названием «COI-тест на гетероплазмия» [Skazina et al., 2023], в то время как процедура «p53-теста», пока, обнародована в виде препринта.

Работа с p53 и COI потребовала анализа литературных данных и ресурсов генбанка NCBI и дала интересные побочные результаты. Во-первых, в генбанке мы нашли генотип MtrBTN2. Это генотип 62mc10, найденный у гетероплазмичной мидии *M. trossulus* в Балтийском море, наравне со стандартной митохондрией [Zbawicka, Wenne, Burzyński, 2014]. Это позволяет сказать, что балтийская мидия тоже болеет MtrBTN2. Во-вторых, при работе с p53 мы основывались на опыте Катерины Василенко с соавторами [Vassilenko et al., 2010; Vassilenko, Baldwin, 2013], которые показали различия между генотипами p53 гемолимфы здоровых и больных мидий из канадской популяции *M. trossulus* с высокой заболеваемостью DN. Генотипы больных канадских мидий оказались генотипами MtrBTN, что указывает на прямую связь между BTN и эпизоотиями DN у этих моллюсков.

Таким образом, мидии *M. trossulus* в морях России болеют MtrBTN, причем обеими известными линиями рака, и на Дальнем Востоке, и в Европейских морях. MtrBTN – причина эпизоотий DN у мидий, что делает изучение этой инфекции важным не только с теоретической точки зрения. В дальнейших исследованиях мы планируем использовать следующую процедуру диагностики MtrBTN: сперва рак подтверждается цитологически либо гистологически, а потом проверяется гипотеза BTN с помощью COI-теста и (или) p53-теста. Мы надеемся, этот подход окажется полезен и при исследовании трансмиссивных раков у других объектов.

## Финансирование

Исследование выполнено при поддержке РНФ (грант 19-74-20024)

### Список литературы:

1. Brannock P. M., Hilbish T. J. Hybridization results in high levels of sterility and restricted introgression between invasive and endemic marine blue mussels // *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 2010. T. 406. С. 161–171.
2. Burioli E. A. V. et al. Traits of a mussel transmissible cancer are reminiscent of a parasitic life style // *Sci. Rep.* 2021. T. 11. № 1. С. 1–12.
3. Carballal M. J. et al. Neoplastic diseases of marine bivalves // *J. Invertebr. Pathol.* 2015. T. 131. С. 83–106.
4. Garcia-Souto D. et al. Mitochondrial genome sequencing of marine leukaemias reveals cancer contagion between clam species in the Seas of Southern Europe // *Elife.* 2022. T. 11. С. 1–20.
5. Hammel M. et al. Prevalence and polymorphism of a mussel transmissible cancer in Europe // *Mol. Ecol.* 2022. T. 31. № 3. С. 736–751.
6. House M., Elston R., Street W. B. Disseminated Neoplasia of Bivalve Molluscs // 2006. № February. С. 1–12.
7. Metzger M. J. et al. Horizontal transmission of clonal cancer cells causes leukemia in soft-shell clams // *Cell.* 2015. T. 161. № 2. С. 255–263.
8. Metzger M. J. et al. Widespread transmission of independent cancer lineages within multiple bivalve species. // *Nature.* 2016. T. 534. № 7609. С. 705–709.
9. Michnowska A. et al. Horizontal transmission of disseminated neoplasia in the widespread clam *Macoma balthica* from the Southern Baltic Sea // *Mol. Ecol.* 2022. T. 31. № 11. С. 3128–3136.
10. Ní Leathlobhair M., Lenski R. E. Population genetics of clonally transmissible cancers // *Nat. Ecol. Evol.* 2022. T. 6. № 8. С. 1077–1089.
11. Odintsova N. A. et al. Naturally occurring and artificially induced tumor-like formations in marine invertebrates: A search for permanent cell lines // *J. Exp. Mar. Bio. Ecol.* 2011. T. 407. № 2. С. 241–249.
12. Skazina M. et al. First description of a widespread *Mytilus trossulus*-derived bivalve transmissible cancer lineage in *M. trossulus* itself // *Sci. Rep.* 2021. T. 11. № 1. С. 1–13.
13. Skazina M. et al. Two lineages of bivalve transmissible neoplasia affect the blue mussel *Mytilus trossulus* Gould in the subarctic Sea of Okhotsk // *Curr. Zool.* 2023. T. 69. № 1. С. 91–102.
14. Usheva L. N., Frolova L. T. Neoplasia in the connective tissue tumor in the mussel *Mytilus trossulus* from a polluted region of Nakhodka Bay, the Sea of Japan // *Ontogenez.* 2000. T. 31. № 1. С. 63–70.
15. Vassilenko E. et al. Variations in p53-like cDNA sequence are correlated with mussel haemic neoplasia: A potential molecular-level tool for biomonitoring // *Mutat. Res. - Genet. Toxicol. Environ. Mutagen.* 2010.
16. Vassilenko E., Baldwin S. A. p53 sequence polymorphisms in late-stage leukemic *Mytilus edulis* are homologous with *M. trossulus* p53 // *Mar. Biol.* 2013. T. 160. № 7. С. 1751–1760.

17. Vassilenko E., Baldwin S. A. Using flow cytometry to detect haemic neoplasia in mussels (*Mytilus trossulus*) from the Pacific Coast of Southern British Columbia, Canada // *J. Invertebr. Pathol.* 2014. T. 117. C. 68–72.
18. Yonemitsu M. A. et al. A single clonal lineage of transmissible cancer identified in two marine mussel species in South America and Europe // *Elife.* 2019. T. 8. C. 1–21.
19. Zbawicka M., Wenne R., Burzyński A. Mitogenomics of recombinant mitochondrial genomes of Baltic Sea *Mytilus* mussels // *Mol. Genet. Genomics.* 2014. T. 289. № 6. C. 1275–1287.



УДК 594.81

Рубрика 34.33.15

УЛЬТРАСТРУКТУРА ЭПИТЕЛИЕВ ЛОФОФОРА И ЩУПАЛЕЦ *NOVOCRANIA ANOMALA* (BRACHIOPODA, CRANIIFORMEA)

ULTRASTRUCTURE OF EPITHELIA OF THE LOPHOPHORE AND TENTACLES IN *NOVOCRANIA ANOMALA* (BRACHIOPODA, CRANIIFORMEA)

**Пландин Фёдор Александрович<sup>1</sup>, Темерева Елена Николаевна<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва

**Plandin Feodor Aleksandrovich<sup>1</sup>, Temereva Elena Nikolaevna<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> MSU M. V. Lomonosov, Moscow

### **Введение**

Брахиоподы – это группа морских животных, одним из наиболее характерных признаков которой является лофофор – фильтрующий орган, занимающий значительную часть мантийной полости. Лофофор состоит из двух рук, покрытых щупальцами. Щупальца осуществляют фильтрацию по up-stream механизму.

Лофофор брахиопод обладает развитой целомической системой, включающей в себя большие синусы рук, не связанные ни между собой, ни с другими отделами целомической системы, и малые синусы рук, сообщающиеся посредством перизофагеального целома в основании лофофора (около глотки и начальной части пищевода).

Ультраструктура эпителиев брахиопод, в том числе и выстилки целомических синусов лофофора, по настоящее время остаётся недостаточно изученной на ультраструктурном уровне – в литературе имеется всего лишь несколько описаний, посвящённых ультраструктуре сердца, нефридиев и целомической выстилки лофофора, притом по брахиоподам подтипа Craniiformea представлено наименьшее количество данных. Вместе с тем изучение ультраструктуры тканей различных брахиопод представляется важным в контексте уточнения филогенетических связей между различными группами внутри этого типа. Помимо этого, изучение ультраструктуры тканей позволяет лучше понять функционирование различных органов.

Объектом изучения стали целомические выстилки большого и малого синусов лофофора и щупальцевых каналов спиролофного лофофора кранииформной брахиоподы *Novocrania anomala*. Кроме того, исследована ультраструктура эпидермиса, покрывающего лофофор и щупальца, и ассоциированных с ним крупных нервов. Проводится сравнение полученных результатов с данными по ранее исследованным брахиоподам из других подтипов – *Hemithiris psittacea* (Rhynchonelliformea) и *Lingula anatina* (Linguliformea).

### **Результаты**

Все клетки, составляющие эпителиальную выстилку целомических полостей лофофора, являются моноцилиарными и микровиллярными, и связаны друг с другом различными

межклеточными контактами (десмосомами, адгезивными контактами, септированными контактами), а также с базальной пластинкой (гемидесмосомами). Выстилки различных целомических полостей отличаются друг от друга по форме клеток, степени развития синтетического аппарата и выраженности мышечных филаментов; в некоторых случаях различия касаются также расположенных на разных сторонах участков выстилки одного и того же целомического компартмента.

Целомическая выстилка больших синусов лофофора *N. anomala* отличается большим разнообразием: в ней можно выделить участки, составленные столбчатым миоэпителием, кубическим (в том числе железистым) и плоским эпителием. Миоэпителиальные участки приурочены к латеральным сторонам больших синусов и содержат только продольно ориентированные мышечные волокна, направленные вдоль оси большого синуса.

Малые синусы обладают, в отличие от больших синусов, довольно однообразной целомической выстилкой, которая состоит в основном из плоских эпителиальных клеток; миоэпителиальные клетки той же формы встречаются только на передних стенках малых синусов, вблизи отхождения щупалец. Таким типом целомелия покрыты в том числе и брахиальные сосуды, проходящие вблизи передних стенок малых синусов.

Производным целомической выстилки малых синусов являются брахиальные мышцы – продольно расположенные крупные мышцы, обеспечивающие втягивание и скручивание лофофора при раздражении. Они занимают большую часть просвета малых синусов и на всём протяжении ясно связаны с базальной пластинкой задней стенки малых синусов тонкими тяжами. Наиболее мощно брахиальные мышцы развиты в проксимальной части лофофора вплоть до первой петли, в дистальных петлях рук они практически не выражены.

Малые синусы лофофора дают начало множественным ответвлениям, проходящим в щупальца как внешнего, так и внутреннего рядов вплоть до кончиков щупалец – щупальцевым целомическим каналам. Эти каналы по большей части выстланы плоскими эпителиоцитами; на фронтальной и латерофронтальных сторонах они содержат большое количество мышечных филаментов и образуют таким образом соответственно фронтальные и латерофронтальные мышечные тяжи щупалец. Абфронтальные мышечные тяжи в щупальцах *N. anomala* отсутствуют.

Как уже было отмечено выше, малые синусы левой и правой рук лофофора сообщаются друг с другом посредством периезофагеального целома, расположенного под передней частью пищеварительного тракта. Характер эпителиальной выстилки периезофагеального целома в общих чертах повторяет выстилку малых синусов, однако имеются некоторые отличия. Во-первых, здесь отсутствуют выраженные брахиальные мышцы (именно по наличию брахиальных мышц мы проводим границу между малыми синусами и периезофагальным целомом), при этом в клетках самой выстилки наблюдается значительная плотность миофиламентов. Во-вторых, помимо отростков, ориентированных вдоль поверхности целома, клетки выстилки периезофагеального целома образуют длинные тонкие отростки, ориентированные вовнутрь и примыкающие друг к другу. Особенностью периезофагеального целома являются многочисленные кольцевые дивертикулы, окружающие глотку и начальную часть пищевода. В них практически отсутствует просвет целомической полости, так как они выстланы крупными миоэпителиальными клетками, мышечные филаменты которых ориентированы концентрически – по-видимому, эти дивертикулы, а точнее, их миоэпителиальная выстилка, обеспечивают перистальтику передних отделов пищеварительного тракта.

Клетки эпидермиса лофофора и щупалец, так же как и клетки внутренних эпителиальных выстилок, являются моноцилиарными и всегда несут микроворсинки. Форма клеток эпидермиса и степень развития их синтетического аппарата различна, однако в целом эпидермис лофофора и щупалец можно разделить на два типа: эпидермис первого типа

состоит из столбчатых клеток, а эпидермис второго типа – из кубических клеток, среди которых много железистых. Благодаря железистым клеткам на поверхности эпидермиса образуется выраженный гликокаликс. Оба типа эпидермиса имеют различные вариации, в том числе и переходные между двумя типами.

В основании эпидермиса лофофора расположено несколько пар крупных нервов – главных брахиальных, первых и вторых добавочных. В нашей работе не выявлены боковые и нижние нервы лофофора, отмеченные у других брахиопод и описанные у *N. anomala* в более ранних гистологических исследованиях.

В местах прохождения нервов эпидермис лофофора представляется собой стратифицированный эпителий, состоящий из нескольких ярусов: апикального (в основном плоские эпителиоциты, связанные с базальной пластинкой отростками), среднего (тела нейронов различных размеров и ультраструктуры) и базального (отростки нейронов). Тела нейронов практически отсутствуют во вторых добавочных нервах, которые, по-видимому, являются конечными путями иннервации щупалец и выполняют только эффекторную функцию. Отростки нейронов (нейриты) в базальном слое расположены по-разному – в главных брахиальных нервах они ориентированы преимущественно вдоль оси руки лофофора, в первых и вторых добавочных брахиальных нервах – поперечно, в сторону отхождения щупалец.

### Обсуждение и выводы

Ультраструктура целомических выстилок как больших, так и малых синусов лофофора более соответствует таковым у замковой брахиоподы *H. psittacea*, чем у *L. anatina*. Так, показано соответствие типов эпителия в больших синусах лофофора у *N. anomala* и *H. psittacea*. Однако, у *N. anomala* выстилка больших синусов представляется более упрощённой; в частности, в ней отсутствуют поперечно ориентированные мышечные тяжи, характерные для *H. psittacea*, а продольные приурочены только к латеральным сторонам синусов. Что касается малых синусов лофофора, большее сходство здесь обнаруживается также с замковой брахиоподой *H. psittacea*, у которой непосредственно в выстилке малых синусов, состоящей из плоских клеток, также практически не обнаруживаются миоэпителиоциты. Однако в целом выстилка малых синусов лофофора *N. anomala* демонстрирует сильные отличия как от *H. psittacea*, так и от *L. anatina* – в ней практически отсутствует дифференциация эпителиев на разных сторонах, и единственной модификацией эпителия являются мощные брахиальные мышцы. Так же, как у *H. psittacea*, перизофагальный целом *N. anomala* пересечён многочисленными отростками; однако, в случае *N. anomala* это длинные отростки клеток целомической выстилки, а не соединительнотканые выросты, как у *H. psittacea*.

Таким образом, по ультраструктурной организации лофофора *N. anomala* демонстрирует большее сходство с замковой брахиоподой *H. psittacea*, чем с *L. anatina*. Это может служить одним из доказательств гипотезы «Calciata», согласно которой подтипы Rhynchonelliformea и Craniiformea являются сестринскими группами, вопреки традиционному сближению Linguliformea и Craniiformea как беззамковых брахиопод (гипотеза «Inarticulata»). Вместе с тем, целомическая выстилка синусов лофофора *N. anomala* обладает некоторыми чертами, не выявляемыми у других подтипов брахиопод и особенности её организации нельзя рассматривать как однозначный аргумент в пользу какой-либо из упомянутых гипотез.

### Благодарность

Авторы благодарят Н. Н. Римскую-Корсакову и Н. Е. Будаеву за помощь в сборе материала, а также Общефакультетскую лабораторию электронной микроскопии биологического

факультета МГУ и Центр коллективного пользования электронной микроскопии РАН за возможность проведения исследований методами электронной микроскопии.

### **Финансирование**

Исследование выполнено при поддержке РФФ (грант №23-14-00020)

### **Список литературы:**

1. Carlson S.J. Phylogenetic relationships among extant brachiopods // *Cladistics* – 1995. Vol. 11. – P. 131–197.
2. Gorjansky W.J., Popov L.Y. On the origin and systematic position of the calcareous-shelled inarticulate brachiopods // *Lethaia* – 1986. Vol. 19. – P. 233–240.
3. Kuzmina T.V., Temereva E.N. Tentacle muscles in brachiopods: Ultrastructure and relation to peculiarities of life style // *J. Exp. Zool. Part B* – 2021. – Vol. 338, No. 3. – P. 192–208.
4. Kuzmina T.V., Temereva E.N., Malakhov V.V.. Ultrastructure of the lophophoral coelomic lining in the brachiopod *Hemithiris psittacea*: functional and evolutionary significance // *Zoomorphology* – 2018. – Vol. 137. – P. 257–272.
5. Temereva E.N.. Ultrastructure of the coelom in the brachiopod *Lingula anatina* // *J. Morphol.* – 2017. – Vol. 278. – P. 997–1011.

УДК 591.182

Рубрика 34.33.15

МОРФО-ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ОРГАНИЗАЦИИ НЕРВНОЙ И МЫШЕЧНОЙ СИСТЕМЫ МАНТИИ БРАХИОПОДЫ *HEMITHIRIS PSITTACEA* (RHYNCHONELLIFORMEA: RHYNCHONELLIDA)

MORPHO-FUNCTIONAL ANALYSIS OF THE ORGANIZATION OF THE NERVOUS AND MUSCULAR SYSTEM OF THE MANTLE OF THE BRACHIOPOD *HEMITHIRIS PSITTACEA* (RHYNCHONELLIFORMEA: RHYNCHONELLIDA)

**Ратновская Анна Владимировна<sup>1</sup>, Кузьмина Татьяна Валерьевна<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва*

<sup>2</sup> *Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва*

**Ratnovskaya Anna Vladimirovna<sup>1</sup>, Kuzmina Tatiana Valerievna<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *M.V. Lomonosov Moscow State University, Moscow*

<sup>2</sup> *M.V. Lomonosov Moscow State University, Moscow*

## **Введение**

Брахиоподы (Brachiopoda) – тип бентосных морских беспозвоночных животных с богатой палеонтологической историей. Мягкое тело брахиопод покрыто минерализованной двустворчатой раковиной, которая защищает животное. Тип Brachiopoda разделяется на три подтипа - Linguliformea, Craniiformea и Rhynchonelliformea. Представители подтипа Linguliformea закапываются в грунт, а представители подтипов Craniiformea и Rhynchonelliformea прикреплены к субстрату или неподвижно лежат на нем. Мягкое тело брахиопод занимает около трети пространства между створками раковины, остальная часть приходится на мантийную полость, окруженную мантией - выростом стенки тела, синтезирующим раковину. В мантийной полости расположен щупальцевый орган лофофор, который в первую очередь участвует в фильтрации пищевых частиц и дыхании. Мантийная складка состоит из внутреннего и наружного эпителия. По краю мантии в области перехода внутреннего эпителия в наружный находится мантийный желобок. Наружный эпителий подстилает раковину и синтезирует ее, в то время как внутренний ресничный эпителий участвует в очищении мантийной полости от ненужных частиц, а также в регуляции потоков воды в мантийной полости. По краю мантии располагаются щетинки, которые у брахиопод в первую очередь выполняют сенсорную функцию. Во время фильтрации створки раковины брахиопод приоткрыты, а щетинки располагаются за пределами мантийной полости. Механическое раздражение чувствительных элементов края мантии вызывает сокращение мантии и схлопывание створок раковины. Вплоть до настоящей работы не была известна организация мышечной и нервной системы мантии ринхонеллифорных брахиопод, а также способ реализации сенсорной функции щетинок мантии. В данной работе комплексом современных методов проведен морфо-функциональный анализ мышечной и нервной систем мантии брахиоподы *Hemithiris psittacea* (Gmelin, 1791).

## Материал и методы

Материалом для настоящей работы послужили взрослые особи замковой брахиоподы *Hemithiris psittacea* (Gmelin, 1790), собранные в августе 2021 года сотрудниками водолазной службы Беломорской биологической станции МГУ методом ручного сбора в Кандалакшском заливе Белого моря в окрестностях ББС МГУ на глубине 9 м. Животные были перевезены на Биологический факультет МГУ и содержались в аквариуме с искусственной морской водой при температуре 6-9° С.

Для изучения тонкого строения мантии методами трансмиссионной электронной микроскопии (ТЭМ) были вырезаны небольшие кусочки края мантии без раковины (объемом около 3 – 5 мм<sup>3</sup>). Материал был расслаблен в 3,5%-ном растворе хлорида магния и затем зафиксирован в 2,5%-ном растворе глутаральдегида на фосфатном буфере (рН 7,2) с добавлением сахарозы (100 мМоль/литр). После отмывки в буфере кусочки были дополнительно фиксированы 1%-м раствором четырехокси осмия по стандартной методике. Затем материал был обезвожен в спиртах возрастающей концентрации, пропитан и заключен в смесь смолы SPUR. Ультратонкие срезы, контрастированные уранилацетатом и цитратом свинца, были изучены на трансмиссионных электронных микроскопах JEOL JEM-1011 в Межкафедральной лаборатории электронной микроскопии Биологического факультета МГУ и в Центре коллективного пользования электронной микроскопии ИБВВ им Папанина РАН. Для обработки полученных электронных микрофотографий был использован программный пакет Adobe Photoshop CS6 (Adobe World Headquarters, San Jose, CA, USA).

Для изучения строения мантии методом иммуноцитохимии в сочетании с конфокальной лазерной микроскопией отдельные створки животных с мантией были расслаблены в 3,5%-ном растворе хлорида магния, затем зафиксирован 8 часов в 4%-ном параформальдегиде на фосфатном буфере, отмыт в фосфатном буфере с добавлением Triton X-100 (2%) Sigma 93443 (PBT) три раза по 15 минут. Затем материал был помещен на 24 часа в 10% альбумин бычьей сыворотки (BSA Sigma A2153) на PBT, инкубирован в течение 12 часов первичными антителами к серотонину 5HT-Rabbit Sigma S5545 (1:5000) и к тубулину Mouse Sigma SAB 4200776 (1:700). Далее материал был отмыт от первичных антител в PBT и инкубирован в течение 12 часов во вторичных антителах goat anti-Rabbit Alexa Fluor 546 (1:1000) и goat anti-Mouse Alexa Fluor 647 (1:1000) (Thermo Fisher Scientific). Затем материал был отмыт в фосфатном буфере и окрашен фаллоидином Phalloidin-FITC-495 Sigma P5282 (1:100) и DAPI Sigma D9542 (1:1000) по стандартной методике (Бисерова, 2013). Материал был отснят на конфокальном лазерном микроскопе Nikon Eclipse Ti (Nikon, Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA, USA) в Межкафедральной лаборатории конфокальной микроскопии Биологического факультета МГУ. Съемка велась при длине волн 546 нм (для вторичных антител на серотонин), 647 нм (для вторичных антител на тубулин), 488 нм для фаллоидина и 405 нм для DAPI. Z-проекции полученных стэков были сделаны при помощи Image J 1.43 software.

Для проведения экспериментальной части работы у животного удаляли вентральную створку и руки лофофора, оставляли не менее чем на 30 минут в морской воде для адаптации. По окончании периода адаптации оказывали точечное механическое воздействие равной величины на край мантии. Полученный результат фиксировали на камеру Leica DFC420. Для получения изолированного препарата периферического отдела мантии отсекали радиальные нервы у основания мантии. Полученные данные обрабатывали с помощью программы ImageJ 1.43 software.



## Результаты

**Организация мышечной системы мантии.** Мускулатура расположена в соединительной ткани между внутренним и наружным эпителием и представлена серией мышц, которые тянутся в продольном направлении от центральной части мантии к ее периферии, но не доходят до мантийного края. Мантийные мышцы проходят рядом с базальной частью фолликулов щетинок, окончания мышечных отростков подходят к кольцевому мантийному нерву не менее, чем на 0,5 мкм. Мантийные мышцы могут быть представлены пучком из 2-3 мышечных отростков или отдельными мышечными отростками. Мышечные пучки и отдельные отростки расположены в несколько слоев в соединительной ткани мантии. Мышечная клетка разделяется на сому, в которой содержатся основные клеточные органеллы, а также длинные сократимые отростки, содержащие миофиламенты. Сомы клеток содержат крупное ядро вытянутой формы, а также крупные митохондрии и развитый гладкий и гранулярный ЭПР. Мышечные отростки полностью заполнены миофиламентами. Диаметр толстых миофиламентов на поперечном срезе через одну мышечную клетку варьирует, из чего следует, что толстые миофиламенты имеют веретенообразную форму, поскольку на срезах располагаются как более тонкие концевые участки миофиламентов, так и их наиболее широкая средняя часть. Максимальное значение диаметра толстых миофиламентов – 71 нм, что показывает наличие парамиозиновых волокон. Каждый мышечный отросток или пучок окружен тонким слоем плотного внеклеточного матрикса, к которому прикрепляется серией гемидесмосом. Нами не было обнаружено клеточных контактов между мышечными отростками в одном пучке.

**Организация нервной системы мантии.** От подглоточного ганглия отходят мантийные нервы, которые заходят в мантийную складку и формируют радиальные нервы. Радиальные мантийные нервы тянутся к краю мантии, при этом они сильно ветвятся и формируют анастомозы. Дистальные участки мантийных нервов проходят вдоль фолликулов щетинок и впадают в кольцевой нерв мантии. Кольцевой нерв идет вдоль всего края мантии и располагается у основания мантийного желобка. Мантийные нервы *H. psittacea* проходят в базальной части наружного и внутреннего мантийного эпителия. Кольцевой мантийный нерв также располагается базиэпителиально во внутреннем эпителии мантии у основания мантийного желобка. Кольцевой и радиальные нервы содержат перикарии и многочисленные нервные отростки. Перикарии содержат электронно-светлую цитоплазму, крупное ядро неправильной формы с ядрышком, митохондрии, гранулярный ЭПР, а также небольшое количество везикул с электронно-плотным центром и светлым ободком. Среди перикариев располагаются нервные отростки двух типов. Отростки первого типа наиболее многочисленны и содержат электронно-светлую цитоплазму, микротрубочки, также редкие везикулы с электронно-плотным центром и электронно-светлым ободком, их размер варьирует от 100 нм до 500 нм. Нервные отростки второго типа более крупные, их диаметр составляет от 500 нм до 1000 нм у взрослых особей. Нервные отростки второго типа заполнены электронно-плотной цитоплазмой и содержат электронно-светлые везикулы, а также многочисленные везикулы с электронно-плотным центром и электронно-светлым ободком.

Рядом с основанием щетинок располагаются воротничковые рецепторы. В апикальной части этих клеток располагаются 9 микроворсинок специфической формы, которые окружают расположенный в центральной части жгутик. Данные клетки соединены с соседними клетками адгезивными контактами в апикальной части. Базальная часть рецепторных клеток подходит к кольцевому нерву.

Мантийные нервы выявляют иммуноцитохимическую реакцию к серотонину. Также нервная система мантии окрашивается глиоксиловой кислотой, что показывает присутствие в нервной системе катехоламинов.

## Реакция края мантии на механическое воздействие

В данной работе мы исследовали сократительную реакцию дорсальной мантии, вызванную механическим раздражением у брахиопод с удаленной вентральной створкой.

Вскрытие и удаление вентральной створки раковины приводит к генерализованной равномерной ретракции края дорсальной мантии. При этом сокращение мантии сопровождается втягиванием щетинок внутрь мантийной полости. Через 30-60 минут после манипуляции дорсальная мантия релаксирует, в результате чего край мантии достигает края раковины, а щетинки выходят за пределы мантийной полости. Точечное механическое воздействие приводит только к локальной ретракции сегмента края мантии. Повторное точечное механическое воздействие приводит к кумуляции сократительной реакции: ретракция того же сегмента края мантии увеличивается на  $50 \pm 25\%$ .

В экспериментах с изолированным периферическим участком мантии реакция на механическое воздействие сохраняется, как и в мантии, сохраняющей связь с подглоточным ганглием.

В обоих типах экспериментов наибольшая величина локальной ретракции в ответ на точечное механическое воздействие наблюдается в передней части мантии (у переднего края раковины); минимальная амплитуда – в латеральных участках края мантии.

При увеличении площади одновременного воздействия вся мантия переходит в состояние частичного напряжения. Одиночное воздействие на пучок щетинок не приводит к реакции. При синхронном механическом воздействии на сегмент края мантии большей чем  $1/3$  ее периметра наблюдается генерализованная ретракция.

## Обсуждение

Схлопывание створок раковины является естественной защитной реакцией на механическое воздействие. Ретракция края мантии является необходимым элементом защитного рефлекса. Для успешной реализации двух указанных выше явлений необходима синхронизация и интеграция сокращений мышц-замыкателей и мускулатуры мантии. Можно предположить, что радиальные нервы мантии вовлечены в сопряжение ретракции мантии и схлопывание створок. Тем не менее наши эксперименты указывают на возможность автономного сократительного ответа и автономность ретракции края мантии. Локальная, т.е. независимая от возбуждающих воздействий со стороны подглоточного ганглия, сократительная реакция может реализовываться посредством двух нейрональных механизмов, включая аксон-рефлекс или передачу возбуждения через периферический нейрон. Наличие крупного кольцевого нервного тяжа на периферии мантии подкрепляет предположение о вовлеченности периферических нейронов в опосредование локальных сократительных ответов.

Как указано выше, мантия может находиться в сокращенном состоянии длительное время. Эта особенность с большей вероятностью обусловлена особой организацией толстых миофиламентов с большим количеством парамиозина в мантийных мышцах, чем тонической секрецией нейромедиаторов нервными клетками. Поскольку не обнаружено прямых контактов между мышечной и нервной клетками, мы предполагаем, что активация мышечных клеток может происходить классическим способом в результате вызванной секреции нейромедиаторов во внеклеточный матрикс, а не в результате электро-тонического воздействия через щелевые контакты.

## **Финансирование**

Работа выполнена при поддержке гранта РФФ № 23-14-00020.

УДК 592

Рубрика 57.06.03

СЕКРЕТ XENACOELOMORPHA

SICRET OF XENACOELOMORPHA

**Константинова Юлия Ильинична<sup>1</sup>, Темерева Елена Николаевна<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова (МГУ), г. Москва*

<sup>2</sup> *Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова (МГУ), г. Москва*

**Konstantinova Julia Ilyinichna<sup>1</sup>, Temereva Elena Nikolaevna<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Lomonosov Moscow State University, Moscow*

<sup>2</sup> *Lomonosov Moscow State University, Moscow*

### **История типа**

Группа Xenacoelomorpha в большинстве работ фигурирует как тип и включает в себя две сестринские группы - Xenoturbellida и Acoelomorpha.

Представителей Nemertodermatida изначально включали в группу Acoela, но через некоторое время их стали выделять в качестве отдельной клады (Karling, 1940, 1974).

Таксон Acoelomorpha считался примитивной группой плоских ресничных червей турбеллярий (Abildgaard, 1806; Ehlers, 1985; Ivanov and Mamkaev, 1977). Позже, было принято решение отнести Acoelomorpha к отдельному типу вне плоских червей. Однако монофилия подтипа Acoelomorpha (Acoela + Nemertodermatida) всё ещё находится под вопросом (Jondelius et al. 2002; Telford et al. 2003; Wallberg et al. 2007). Дальнейшее положение клады Acoelomorpha многократно пересматривалось: они появлялись в работах в качестве сестринской группы по отношению к другим билатериям (Ruiz-Trillo et al. 1999), внутри Lophotrochozoa, как к сестринская группа Gnathostomulida (Dunn et al. 2008), а также как сестринская группа вторичноротых (Philippe et al. 2007).

Представители группы Xenoturbellida оказывались либо в составе собственного типа, либо в единой группе с Acoelomorpha или же их считали плезиоморфными многоклеточными (Jagersten, 1959).

Хайноль с соавторами (Hejnol et al. 2009) впервые сделали вывод о монофилетической группировке Acoelomorpha и *Xenoturbella bocki* (относится к п/т Xenoturbellida) на основе молекулярных данных. Затем был предложен общий тип Xenacoelomorpha в 2011 году на основе анализа молекулярных данных, с дальнейшим подтверждением морфологическими синапоморфами (Philippe et al., 2011). Однако дальнейшие размышления на тему укоренения этого типа в древе жизни является предметом непрекращающихся дискуссий с момента его выделения и по сей день.

## Экология

За исключением рода *Oligochoerus* и нескольких других пресноводных видов, черви из Xenacoelomorpha являются морскими обитателями, и подавляющее большинство видов живут в бентической или интерстициальной среде обитания и передвигаются с помощью ресничного скольжения. Лишь немногие из них (в основном *Sagittiferidae* с фотосимбиотическими эндосимбионтами) являются «плоскими червями» в морфологическом смысле, большинство видов имеют цилиндрическую форму тела (Haszprunar, 2015). Среди представителей типа распространено явление симбиоза с бактериями и водорослями. Сами черви могут выступать в роли эндосимбионтов (*Meara stichopi* обитает в кишечнике голотурий).

Пищевая диета варьирует в зависимости от среды обитания: от бактерий и одноклеточных водорослей до ракообразных, мелких двустворчатых моллюсков и червей (включая других ацолей); некоторые известны каннибализмом (например, *Conaperta flavibacillum*) (Achatz et al., 2012).

## Синапоморфные признаки типа Xenacoelomorpha

- 1) Полицилиарный, железистый эпидермис с уникальным типом ресничек, имеющих особенности строения и ундулоподия, и корешковой системы (Haszprunar, 2015);
- 2) Пульсирующие тельца как особый вид регенерации эпидермиса (Haszprunar, 2015);
- 3) Полость тела ацеломатная (особый тип): пространство между органами заполнено мышечными клетками;
- 4) Мешкообразная слепозамкнутая кишка с вентральным или задним единственным отверстием;
- 5) Базиэпидермальные нервные сплетения (имеются у всех представителей, но могут иметься и дополнительные структуры нервной системы) (Hejnol and Pang, 2016);
- 6) Отсутствие стоматогастральной нервной системы;
- 7) Переднерасположенная везикула статоцисты со свободными статокониальными клетками, имеющими внутриклеточный статолит;
- 8) Полное отсутствие ультрафильтрационных выделительных систем;
- 9) Отсутствие настоящего гонадного эпителия; прямое развитие без кормящейся личиночной стадии (Haszprunar, 2015)
- 10) Отсутствие циркуляционной и дыхательной систем
- 11\*) Ацолы и немертодерматиды имеют уникальные лобные органы с железистыми и сенсорными клетками (Ehlers, 1992).
- 12\*) Ещё одна синапоморфия Acoelomorpha – наличие статоцистного ганглия (например, Raikova, 2008)

## Особенности размножения и эмбрионального развития

Представители подтипа Xenoturbellida полностью лишены копулятивных органов (Jondelius et al., 2019). Гонады также отсутствуют, а гаметы располагаются в разных частях тела (внутри пищеварительной полости, в клетках кишечника, на наружной поверхности кишечника, между кишечником и эпидермальным слоем, а также внутри эпидермального слоя), высвобождаясь с разрывом тела. Оплодотворение, предположительно, является внешним (Nakano, 2019).

Сперматозоиды *Xenoturbella bocki* имеют вид типичный для примитивных билатерий: моножгутиковая клетка с округлой головкой и свободным жгутиком 9+2 без отдельной средней части (Obst et al., 2011).

Дробление голобластичекое радиальное (Nakano, 2019).

Считается, что ксенотурбеллиды обладают прямым развитием с короткой стадией плавающей, не кормящейся личинкой, но за исключением апикального пучка, эмбрион не демонстрирует никаких других видимых личиночных структур (Nakano et al., 2013).

У представителей Nemertodermatida из половых органов имеются только семенные пузырьки, открывающиеся субтерминально (Jondelius et al., 2019).

Немертодерматиды имеют нитевидные сперматозоиды с одним жгутиком 9+2, сильно модифицированные для проникновения в ткани (Jondelius et al. 2019). Предполагается, что сперматозоиды передаются путём прокалывания стенки тела (Nielsen, 2012).

Дробление спирально-дуэтное, однако на ранних стадиях проявляет черты радиального. Возможно, немертодерматиды проявляют промежуточное состояние между радиальным дроблением других животных и спирально-дуэтным дроблением ацелей (Hejnol, 2015).

Ацели - одновременные или слегка протандрические гермафродиты. Гонады всегда асакулярные (Rieger et al. 1991), то есть зародышевые клетки не выстланы и не отделены от окружающей паренхимы специализированной тканью. Положение яичников и семенников весьма изменчиво даже по отношению друг к другу. Копулятивные органы самцов очень разнообразны и варьируются в общей анатомии от отсутствия или простых инвагинаций стенки тела (антрального отдела) до сложных структур. Копулятивный орган самки состоит из гонопора(ов), влагалища(ь), семенной сумки(ок) и одного или нескольких бурсальных сопел, но некоторые или все эти части могут отсутствовать, в результате чего у животного остается своего рода незаметная бурсальная ткань или вообще не наблюдается очевидной адаптации (Achatz et al. 2012).

Ацели имеют aberrantные нитевидные двужгутиковые сперматозоиды со встроенными жгутиками в перевернутом положении и поддерживающими микротрубочками (корковыми или осевыми) (Hendelberg 1969, 1977). У Acoela описаны три конфигурации аксоном сперматозоидов: 9 + 2; 9 + 0 и 9 + 1.

Оплодотворение всегда внутреннее; способ совокупления значительно варьируется и, по-видимому, связан с окружающей средой (Apelt, 1969). Среди способов передачи спермы — взаимный обмен и подкожных инъекций. Яйца откладываются по отдельности или группами через рот, гонопор самки или через разрыв стенки тела (Apelt 1969; Rieger et al. 1991; Achatz et al. 2012).

Эмбриональное развитие является прямым и следует четкому паттерну спирального дуэтного дробления. Дробление спиральное и второе, асимметричное и горизонтальное деление приводит к образованию микромеров (Apelt, 1969).

### **Разнообразие планов строения внутри типа**

Помимо представленных выше синапоморфий и общей простоты плана строения, трудно подобрать совокупность признаков, подходящих для создания некоей общей схемы строения червей из типа Xenacoelomorpha. В рассматриваемых группах (Acoela, Nemertodermatida и Xenoturbellida) все большинство имеющихся структур имеют множество принципиально различных вариантов строения. При этом, представители Xenoturbellida демонстрируют наиболее простое строение, а в наиболее богатом видами отряде Acoela реализованы более



сложные варианты. Черви из отряда Nemertodermatida по сложности устройства различных структур тела занимают промежуточное положение между этими двумя группами. Такую закономерность хорошо иллюстрирует строение нервной и пищеварительной системы.

Так, *Xenoturbella bocki* имеет очень простую нервную систему, состоящую исключительно из сети базипидермальных нервов, лежащей над толстой базальной пластинкой, при этом мозговая структура не обнаруживается (Jondelius et al., 2019). У «базальных» представителей Nemertodermatida нервная система представлена кольцевым коннективом, продольным пучком нейритов и базипидермальным нервным сплетением (Achatz et al., 2012). В случае Acoela, самые базальные группы имеют нервную систему организованную в виде кольца отростков в области вокруг статоцисты, а у наиболее «продвинутых» (недавно дивергировавших) ацолей, нервная система организована как компактный ганглиозный мозг, с плотным нейропилем, окруженным многочисленными клеточными телами (Raikova, 2004).

### Современные филогенетические данные

На уровне эволюции плана строения представителей Xenacoelomorpha основная теоретическая дихотомия заключается в следующем: имеют ли эти черви строение, присущее изначально простыми билатеральными предками или же их строение является вторично упрощенным вариантом более сложного билатерального организма.

Существует три основных подхода к решению проблемы филогенетического положения Xenacoelomorpha:

- (1) Сестринская группа Ambulacraria в составе Deuterostomia с формированием новой клады Xenambulacraria;
- (2) Сестринская группа Nephrozoa (Protostomia + Deuterostomia) в составе Bilateria;
- (3) Различные варианты парафилитического положения представителей Xenacoelomorpha

Принятие решения относительно укоренения таксона Xenacoelomorpha осложняется высокими скоростями эволюции генетических последовательностей, а также потерей генов внутри типа (Mulhair et al., 2022).

### Гипотезы эволюции

Первые представления о положении ацолей в систематике были связаны с теорией «ацольно-планулоидной гипотезой» (Graff, 1904; Huxley, 1951), в рамках которой общий предок билатерий и Xenacoelomorpha имел строение планулы книдарий. Тогда ацолы рассматриваются как прямые мало изменившиеся потомки таких урбилатерий (Achatz et al. 2012). В контексте гипотезы Nephrozoa т.н. химерная природа ксенацолей (считается, что они разделяют признаки книдарий и нефрозоев (Hejnol and Pang, 2016)) позволяет делать некоторые дополнительные построения - реконструкции общего предка Xenacoelomorpha и Nephrozoa – Urbilateria.

Параллельно с этой гипотезой существовала иная – архицеломатная гипотеза, согласно которой общий предок Bilateria имел относительно сложное строение и был снабжен целомом, сквозной кишкой и сложной нервной системой (Sedgwick 1884; Jagersten 1955). Тогда представители Xenacoelomorpha объединялись в один таксон и будучи вторично упрощенными организмами относительно, например, более сложно устроенного предка Deuterostomia (Achatz et al. 2012) или же они могли идти по пути упрощения в течение сотен миллионов лет отдельно от остальных билатерий, теряя черты последнего общего предка билатерий (в контексте архицеломатной гипотезы – целом, анус и др.) (Ruiz-Trillo and Paps, 2015).

### Список литературы:

1. Karling T. G. Zur Morphologie und Systematik der Alloecoela Cumulata and Rhabditophora Lecithophora (Turbellaria) // *Acta Zool. Fenn.* 1940. 26, 1–160.
2. Karling T. G. On the anatomy and affinities of the turbellarian orders // Riser, N.W. and Morse, M.P. (eds) *Biology of the Turbellaria*. McGraw-Hill, New York. 1974. 1–16.
3. Abildgaard, P. C. *Zoologica danica seu animalium Danicae et Norwegiae rariorum ac mines notorum descriptorum et historia*. // O. F. Müller (Ed.), *Zoologica Danica* 1806. 4, p. 26.
4. Ehlers U. *Das phylogenetische system der Plathelminthes* // Stuttgart: Gustav Fischer. 1985. 317 pp.
5. Ivanov V. P., Mamkaev Y. V. Über die Struktur des Digestionsparenchyms bei Turbellaria Acoela // *Acta Zoologica Fennica*, 1977. 154, 59–61
6. Jondelius U., Ruiz-Trillo I., Baguña J., Riutort M. The Nemertodermatida are basal bilaterians and not members of the Platyhelminthes // *Zoologica Scripta*. 2002. 31(2), 201–215.
7. Telford M. J., Lockyer A. E., Cartwright-Finch C., Littlewood D. T. J. Combined large and small subunit ribosomal RNA phylogenies support a basal position of the acoelomorph flatworms // *Proceedings of the Royal Society of London Series B-Biological Sciences*. 2003. 270(1519), 1077–1083.
8. Wallberg A., Curini-Galletti M., Ahmadzadeh A., Jondelius U. Dismissal of Acoelomorpha: Acoela and Nemertodermatida are separate early bilaterian clades // *Zoologica Scripta*. 2007. 36: 509-523.
9. Ruiz-Trillo I., Riutort M., Littlewood D. T., Herniou E. A., Baguna J. Acoel flatworms: earliest extant bilaterian Metazoans, not members of Platyhelminthes // *Science*. 1999. 283(5409), 1919–1923.
10. Dunn C. W., Hejnal A., Matus D. Q., Pang K., Browne W. E., Smith S. A., et al. Broad phylogenomic sampling improves resolution of the animal tree of life // *Nature*. 2008. 452(7188), 745–749.
11. Philippe H., Brinkmann H., Copley R.R., Moroz L.L., Nakano H., Poustka A.J., Wallberg A., Peterson K.J., Telford M.J. Acoelomorph flatworms are deuterostomes related to Xenoturbella // *Nature*. 2011. 470, 255–258.
12. Philippe H., Brinkmann H., Martinez P., Riutort M., Baguna J. Acoel flatworms are not platyhelminthes: evidence from phylogenomics // *PLoS ONE*. 2007. 2(8), e717.
13. Jagersten G. Further remarks on the early phylogeny of Metazoa // *Zool Bidr Upps.* 1959. 33:79–108.
14. Hejnal A., Obst M., Stamatakis A., Ott M., Rouse G. W., Edgecombe G. D., et al. Assessing the root of bilaterian animals with scalable phylogenomic methods // *Proceedings of the Biological Sciences*, 2009. 276(1677), 4261–4270.
15. Haszprunar, G. Review of data for a morphological look on Xenacoelomorpha (Bilateria incertae sedis). *Org Divers Evol* 16, 363–389. 2016.

16. Achatz, J.G., Chiodin, M., Salvenmoser, W. et al. The Acoela: on their kind and kinships, especially with nemertodermatids and xenoturbellids (Bilateria incertae sedis) // *Org Divers Evol.* 2012. 13, 267–286 .
17. Hejnol, A., Pang, K. Xenacoelomorpha's significance for understanding bilaterian evolution // *Curr. Opin. Genet. Dev.* 2016. 39, 48–54.
18. Ehlers U. Frontal glandular and sensory structures in Nemertoderma (Nemertodermatida) and Paratomella (Acoela): ultrastructure and phylogenetic implications for the monophyly of the Euplathelminthes (Plathelminthes) // *Zoomorphology.* 1992. 112, 227–236.
19. Raikova O. I. Neurophylogeny of early bilaterians: Acoela, Nemertodermatida, Xenoturbella. Abstracts of the ICIM-1 // *Journal of Morphology.* 2008. 269, 1459–1460.
20. Nakano H. Development of Xenoturbellida. In: Tworzydło, W., Bilinski, S. (eds) *Evo-Devo: Non-model Species in Cell and Developmental Biology. Results and Problems in Cell Differentiation.* 2019. Vol 68. Springer, Cham.
21. Obst M., Nakano H., Boutilat S. J., Thorndyke M. C., Telford M. J., Nyengaard J. R., Funch P. () Sperma- tozoon ultrastructure of Xenoturbella bocki (Westblad 1949) // *Acta Zool.* 2011. 92(2):109–115.
22. Nakano H., Lundin K., Boutilat, S. et al. Xenoturbella bocki exhibits direct development with similarities to Acoelomorpha // *Nat Commun.* 2013. 4, 1537.
23. Jondelius U, Raikova O. I., Martínez P. Xenacoelomorpha, a Key Group to Understand Bilaterian Evolution: Morphological and Molecular Perspectives. 2019.
24. Nielsen C. Animal evolution. Interrelationships of the living phyla (3rd ed.) // Oxford: Oxford University Press. 62-72 pp. 2012.
25. Hejnol A. Acoelomorpha and Xenoturbellida // Wanninger A (ed) *Evolutionary developmental biology of invertebrates.* 2015. vol 1. Springer, Wien, pp 203–214
26. Rieger R. M., Tyler S., Smith J. P. S. III, Rieger G. E. Platyhelminthes: Turbellaria // Bogitsh BJ, Harrison FW (eds) *Microscopic anatomy of invertebrates.* Wiley-Liss, New York. 1991.
27. Hendelberg J. Comparative morphology of turbellarian spermatozoa studied by electron microscopy // *Acta Zoologica Fennica,* 1977.149–162.
28. Hendelberg J. On the development of different types of spermatozoa from spermatids with two flagella in the Turbellaria with remarks on the ultrastructure of the flagella // *Zoologiska Bidrag fran Uppsala.* 1969. 38, 2–50.
29. Apelt, G. Die Symbiose zwischen dem acoelen Turbellar *Convoluta convoluta* und Diatomeen der Gattung *Licmophora* // *Marine Biology.* 1969. 3, 165–187.
30. Raikova O. I., Reuter M., Gustafsson M. K. S., Maule A. G., Halton D. W., Jondelius U. Evolution of the nervous system in *Paraphanostoma* (Acoela) // *Zoologica Scripta.* 2004. 33, 71–88.
31. Mulhair P. O., McCarthy C. G. P., Siu-Ting K., Creevey C. J., O'Connell M. J. Filtering artifactual signal increases support for Xenacoelomorpha and Ambulacraria sister relationship in the animal tree of life // *Curr Biol.* 2022. Dec 5;32(23):5180-5188.e3.
32. Graff L.V. Acoela und Rhabdocoelida // In H. G. Bronn (Ed.), *Klassen und Ordnungen des Thier-Reichs.* 1904–08. Vol. 4, pp. 1732–2597. Leipzig: C. F. Winter'sche Verlagshandlung.
33. Hyman L. H. *The Invertebrates: Platyhelminthes and Rhynchocoela. The acoelomate Bilateria* // New York: McGraw Hill Book Co. 1951. Vol. 2.

34. Sedgwick A. Memoirs: on the origin metamerism and some other morphological question // *The Quarterly Journal of Microscopical Science*. 1884. 24, 43–82.
35. Jagersten G. On the early phylogeny of the Metazoa: the bilaterogastraea theory // *Zoologiska Bidrag Uppsala*, 1955. 30, 321–354.
36. Ruiz-Trillo I., Paps J. Acoelomorpha: earliest branching bilaterians or deuterostomes? // *Org. Divers. Evol.* 2015. 16, 391–399.

УДК 594.81

Рубрика 34.33.15

МЕТАМОРФОЗ SPIRALIA

SPIRALIA METAMORPHOSIS

**Тайманова Ольга Искандеровна, Темерева Елена Николаевна**

*МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва*

**Taimanova Olga Iskanderovna, Temereva Elena Nikolaevna**

*MSU M. V. Lomonosov, Moscow*

### **Введение**

Метаморфоз является одним из важнейших процессов в жизни животных с непрямым развитием. Тем не менее, для многих групп морфологические и анатомические преобразования, молекулярные механизмы и экологические особенности изучены неполностью. Важно выделить временные рамки метаморфоза. Он начинается, когда пелагическая личинка безвозвратно оседает на морское дно и инициирует дегенерацию личиночных структур. Когда все основные ювенильные структуры появились, и ювенильная особь функционирует в окончательной среде обитания ювенильно-взрослой особи, метаморфоз заканчивается (Hadfield et al. 2001). Также стоит отметить, почему данная тема актуальна и в каких исследованиях в качестве опоры рассматриваются этапы метаморфоза. Важным направлением работы является изучение вероятного происхождения плана строения беспозвоночных животных. То есть рассматривая последовательность этапов метаморфоза и строение тела взрослой особи, можно сделать предположение о формировании плана строения животного в филогенезе. К примеру, основываясь на метаморфозе краниид, в частности, *Novocrania anomala* (Nielsen 1991, 2001), были выдвинуты гипотезы о происхождении плана тела брахиопод. Речь идет о «гипотезе брахиоподового складывания» (Nielsen 1991), во время метаморфоза краниид, собственно, и наблюдается складывание личинки (Nielsen 2001; Kuzmina, Malakhov, Temereva 2019). Первоначально складывание могло быть особенностью поведения и защитной привычкой от хищников. В качестве второго примера можно привести метаморфоз форонид. По сути, тело взрослого червя является вентральным выростом тела личинки. Вентральная сторона тела часто используется как ломоторный орган, и возможный предок форонид закапывался с его помощью во избежание опасности. В метаморфозе форонид наблюдается выворачивание метамомального мешка и, по сути, тело взрослой личинки является вентральной стороной тела личинки. В обоих случаях поведенческий модус мог закрепиться и дать начало такому необычному плану тела современных организмов.

### **Сравнительный анализ преобразований личиночных систем органов в метаморфозе**

Метаморфоз у разных типов Spiralia очень разнообразен, что в принципе характерно для беспозвоночных. И даже внутри одного типа личинки и их преобразования непохожи друг на друга. Однако есть условная традиционная классификация метаморфоза: катастрофический и некатастрофический. Для первых характерно дегенерация большей части личиночных систем органов. Подобное мы можем наблюдать, например, у немертин и форонид, мшанок с личинками цифонаутами. У плоских червей и брахиопод метаморфоз носит эволютивный

характер и существенных преобразований личиночных систем органов практически не происходит. Кольчатые черви и моллюски претерпевают значительные изменения, однако личиночные органы, по большей части, не дегенерируют, а усложняются. У внутривещевых наблюдается промежуточная ситуация.

Личинок всех перечисленных типов беспозвоночных объединяет наличие апикального органа и ресничных шнуров, участвующих в питании и плавании. Практически у всех беспозвоночных они исчезают в ходе метаморфоза. Особенно интересно разрушение апикального органа, который считается личиночным мозгом, и что роль дефинитивного мозга берут на себя другие ганглии.

### Метаморфическая компетентность

До начала метаморфоза организм должен пройти ряд стадий от зиготы к свободноживущей личинке, способной к метаморфическому морфогенезу. Это последнее состояние известно как метаморфическая компетентность и определяется как способность развития к полной метаморфозе, вызванной внутренними или внешними факторами.

Компетентные личинки большинства донных морских беспозвоночных запускаются для метаморфоза внешними сигналами (Hadfield and Paul 2001). Метаморфическая компетентность

наделяет личинок способностью (1) сохраняться в планктоне, сохраняя при этом способность к метаморфозу, и (2) быстро метаморфизировать в ответ на внешние сигналы в подходящие места для выживания, роста и размножения (Hadfield et al. 2001). Метаморфическая компетентность обычно возникает у большинства морских беспозвоночных в то время, когда развитие ювенильных структур полностью или почти завершено (за исключением коронатных личинок мшанок). У некоторых видов, которые мы считаем вполне лецитотрофными, личинки дееспособны к моменту вылупления из внешней яичевой массы или выхода из материнского организма. Этот образец типичен Брюзоа с корончатыми личинками и многих полихет. Многие из этих видов во взрослом состоянии ведут сидячий образ жизни и часто встречаются вместе в сообществах обрастания. Их личинки оседают очень скоро после выпуска или вылупления, поэтому их распространение очень ограничено. У остальных видов морских беспозвоночных компетентность развивается после того, как личинки провели некоторое время в планктоне независимо от того, питались они или нет. У планктотрофных личинок развитие компетентности в значительной степени зависит от обилия твердых частиц пищи, и, таким образом, возраст личинок в начале компетентности может варьироваться в зависимости от сезона и условий питания. Есть виды, например, моллюск *Phestilla sibogae*, личинки которых могут стать компетентными и метаморфизировать без питания, но которые также способны питаться и поддерживать себя в планктоне. Такие виды называют факультативными планктотрофами (Kempf and Hadfield 1985; Highsmith and Emlet 1986).

Продолжительность компетентности у всех разная. Способность поддерживать компетентность наделяет многих личинок морских беспозвоночных способностью выживать в течение длительных планктонных периодов, возможно, пересекая просторы неподходящей среды обитания, где спонтанная метаморфоза автоматически приведет к смерти.

Есть, конечно, сообщения о негативной судьбе личинок, содержащихся без стимулов поселения. Происходит одно из 3 одинаково катастрофических событий. (1) Личинки метаморфизировались спонтанно, независимо от того, где они находятся. (2) Личинки умирают в течение нескольких дней после достижения компетентности, если они не сталкиваются с соответствующим метаморфическим стимулом. (3) Личинки выживают длительное время после потери способности к полному метаморфозу даже при наличии типичных метаморфических стимулов (Pechenik 1990). Было установлено, что компетентные личинки



*Phestilla sibogae* существуют в состоянии без митоза и с минимальной транскрипцией и трансляцией, необходимыми для продолжения дыхательных и метаболических процессов (Hadfield et al. 2001).

Таким образом, можно сделать вывод, что компетентные личинки большинства беспозвоночных содержат «предварительно сформированную» молодь и, таким образом, претерпевают очень быстрые метаморфозы, делая период чрезвычайно уязвимого состояния крошечного животного, приспособленного к пелагической жизни на бентосе, максимально коротким (Hadfield 2000).

### Молекулярные особенности метаморфоза

Один из найденных механизмов регуляции метаморфоза связан с серотонином (5-НТ) – широко распространенным модулятором и среди беспозвоночных, и среди позвоночных. Это также самый ранний нейромедиатор, появляющийся в процессе развития нейронов. Первые серотонинергические клетки появляются на 5-й день эмбриогенеза (Marois and Carew 1990) и располагаются в апикальном органе. Например, у личинок пресноводных моллюсков и морских полихет эндогенный 5-НТ, высвобождающийся из нейронов апикального органа чувств в ответ на внешние стимулы, замедляет развитие личинок на претаморфных стадиях и ускоряет его на

метаморфных стадиях (Glebov et al. 2014). На личинке пресноводной улитки *Helisoma trivolvis* был предложен механизм двойного воздействия серотонина. Стимуляция 5-НТ<sub>R</sub> на претаморфных стадиях вызывает задержку развития, в то время как их стимуляция на метаморфных стадиях вызывает ускорение развития (Glebov et al. 2014).

Также было показано, что β-адренергические рецепторы могут быть вовлечены в метаморфоз личинок моллюска *Meretrix meretrix* под действием адреналина или норадrenalина (Wang et al. 2006). Механизм регуляции точно не изучен, однако можно предположить, что β-адренергические рецепторы вступают в cAMP-зависимый сигнальный путь для запуска метаморфоза (Wang et al. 2006). На примере моллюсков *Crepidula fornicata* и *Phestilla sibogae* было доказано, что NO действует как эндогенный ингибитор метаморфоза. Согласно данным Pires и его соавторов (2000) дофамин играет важную роль в метаморфическом пути моллюска *Crepidula fornicata*. Дофаминовые рецепторы вовлечены в путь, через который избыток ионов калия стимулирует метаморфоз у *C. fornicata*. Также была выдвинута гипотеза, что хлорпромазин стимулирует метаморфоз личинок *C. fornicata* путем повышения концентрации эндогенных циклических нуклеотидов (например, цАМФ) (Pechenik, Li, Cochrane 2002).

### Индукция метаморфоза

Индуцировать метаморфоз можно, зная молекулярных механизм стимуляции метаморфоза, однако выделяют ряд протестированных индукторов, подходящих для множества личинок разных таксонов. К ним относятся: ацетилхолин (АХ), серотонин, дофамин, изобутилметилксантин (ИБМХ), гамма-аминомасляная кислота (ГАМК), хлорид холина, дигидроксилфенил-L-аланин (L-DOPA), ионы калия в виде хлорида калия (KCl) и сульфата калия (K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). Однако их действие на личинки может как стимулировать метаморфоз, так и подавлять его, оказывать токсическое воздействие или не влиять на процесс. Это говорит о том, что у личинок разных таксонов, хотя и в некоторых случаях одного типа, молекулярные механизмы инициации метаморфоза различаются. Также стоит отметить, что в ходе экспериментов концентрация и время действия индукторов подбирается индивидуально. Однако, возможно, механизмы воздействия различных известных индукторов взаимосвязаны.

## Экологические особенности метаморфоза

Личинки могут фактически откладывать метаморфоз до тех пор, пока не будут найдены подходящие субстраты. Они могут избирательно реагировать как на неживые (т.е. конкретные пески или илы), так и на живые субстраты (добыча или корм для оседающего вида) (Hadfield 1977). Доказать наличие такого сигнала сложно, необходимо пройти 3 этапа: (1) полевые наблюдения показывают, что вид А всегда встречается на или рядом с видом В или на определенном субстрате; (2) в лабораторных тестах показано, что личинки предпочитают селиться на вид или субстрат В, когда доступно несколько различных субстратов; и (3) химический стимул отделяется от его обычного источника и изолируется или переносится на неактивный субстрат и демонстрируется, что он стимулирует метаморфоз личинок (Hadfield 1977; McGee and Targett 1989). К примеру, у полихеты *Hydroides elegans*, моллюсков *Crepidula fornicata* и *Crepidula plana* стимул для метаморфоза связан со взрослыми особями. Личинки моллюска *Onchidoris proxima* получают индуктивный водорастворимый химический сигнал от своей добычи мшанки *Electra pilosa*. Личинки моллюска *Capellinia doriae*, аналогично, от гидроида *Kirchenpauria pinnata*. Форонида *Phoronis pallida* встречается как комменсал талассинид *Upogebia pugettensis* и получает водный сигнал от своего хозяина. Поселение в ответ на диатомовые водоросли сообщалось как у двустворчатых, например, *Macoma baltica*, так и брюхоногих, в частности, *Ilyanassa obsoleta*. Метаморфоз *Membranipora zostericola* стимулируется метаболитами зоостеры. *Hydroides elegans*, моллюсков *Mytilus galloprovincialis*, *Crassostrea ariakensis*, *Bugula stolonifera* наблюдается бактериальная индукция.

## Выводы

В данной работе был проведен сравнительный анализ анатомических и морфологических преобразований в метаморфозе разных групп Spiralia, а также рассмотрены молекулярные и экологические особенности метаморфоза, его индукция. Можно сделать вывод, что метаморфоз – это сложно регулируемое преобразование функциональной, свободноживущей личиночной стадии в функциональную ювенильную стадию. Изменения строения тела личинок и их систем органов в ходе развития различаются среди представителей класы Spiralia. Сходной чертой является потеря апикального органа и, у подавляющего большинства, ресничных шнуров. Также можно заметить, что метаморфозы имеют четыре основных компонента: (1) дифференциация ювенильных/взрослых структур, (2) дегенерация личиночных структур, (3) метаморфическая компетенция, (4) изменение среды обитания. Индукция метаморфоза, а также его молекулярные и экологические особенности подробно изучены, в основном, только на самых распространенных видах беспозвоночных, таким образом, остается еще много неизвестного о механизмах метаморфоза и его регуляции.

## Финансирование

Работа выполнена при поддержке РФФИ (№ 23-14-00020).

## Список литературы

1. Hadfield M. G. et al. Metamorphic competence, a major adaptive convergence in marine invertebrate larvae // American Zoologist. – 2001. – Т. 41. – №. 5. – С. 1123-1131.
2. Nielsen C. The development of the brachiopod *Crania (Neocrania) anomala* (OF Müller) and its phylogenetic significance // Acta Zoologica. – 1991. – Т. 72. – №. 1. – С. 7-28.

3. Nielsen C. 2001. Animal Evolution. Interrelationships among Living Phyla. New York: Oxford Univ. Press. – 2001. – 563 p
4. Kuzmina T. V., Malakhov V. V., Temereva E. N. Larval development of the brachiopod *Coptothyris grayi* (Davidson, 1852)(Terebratulida: Rhynchonelliformea) and the evolution of brachiopod life cycles //Invertebrate Zoology. – 2019. – T. 16. – №. 1. – C. 27-40.
5. Hadfield M. G., Paul V. J. Natural chemical cues for settlement and metamorphosis of marine invertebrate larvae //Marine chemical ecology. – 2001. – T. 13. – C. 431-461.
6. Kempf S. C., Hadfield M. G. Planktotrophy by the lecithotrophic larvae of a nudibranch, *Phestilla sibogae* (Gastropoda) //The Biological Bulletin. – 1985. – T. 169. – №. 1. – C. 119-130.
7. Highsmith R. C., Emler R. B. Delayed metamorphosis: effect on growth and survival of juvenile sand dollars (Echinoidea: Clypeasteroidea) //Bulletin of Marine Science. – 1986. – T. 39. – №. 2. – C. 347-361.
8. Pechenik J. A. Delayed metamorphosis by larvae of benthic marine invertebrates: does it occur? Is there a price to pay? //Ophelia. – 1990. – T. 32. – №. 1-2. – C. 63-94.
9. Hadfield M. G. Why and how marine-invertebrate larvae metamorphose so fast //Seminars in cell & developmental biology. – Academic Press, 2000. – T. 11. – №. 6. – C. 437-443.
10. Marois R., Carew T. J. The gastropod nervous system in metamorphosis //Journal of neurobiology. – 1990. – T. 21. – №. 7. – C. 1053-1071.
11. Glebov K. et al. Mechanisms underlying dual effects of serotonin during development of *Helisoma trivolvis* (Mollusca) //BMC developmental biology. – 2014. – T. 14. – C. 1-19.
12. Wang G. et al. Pharmacological and immunocytochemical investigation of the role of catecholamines on larval metamorphosis by  $\beta$ -adrenergic-like receptor in the bivalve *Meretrix meretrix* //Aquaculture. – 2006. – T. 258. – №. 1-4. – C. 611-618.
13. Pechenik J. A., Li W., Cochrane D. E. Timing is everything: the effects of putative dopamine antagonists on metamorphosis vary with larval age and experimental duration in the prosobranch gastropod *Crepidula fornicata* //The Biological Bulletin. – 2002. – T. 202. – №. 2. – C. 137-147.
14. Hadfield M. G. Chemical interactions in larval settling of a marine gastropod //Marine natural products chemistry. – 1977. – C. 403-413.
15. McGee B. L., Targett N. M. Larval habitat selection in *Crepidula* (L.) and its effect on adult distribution patterns //Journal of Experimental Marine Biology and Ecology. – 1989. – T. 131. – №. 3. – C. 195-214.

УДК 574.9

Рубрика 34.01.00

БИОГЕОГРАФИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА CNIDARIA КАРСКОГО МОРЯ  
 BIOGEOGRAPHICAL STRUCTURE OF CNIDARIA OF THE KARA SEA

**Журавлева Наталья Евгеньевна**

*ЗИН РАН, г. Санкт-Петербург*

**Zhuravleva Natalia Evgenjevna**

*ZIN RAS, St.Petersburg*

**Введение**

Климатические изменения, затронувшие Арктику, приводят к проникновению бореальных видов в высокоширотные области. Сбор данных о видовом составе фауны северных акваторий, изучение путей проникновения видов вселенцев и условий, при которых они встраиваются в новые для себя экологические ниши, а также анализ уровней адаптации к новым условиям обитания позволят в будущем получить представление о происходящих изменениях в исследуемых акваториях. Накопление данных в разных группах животных происходит не одинаково. Hydrozoa – наиболее многочисленная по числу видов группа среди Cnidaria в Арктике, но они чаще всего не формируют значимых показателей биомассы, а их представители столь малы, что в большей части исследований данные по видовому составу остаются без внимания исследователей. Anthozoa же наоборот, группа, которая включает небольшое число видов, но часть ее представителей, в силу своих размеров, является весомой частью донных биоценозов.

**Материалы и методы**

Свежий материал для исследования был собран в трех экспедициях, маршруты которых проходили через акваторию Карского моря: на НИС «Фритъоф Нансен» в 2012 г.(ПИНРО), на НИС «Профессор Мультановский» в 2019 г («Трансарктика-2019», Росгидромет) и на НЭС «Академик Трешников» в 2021 г («Арктика-2021» в рамках проекта Arctic Century, ААНИИ, Швейцарский Полярный Фонд, Швейцарский Полярный Институт, ГЕОМАР). Орудиями сбора на НИС «Фритъоф Нансен» был дночерпатель Ван Вина, на НИС «Профессор Мультановский» - дночерпатель Ван Вина, а на НЭС «Академик Трешников» дночерпатель Ван Вина, боксорер и мультикорер.

Дночерпателем Ван Вина ( $S=0,1\text{ м}^2$ ) пробоотбор производили в трехкратной повторности; в случае мультикорера пробы были взяты из 6 трубок с диаметром 10 см; а из боксорера ( $S=0,5\text{ м}^2$ ) было взято 2/3 дночерпательной пробы, относительно площади поверхности. Промывали пробы через коническое сито с размером ячеек в 1 мм.

Фиксацию производили 70% этиловым спиртом и 4% раствором формальдегида, нейтрализованным тетраборатом натрия, с последующим переводом в 70% этиловый спирт.

При составлении биогеографической структуры использована система биогеографической градации Сиренко и др. (Сиренко и др., 2008).

## Результаты

Представители Cnidaria в материале вышеупомянутых экспедиций встречены на 32 станциях. Ранее для Карского моря отмечено 111 видов Cnidaria (Анцулевич 2015; Бируля и др., 1897; Вагин, 1934; Галкин и др., 2010; Денисенко и др., 1998; Наумов, 1960, 1961; Степаньянц, 2001). Благодаря новому материалу видовой состав Cnidaria Карского моря дополнен 4 видами (2 вида Hydrozoa, 1 – Scyphozoa, 1 – Anthozoa). По материалам трех экспедиций в местах сбора материала наблюдается следующая картина. На севере моря у островов Визе и Грэм-Белл отмечено наибольшее число видов. Из группы Cnidaria по числу видов там преобладают представители Hydrozoa в связи с грунтами, в состав которых входят валуны, камни и крупная галька. У о. Грэм-Белл вместе с широко- и высокобореальными видам, составляющими основу фауны Cnidaria всего Карского моря, встречается и представитель арктической фауны (Рис.1). Далее Арктические виды встречаются у архипелага Северная земля (в проливах), в южной части на мелководьях, а также в Новоземельском желобе. В последнем, по всей вероятности, арктические Scyphozoa, формируют массовые скопления на всем протяжении желоба, куда проникли, очевидно, из желоба Святой Анны. У о. Визе, располагающегося несколько юго-восточнее от о. Грэм-Белл, мы отмечаем атлантический широко распространенный бореально-арктический вид. Бореальные же элементы фауны Cnidaria наблюдаются на мелководьях в центральной части Карского моря и на восточной стороне желоба Воронина. Эти данные иллюстрируют проникновение атлантических водных масс на небольших глубинах через северную оконечность архипелага Новая Земля до центральной части Карского моря, а также наличие небольшой ветви атлантических вод, касающейся дна в районе восточной стороны желоба Воронина. Об этом также свидетельствуют некоторые гидрологические показатели. В восточной части Карского моря отмечены элементы тихоокеанского происхождения, что, вероятно, связано с переносом планктонных стадий жизненного цикла гидроидных полипов с балластными водами судов.

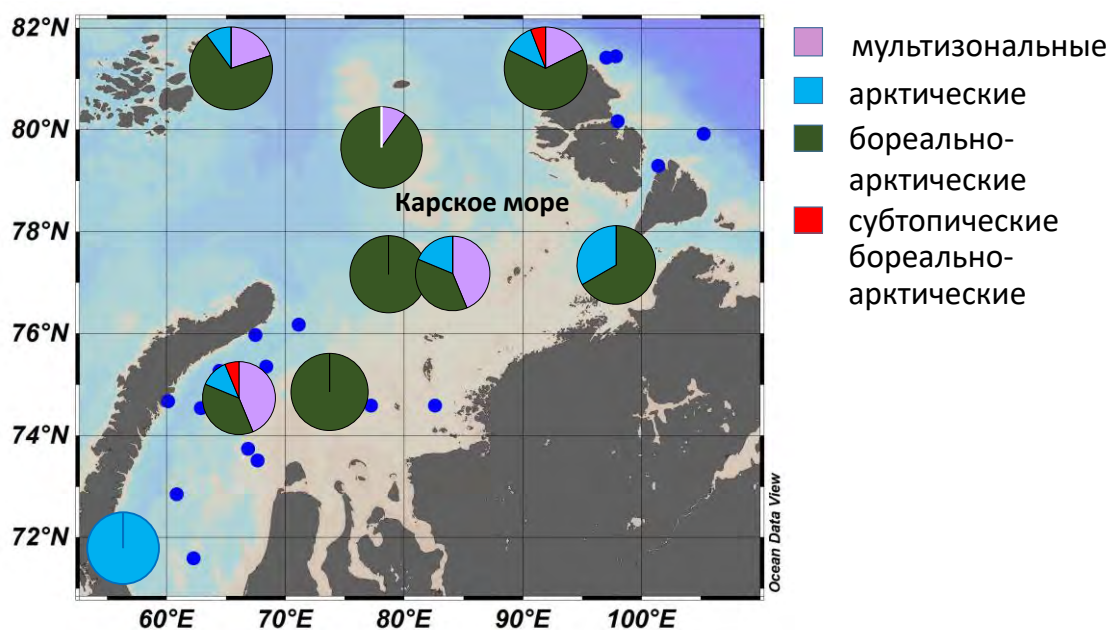


Рис. 1. Сравнение биогеографического состава Cnidaria в разных частях исследуемой акватории (синие точки – точки сбора материала)

## Выводы

Фонообразующими видами Cnidaria в фауне Карского моря являются бореально-арктическими видами. Бореальная фауна проникает в исследуемую акваторию на небольших глубинах с восточных сторон желобов Воронина и Новоземельского, а холодноводная фауна огибает с севера и проникает в центральную и южную часть моря в районе Новоземельского желоба.

## Финансирование

Исследование выполнено в рамках госзадания № 122031100275-4.

## Список литературы:

1. Анцулевич А.Е. Hydrozoa (гидроиды и гидромедузы) морей России // Издательство СПбГУ, Санкт-Петербург. - 2015. - 860 с.
2. Бируля А.А. Hydrozoa, Polychaeta и Crustacea, собранные доктором А.С. Боткиным в Енисейской и Обской губах летом 1895 года // Материалы для биологии и зоогеографии преимущественно русских морей. Ежегодник Зоологического музея Императорской академии наук. - 1897. - 2. - С. 78–115.
3. Вагин В.Л. Hydroidea, собранные экспедицией на корабле «Ломоносов» летом 1931 г. в Баренцевом и Карском морях // Труды Арктического института. - 1934. - 9. - С. 79–87.
4. Галкин С.В., Савилова Т.А., Москалев Л.И. и Кучерук Н.В. Макробентос Новоземельского желоба // Океанология. - 2010. - 50 (6). - С. 933–944. <https://doi.org/10.1134/S0001437010060135>



5. Денисенко С.Г., Анисимова Н.А., Денисенко Н.В. Современные исследования зообентоса прибрежных районов южной части Карского моря // Доклады Академии наук. - 1998. - 363(5). - С. 710–713.
6. Наумов Д.В. Гидроиды и гидромедузы морских, солоноватоводных и пресноводных бассейнов СССР // Определители фауны СССР. - Том. 70.- АН СССР, Москва–Ленинград. - 1960. - 626 с.
7. Наумов Д.В. Сцифоидные медузы морей СССР // Определители фауны СССР. - Том. 75. - АН СССР, Москва–Ленинград. - 1961. - 98 с.
8. Сиренко Б.И., Василенко С.В. и Петряшов В.В. Типы местообитаний видов, обитающих в Северном Ледовитом океане // Фауна и зоогеография бентоса Чукотского моря. - Исследование фауны морей. - 61/69.- 2008. - С. 221–231.
9. Степанянц С.Д. Cnidaria, Subphylum Meduzozoa // В: Б.И. Сиренко (ред.). Список видов свободноживущих беспозвоночных морей Евразийской Арктики и прилегающих глубоководных вод. - Исследования фауны морей. - 51/59. - 2001. - С. 32–35.
10. Ocean Data View. 2019. Ocean Data View Release 5.20. Available from: <https://odv.awi.de>.

УДК 579.266

Рубрика 34.27.23

МИКРОБНЫЕ СООБЩЕСТВА ДОННЫХ ОСАДКОВ МОРЕЙ ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ  
ЕВРАЗИЙСКОЙ АРКТИКИ

MICROBIAL COMMUNITIES IN BOTTOM SEDIMENTS OF THE SEAS OF THE  
WESTERN PART OF THE EURASIAN ARCTIC

**Брюханов Андрей Леонидович**<sup>1</sup>

<sup>1</sup> МГУ имени М.В.Ломоносова, Москва

**Bryukhanov Andrey Leonidovich**<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Lomonosov Moscow State University, Moscow

**Введение**

Микроорганизмы играют чрезвычайно важную роль в биогеохимических циклах Мирового океана. Циклы ключевых биогенных элементов, таких как углерод, сера и азот, в экосистемах арктических морей имеют определённые особенности по сравнению с другими морями. Эти различия заключаются в значительной сезонной изменчивости всех биологических процессов и в их протекании в холодной окружающей среде, часто при отрицательной температуре. В частности, в донных осадках Северного Ледовитого океана при низких температурах метан может находиться в форме гидратов, диссоциация которых приводит к его выделению в водную толщу [James et al., 2016]. С помощью высокопроизводительного секвенирования V3–V4 фрагментов гена 16S рРНК изучен полный филогенетический состав микробных сообществ в подповерхностных окисленных и подстиляющих восстановленных горизонтах донных осадков Баренцева и Карского морей (рис. 1). Показана тесная взаимосвязь различных физиологических групп микроорганизмов с биогеохимическими процессами круговорота углерода, серы и азота, а также роль морских бентосных микроорганизмов в биокоррозии.

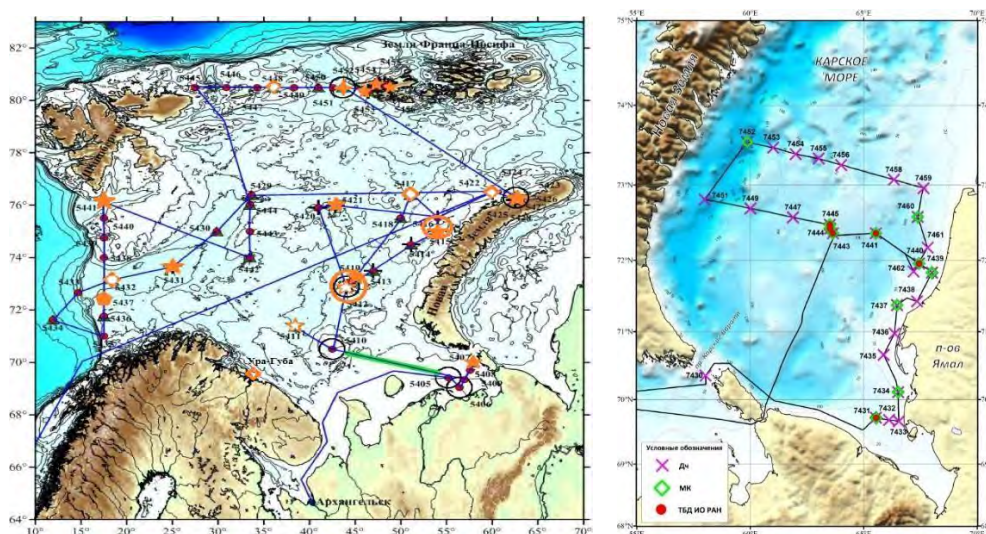


Рис. 1. Станции отбора проб в Баренцевом и Карском морях.

## Результаты и обсуждение

Среди строго анаэробных метаногенных архей в восстановленных осадках Баренцева и Карского морей на ряде станций были детектированы в незначительном количестве (0,4–3,3% от всех чтений) представители двух порядков – *Methanosarcinales* и *Methanomassiliicoccales*. Анаэробное окисление метана в восстановленных арктических осадках осуществляют, по всей видимости, археи из групп ANME-2a–2c в консорциуме с сульфатредуцирующими бактериями (СРБ) из филума *Desulfobacterota*, тогда как за аэробное окисление метана в подповерхностных горизонтах ответственны в основном некультивируемые метанотрофы из кластера 3 (*Gammaproteobacteria*). Известно, что содержание метана в подповерхностных окисленных горизонтах (0–5 см) донных осадков Баренцева моря варьируется от 0,2 до 2,4 мкМ и возрастает до 9,5 мкМ в восстановленных горизонтах на глубине 16–19 см [Begmatov et al., 2021]. В Карском море концентрация метана обычно существенно ниже – в окисленных горизонтах (0–5 см) донных осадков составляя 0,02–0,04 мкМ и возрастая в восстановленных горизонтах (18–20 см) до 0,1–0,7 мкМ [Воропаев и др., 2023].

Концентрация сероводорода в восстановленных горизонтах донных осадков Баренцева и Карского морей находилась в пределах 6–153 мкМ, а скорость сульфатредукции в баренцевоморских осадках составляла от 0,2 до 27,4 мкмоль/л × сут [Brioukhanov et al., 2022]. Наибольшее количество СРБ было обнаружено в арктических морских осадках на горизонте 18–20 см (до 14,5–28% от всех чтений). Значительную долю из них в восстановленных ( $E_h = -370$  –  $-105$  mV) терригенных илах составляли представители семейства *Desulfobacteraceae* (рода *Desulfofrigus*, *Desulfoconvexum* и *Desulfosarcina*), среди которых известны уникальные гиперпсихрофильные виды [Knoblauch et al., 1999]. Также в донных осадках Карского моря детектировали некультивируемых СРБ из клады Sva1033 отряда *Desulfuromonadales* (3,9–12,5%), способных, судя по анализу геномов, к анаэробному дыханию с использованием в качестве акцептора электронов элементарной серы и железа(III). Многочисленными в донных осадках Баренцева моря были и некультивируемые СРБ из клад SAR324 и Sva0485, а также серо-редуцирующие бактерии семейства *Desulfuromonadaceae* [Brioukhanov et al., 2022]. СРБ, относящиеся к семействам *Desulfovibrionaceae* и *Desulfobulbaceae*, многие представители которых обладают высокой аэротолерантностью [Brioukhanov et al., 2010], присутствовали также в окисленных ( $E_h = 84$ – $226$  mV) подповерхностных горизонтах арктических осадков, до 3,95% от всех чтений (рис. 2). Весьма устойчивы к кислородным стрессам и тиосульфатредуцирующие бактерии рода *Fusibacter*, выделенные из литоральной зоны Баренцева и Белого морей [Brioukhanov et al., 2023]. Необходимо отметить большую негативную роль СРБ в процессах микробной коррозии – эти микроорганизмы образуют биоплёнки, что приводит к катодной деполяризации на поверхности металла, выделяют едкий сероводород и связывают ионы железа в сульфид [Nianikova et al., 2020; Власов и др., 2023]. Образующий СРБ сероводород может окисляться нитратредуцирующими бактериями из семейства *Sulfurovaceae* [Sun et al., 2020].

Как в окисленных, так и в подстилающих восстановленных горизонтах донных осадков на большинстве исследованных станций Баренцева и Карского морей в большом количестве обнаруживали хемолитотрофных архей семейства *Nitrosopumilaceae* – 2,1–27,4% от всех чтений, а в восстановленных горизонтах Байдарацкой губы Карского моря даже до 35,6% (рис. 3), осуществляющих окисление аммиака до нитрит-аниона и являющихся микроаэрофилами [Könneke et al., 2005]. Окисление нитрита до нитрата осуществляют, по всей видимости, нитробактерии рода *Nitrospira*. Среди железooksисляющих бактерий в подповерхностных горизонтах арктических осадков были детектированы представители рода *Acidithiobacillus*, способные получать энергию за счёт окисления двухвалентного железа.

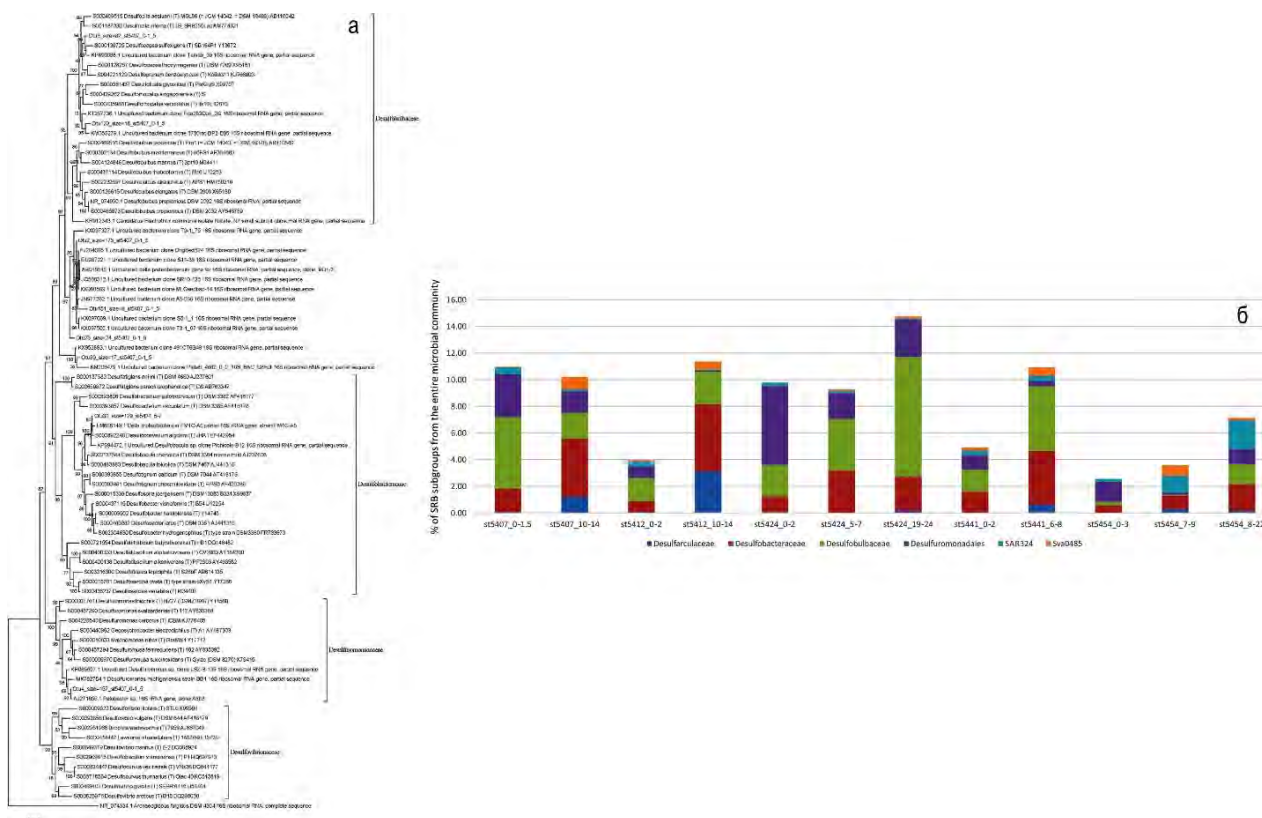


Рис. 2. (а) Филогенетическая дендрогамма СРБ в донных осадках Баренцева моря на основе анализа нуклеотидных последовательностей гена 16S рРНК, (б) распространение основных подгрупп СРБ (на уровне семейств) в донных осадках Баренцева моря (станции 5407, 5412, 5424, 5441, 5454) по результатам высокопроизводительного секвенирования фрагментов гена 16S рРНК [Brioukhanov et al., 2022].

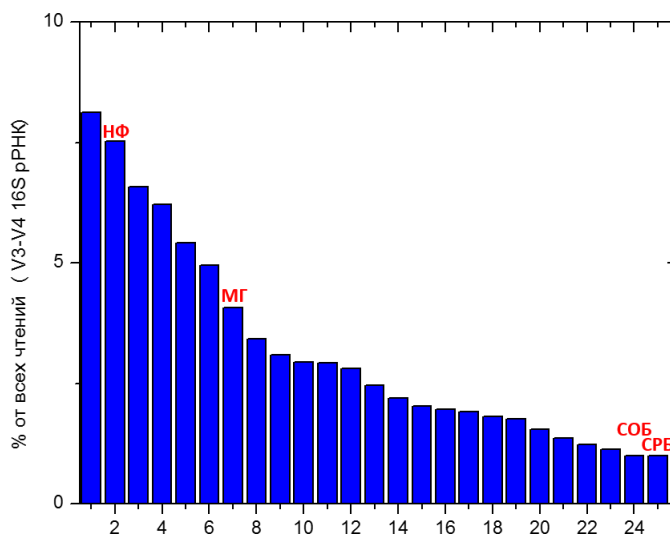


Рис. 3. Распространение микроорганизмов (на уровне семейств) в донных осадках Карского моря на станции 7440 по результатам высокопроизводительного секвенирования фрагментов гена 16S рРНК. 1 – *Rhodocyclaceae* (g. *Thauera* etc.); 2 – *Nitrosopumilaceae*; 3 – *Anaerolineaceae*; 4 – *Rhizobiaceae*; 5 – *Bathyarchaeia*; 6 – *Verrucomicrobiaceae*; 7 – uncultured (o. *Methanomassiliicoccales* etc.); 8 – *Gallionellaceae*; 9 – *Synergistaceae*; 10 – *Eubacterium coprostanoligenes* group (o. *Oscillospirales*); 11 – uncultured clade SCGC\_AAA011-D5 (o. *Woesearchaeales*); 12 – *Reyraneliaceae*; 13 – *Gemmataceae*; 14 – *Streptococcaceae*; 15 – uncultured clade AB-539-J10 (c. *Dehalococcoidia*); 16 – *Comamonadaceae*; 17 – *Sphingobacteriaceae*; 18 – uncultured clade GIF3 (c. *Dehalococcoidia*); 19 – uncultured clade UCG-010 (o. *Oscillospirales*); 20 – *Paludibacteraceae*; 21 – unculture clade 4-29 (p. *Elusimicrobiota*); 22 – *Bacteroidales* RF16 group; 23 – *Methyloligellaceae*; 24 – *Sulfurovaceae*; 25 – *Desulfosarcinaceae*.



На горизонте 65 см в значительном количестве (до 8,1% от всех чтений) на некоторых станциях Карского моря детектировали также бактерий рода *Thauera* (семейство *Zoogloeaceae* класса *Betaproteobacteria*), способных к анаэробному дыханию, иногда с использованием селенита в качестве акцептора электронов [Butler et al., 2012]. Кроме того, в восстановленных донных осадках часто присутствовали (1,4–8,8% от всех чтений) анаэробные хемогетеротрофные бактерии семейства *Anaerolineaceae*.

### Заключение

Филогенетический состав микробных сообществ донных осадков арктических морей существенно различается в зависимости от физико-химических условий (течений, гравитационных процессов переноса осадков, рельефа дна, ОВП, наличия биогенных элементов и т.д.) в месте отбора проб и на соответствующем горизонте осадка. Биогеохимический цикл серы в донных осадках арктических морей тесно связан с анаэробным окислением метана и циклом азота, который включает окисление аммиака и денитрификацию, сопряженную с окислением сульфида в восстановленных горизонтах осадков. По полученным результатам высокопроизводительного секвенирования участков гена 16S рРНК на большинстве горизонтов донных осадков было обнаружено значительное количество некультивируемых и неидентифицируемых до уровня семейства групп микроорганизмов. Таким образом, пока ещё малоизученные уникальные экосистемы арктических морей являются весьма интересными объектами исследования сообществ микроорганизмов различных физиологических групп и их роли в глобальных биогеохимических циклах.

### Благодарности

Автор благодарит д.б.н. Саввичева А.С., д.б.н. Пименова Н.В., к.б.н. Кадникова В.В. (ФИЦ Биотехнологии РАН, Москва), к.г.-м.н. Кравчишину М.Д., к.г.-м.н. Новигатского А.Н. (ИО РАН, Москва), д.т.н. Севастьянова В.С. (ГЕОХИ РАН, Москва) и к.б.н. Царовцеву И.М. (АО ВНИИГ, Санкт-Петербург) за помощь в проведении исследований, а также экипаж и научный состав НИС «Академик Мстислав Келдыш».

### Финансирование

Исследования выполнены при поддержке грантов РФФИ (18-29-05031 мк, 20-04-00487) и РФФ (20-17-00157, <https://rscf.ru/project/20-17-00157>).

### Список литературы:

1. Власов Д.Ю., Брюханов А.Л., Няникова Г.Г., Зеленская М.С., Царовцева И.М., Изатулина А.Р. Коррозионная активность микроорганизмов, выделенных из обрастаний конструкционных материалов в прибрежной зоне Баренцева моря // Прикл. биохим. микробиол. – 2023. – Том 59, № 4. – С. 355–368.
2. Воропаев С.А., Севастьянов В.С., Душенко Н.В., Брюханов А.Л. Оценка потока метана со дна Карского моря // Доклады РАН. Науки о Земле. – 2023. – Том 512, № 1. – С. 138–142.
3. Begmatov S., Savvichev A.S., Kadnikov V.V., Beletsky A.V., Rusanov I.I., Klyuvitkin A.A., Novichkova E.A., Mardanov A.V., Pimenov N.V., Ravin N.V. Microbial communities involved in methane, sulfur, and nitrogen cycling in the sediments of the Barents Sea // Microorganisms – 2021. – Vol. 9, No. 11. – P. 2362–2382.

4. Brioukhanov A.L., Kadnikov V.V., Beletsky A.V., Savvichev A.S. Aerotolerant thiosulfate-reducing bacterium *Fusibacter* sp. strain WBS isolated from littoral bottom sediments of the White Sea — biochemical and genome analysis // *Microorganisms*. – 2023. – Vol. 11, No. 7. – P. 1642–1652.
5. Brioukhanov A.L., Kadnikov V.V., Rusanov I.I., Novigatskiy A.N., Kanapatskiy T.A., Politova N.V., Ravin N.V., Pimenov N.V. Phylogenetic diversity in sulphate-reducing bacterial communities from oxidised and reduced bottom sediments of the Barents Sea // *Anton. Leeuw. Int. J. G.* – 2022. – Vol. 115, No. 6. – P. 801–820.
6. Brioukhanov A.L., Pieulle L., Dolla A. Antioxidative defense systems of anaerobic sulfate-reducing microorganisms // *Current Research, Technology and Education Topics in Applied Microbiology and Microbial Biotechnology*. Badajoz: Formatex Research Center. – 2010. – P. 148–159.
7. Butler C.S., Debieux C.M., Dridge E.J., Splatt P., Wright M. Biomineralization of selenium by the selenate-respiring bacterium *Thauera selenatis* // *Biochem. Soc. Trans.* – 2012. – Vol. 40, No. 6. – P. 1239–1243.
8. James R.H., Bousquet P., Bussmann I., Haeckel M., Kipfer R., Leifer I., Niemann H., Ostrovsky I., Piskozub J., Rehder G., Treude T., Vielstädte L., Greinert J. Effects of climate change on methane emissions from seafloor sediments in the Arctic Ocean: a review // *Limnol. Oceanol.* – 2016. – Vol. 61, No. S1. – P. S283–S289.
9. Knoblauch C., Sahm K., Jørgensen B.B. Psychrophilic sulfate-reducing bacteria isolated from permanently cold Arctic marine sediments: description of *Desulfofrigus oceanense* gen. nov., sp. nov., *Desulfofrigus fragile* sp. nov., *Desulfofaba gelida* gen. nov., sp. nov., *Desulfotalea psychrophila* gen. nov., sp. nov. and *Desulfotalea arctica* sp. nov. // *IJSEM*. – 1999. – Vol. 49, No. 4. – P. 1631–1643.
10. Könneke M., Bernhard A.E., de la Torre J.R., Walker C.B., Waterbury J.B., Stahl D.A. Isolation of an autotrophic ammonia-oxidizing marine archaeon // *Nature*. – 2005. – Vol. 437, No. 7058. – P. 543–546.
11. Nianikova G., Bryukhanov A., Vlasov D., Mayorova M., Nurmagomedov M., Akhaev D., Tsarovtseva I. Study of corrosion-active microorganisms of the coastal zone of the Baltic and Barents seas // *E3S Web Conf.* – 2020. – Vol. 215. – P. 1–9 (article No. 04001).
12. Sun Q.L., Zhang J., Wang M.X., Cao L., Du Z.F., Sun Y.Y., Liu S.Q., Li C.L., Sun L. High-throughput sequencing reveals a potentially novel *Sulfurovum* species dominating the microbial communities of the seawater-sediment interface of a deep-sea cold seep in south China Sea // *Microorganisms*. – 2020. – Vol. 8, No. 5. – P. 687–704.



УДК 579.26

Рубрика 34.27.23

СТРУКТУРА МИКРОБНОГО СООБЩЕСТВА ВОДНОЙ ТОЛЩИ КАНДАЛАКШСКОГО ЗАЛИВА БЕЛОГО МОРЯ

MICROBIAL COMMUNITY STRUCTURE IN THE WATER COLUMN OF KANDALAKSHA BAY, WHITE SEA

**Салова Варвара Дмитриевна<sup>1</sup>, Холдина Анна Мансуровна<sup>1,2</sup>, Клюкина Александра Антоновна<sup>2</sup>, Гавирова Лилия Андреевна<sup>1</sup>, Щербакowa Полина Александровна<sup>1</sup>, Шестаков Андрей Иннокентьевич<sup>1</sup>, Бонч-Осмоловская Елизавета Александровна<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup> МГУ имени М.В. Ломоносова, г. Москва

<sup>2</sup> ФИЦ «Фундаментальные основы биотехнологии» РАН, г. Москва

**Salova Varvara Dmitrievna<sup>1</sup>, Kholdina Anna Mansurovna<sup>1,2</sup>, Klyukina Alexandra Antonovna<sup>2</sup>, Gavirova Liliya Andreevna<sup>1</sup>, Shcherbakova Polina Aleksandrovna<sup>1</sup>, Shestakov Andrey Innokentyevich<sup>1</sup>, Bonch-Osmolovskaya Elizaveta Aleksandrovna<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup> Lomonosov Moscow State University, Moscow

<sup>2</sup> Research Center of Biotechnology RAS, Moscow

## Введение

Белое море относится к бассейну Северного Ледовитого океана, являясь единственным внутренним морем арктического региона. Большая часть Белого моря расположена южнее северного полярного круга. Несмотря на более южное положение относительно других арктических морей, климатические условия в этой акватории являются менее благоприятными. Влияние Северного Ледовитого океана и материка делает климат переходным от океанического к материковому. Структура водной толщи Белого моря формируется главным образом благодаря опресняющему речному стоку и водообмену с Баренцевым морем. Вышеперечисленные факторы оказывают воздействие на формирование сообществ микроорганизмов в водной толще Белого моря (Романкевич, Ветров, 2001). Ряд предыдущих работ, посвященных экологии микроорганизмов, был направлен на оценку численности микроорганизмов (Чикин и др., 2003), изучение разнообразия и метаболизма отдельных метаболических групп (Горленко и др., 1985; Бадмадашиев и др., 2023; Салова и др., 2023), определение скоростей сульфатредукции, образования и окисления метана, продукции фотосинтеза и бактериопланктона в Белом море (Саввичев и др., 2003, 2008). Достижения в области технологий высокопроизводительного секвенирования позволили расширить представления о разнообразии микробных сообществ Мирового океана (Fuhrman et al., 2015). Недавно появились и первые результаты оценки разнообразия прокариот в различных участках Белого моря, полученные путем анализа последовательностей гена 16S рРНК; так, были получены данные о разнообразии бактерий в его прибрежной зоне (Gorrasi et al., 2019). Целью нашего исследования являлась оценка разнообразия и численности микроорганизмов и их изменения в течение трех летних сезонов в водной толще Кандалакшского залива Белого моря.

## Материалы и методы

Образцы для исследования были отобраны в августе 2019, 2021 и 2022 гг. с глубин от 5 м до 250 м с помощью батометра в открытой части Кандалакшского залива. Для определения общего микробного числа (ОМЧ) 10 мл каждого образца были зафиксированы формалином с итоговой концентрацией 2%. Подсчет клеток осуществлялся с помощью люминесцентного микроскопе в 20 полях зрения на препаратах, окрашенных акридиновым оранжевым (2019 г.) или DAPI (2021, 2022 гг.). Образцы воды были профильтрованы через нитроцеллюлозный фильтр с диаметром пор 0,22 мкм и хранились при  $-70^{\circ}\text{C}$  (2019 г.), или были зафиксированы в буфере (100 мМ ЭДТА, 100 мМ Tris-HCl, 150 мМ NaCl; pH 8.0) и хранились при  $4^{\circ}\text{C}$  (2021, 2022 гг.). С фильтров была выделена тотальная ДНК с помощью набора FastDNA™ Spin Kit for Soil (“MP Biomedicals”, США) в соответствии с рекомендациями производителя. Количество выделенной ДНК было измерено с помощью флуориметра Qubit 2.0 (“Thermo Fisher Scientific”, США) с использованием набора QuDye dsDNA HS Assay Kit (“Lumiprobe”, Россия). Были получены библиотеки ампликонов гипервариабельного участка V4 гена 16S рРНК для секвенирования согласно Vortsepneva et al. (2021). Секвенирование было выполнено на секвенаторе MiSeq (“Illumina”, США). Полученные прочтения были проанализированы с помощью сервиса SILVAngs с параметрами по умолчанию (<https://ngs.arb-silva.de/silvangs/>) и базы данных SILVA138.1 SSU. Для уточнения таксономического положения идентифицированных фило типов использовался NCBI BLASTn (<https://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi>).

## Результаты и обсуждение

Для всех отобранных образцов из открытой части Кандалакшского залива Белого моря был проведен количественный учет клеток микроорганизмов. Общая численность микроорганизмов находилась в пределах от  $8.1 \times 10^4$  до  $6.5 \times 10^6$  клеток/мл, причем максимум для всех исследуемых периодов наблюдался на глубине 30 м. Это согласуется с тем фактом, что основной максимум численности бактериопланктона наблюдается обычно на 20-50 м под зоной развития фитопланктона. На такое распределение влияют два фактора. Во-первых, это проникновение света, который необходим для протекания световой фазы фотосинтеза. Во-вторых, поступление из зоны деструкции биогенных элементов, а именно, азота и фосфора, являющихся лимитирующими для роста и развития фито- и бактериопланктона (Заварзин, 2003). Ранее было показано, что в среднем количество клеток для открытой части Кандалакшского залива в августе в поверхностном горизонте водной толщи составляет от  $1 \times 10^5$  до  $3 \times 10^5$  клеток/мл, но с увеличением глубины это значение находится в пределах от  $5 \times 10^4$  до  $1 \times 10^5$  клеток/мл (Саввичев и др., 2008). Эти данные согласуются с результатами подсчета клеток в августе 2019 и 2022 годов. В 2021 году численность микроорганизмов была на порядок выше  $2.0 \times 10^6$  до  $6.4 \times 10^6$  клеток/мл. Сравнимые с этими значениями ОМЧ ранее наблюдались в мелководных районах литорали, где составляли до  $9.4 \times 10^6$  клеток/мл (Саввичев и др., 2005).

Анализ таксономической структуры прокариотных сообществ в исследованных образцах показал, что наибольшую долю во всех образцах занимают представители домена *Bacteria* (74.4–99.1%). Доминирующими таксонами во всех представленных образцах были представители филумов *Pseudomonadota* (37.5–71.9%) и *Bacteroidota* (1.4–17.0%). В работе Gorrasi et al. (2019) было показано доминирование этих же двух групп и филума *Cyanobacteria*, остальные филумы были представлены в незначительном количестве. Кроме того, стоит отметить очевидное доминирование класса *Gammaproteobacteria* внутри *Pseudomonadota*. В нашей работе нет четкого преобладания какого-либо из классов *Gammaproteobacteria* или *Alphaproteobacteria*. Это может быть связано с различиями в локациях отбора проб и стадиях цветения Белого моря. В поверхностных образцах одной из

многочисленных групп является филум *Cyanobacteria* (до 33.9%). Более половины определенных последовательностей этой группы были отнесены к Chloroplast (до 23.7%), остальное было отнесено к роду *Synechococcus* (до 11.6%). Ранее на основе молекулярного анализа в Белом море был обнаружен другой род цианобактерий – *Prochlorococcus* (Gorrasí et al., 2019). Стоит отметить, что для рода *Prochlorococcus* характерно распространение в более теплых морских экосистемах (Flombaum et al., 2013). Известно, что морские виды *Prochlorococcus* и *Synechococcus* плохо разделяются с использованием полной последовательности гена 16S рПНК, демонстрируя более чем 96% идентичности (Rocap et al., 2002). С увеличением глубины за зоной проникновения света возросли доли следующих филумов: *Acidobacteriota* (до 3.1%), *Bdellovibrionota* (до 0.9%), *Chloroflexota* (до 3.4%), а также некультивируемых клад *Marinimicrobia* (SAR406; до 3.7%), NB1-j (до 2.7%) и SAR324 (Marine group B; до 8.6%). Для всех образцов доли филумов *Actinomycetota* составляли от 1.4 до 14.6% и *Planctomycetota* от 0.2 до 4.7%. Наибольшие доли филума *Verrucomicrobiota* (до 17.4%) во все года наблюдались на глубине 20-90 м. Филум *Bacillota* был наиболее представлен в образцах 2019 года, где он составил до 6.5%, в 2021 и в 2022 годах этот филум в значительных количествах был обнаружен только в образцах с глубины 90 м (4.4%) и 130 м (1.0%) соответственно. В меньшей степени был представлен домен *Archaea* (0.5-25.4%), среди которого преобладали филумы *Nitrososphaerota* (до 23.8%) и *Thermoplasmata* (до 5.6%), доля которых росла с увеличением глубины.

### Заключение

В ходе проведенной работы с помощью методов флуоресцентной микроскопии и NGS-профилирования по V4 участку гена 16S рПНК было охарактеризовано сообщество водной толщи Кандалакшского залива Белого моря.

В фотической зоне преобладают цианобактерии, являющиеся первичными продуцентами. Для этой зоны также характерно большое количество водных гетеротрофных бактерий, относящихся к классам *Gammaproteobacteria*, *Alphaproteobacteria* и филуму *Bacteroidota*. Они способны метаболизировать сложные органические вещества с образованием разных растворимых соединений. Далее на протяжении всего водного столба высока доля микробов, утилизирующих растворенное органическое вещество, например, клада SAR11 (класс *Alphaproteobacteria*). В водной толще, помимо цикла углерода, происходят процессы, связанные с циклом азота. Аммоний, поступающий, прежде всего, из осадков, окисляется в придонных слоях воды аммонийоксиляющими микроорганизмами - нитрификаторами I фазы, а именно родом *Nitrosopumilus* (филум *Nitrososphaerota*). Далее нитрит используется нитритоксиляющими бактериями – *Nitrospinota*. Кроме того, в самых глубоких водах Белого моря присутствуют микроорганизмы, окисляющие восстановленные соединения серы (SAR324).

### Благодарности

Авторы благодарят директора ББС им. Н.А. Перцова д.б.н., проф. А.Б. Цетлина и весь коллектив биостанции за предоставление возможности выполнения работы на ее базе.

### Финансирование

Работа поддержана Министерством науки и высшего образования Российской Федерации (соглашение 075-15-2021-1396).

## Список литературы:

1. Бадмадашиев Д.В., Строева А.Р., Клюкина А.А., Полудеткина Е.Н., Бонч-Осмоловская Е.А. Филогенетическое разнообразие прокариотных сообществ поверхностных слоев донных отложений Кандалакшского залива Белого моря // Микробиология. – 2023. – Т. 92, № 6. – С. 1-14.
2. Горленко В.М., Пучкова Н.Н., Демчев В.В. Фотосинтезирующие микроорганизмы супралиторали Белого моря // Биологические науки. – 1985. – Т. 5. – С. 66-72.
3. Заварзин Г.А. Лекции по природоведческой микробиологии. – М.: Наука, 2003. – 348 с.
4. Романкевич Е.А., Ветров А.А. Цикл углерода в арктических морях России. – М.: Наука, 2001. – 300 с.
5. Саввичев А.С., Русанов И.И., Захарова Е.Е., Веслополова Е.Ф., Мицкевич И.Н., Кравчишина М.Д., Леин А.Ю., Иванов М.В. Микробные процессы циклов углерода и серы в белом море // Микробиология. – 2008. – Т. 77, № 6. – С. 823-838.
6. Саввичев А.С., Русанов И.И., Юсупов С.К., Байрамов И.Т., Пименов Н.В., Леин А.Ю., Иванов М.В. Процесс микробной сульфатредукции в осадках прибрежной зоны и литорали Кандалакшского залива Белого моря // Микробиология. – 2003. – Т. 72, № 4. – С. 535.
7. Саввичев А.С., Русанов И.И., Юсупов С.К., Пименов Н.В., Леин А.Ю. Микробные процессы трансформации органического вещества в Белом море // Океанология. – 2005. – Т. 45, № 5. – С. 689-702.
8. Салова В.Д., Холдина А.М., Мельник А.Д., Заюлина К.С., Ельченинов А.Г., Клюкина А.А., Кубланов И.В. Микробные сообщества, ассоциированные с красными водорослями белого моря, как источник ксиланолитических микроорганизмов // Микробиология. – 2023. – Т. 92, № 3. – С. 300-309.
9. Чикин С.М., Тарасова Н.А., Саралов А.И., Банникова О.М. Особенности распространения бактерио-и мезозoopланктона в прибрежных водах белого и Баренцева // Микробиология. – 2003. – Т. 72, № 2. – С. 250-258.
10. Flombaum P., Gallegos J.L., Gordillo R.A., Rincón J., Zabala L.L., Jiao N., Karl D.M., Li W.K.W., Lomas M.W., Veneziano D., Vera C.S., Vrugt J.A., Martiny A.C. Present and future global distributions of the marine Cyanobacteria *Prochlorococcus* and *Synechococcus* // Proc. Natl. Acad. Sci. – 2013. – V. 110, № 24. – P. 9824-9829.
11. Fuhrman J.A., Cram J.A., Needham D.M. Marine microbial community dynamics and their ecological interpretation // Nat. Rev. Microbiol. – 2015. – V. 13, № 3. – P. 133-146.
12. Gorrasi S., Pesciaroli C., Barghini P., Pasqualetti M., Fenice M. Structure and diversity of the bacterial community of an Arctic estuarine system (Kandalaksha Bay) subject to intense tidal currents // J. Mar. Syst. – 2019. – V. 196. – P. 77-85.
13. Roco G., Distel D.L., Waterbury J.B., Chisholm S.W. Resolution of *Prochlorococcus* and *Synechococcus* ecotypes by using 16S-23S ribosomal DNA internal transcribed spacer sequences // Appl. Environ. Microbiol. – 2002. – V. 68, № 3. – P. 1180-1191.
14. Vortsepneva E., Chevaldonné P., Klyukina A., Naduvaeva E., Todt C., Zhadan A., Tzetlin A., Kublanov I. Microbial associations of shallow-water Mediterranean marine cave *Solenogastres* (Mollusca) // PeerJ. – 2021. – V. 9. – P. e12655.

УДК 574.583

Рубрика 34.35.33, 34.27.23

БАКТЕРИОПЛАНКТОН ЗАЛИВОВ КАРСКОГО МОРЯ: АРХИПЕЛАГИ СЕВЕРНАЯ И НОВАЯ ЗЕМЛЯ

BACTERIOPLANKTON OF THE FJORDS OF THE KARA SEA: NOVAYA ZEMLYA AND SEVERNAYA ZEMLYA ARCHIPELAGOS

**Романова Надежда Дмитриевна**<sup>1</sup>, **Бычкова Ульяна Валерьевна**<sup>1,2</sup>, **Воробьева Ольга Владимировна**<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup> *ИО РАН, г.Москва*

<sup>2</sup> *МГУ им.М.В.Ломоносова, г.Москва*

<sup>3</sup> *ВНИРО, г.Москва*

**Romanova Nadezda Dmitrievna**<sup>1</sup>, **Bychkova Uliana Valerevna**<sup>1,2</sup>, **Vorobieva Olga Vladimirovna**<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup> *IO RAS, Moscow*

<sup>2</sup> *Lomonosov MSU, Moscow*

<sup>3</sup> *VNIRO, Moscow*

## **Введение**

Планктонные сообщества, в частности бактериопланктон – основной биологический элемент, участвующий в реминерализации органического вещества, – являются ключевыми звеньями глобального биофильтра морей. В современных условиях растущей антропогенной нагрузки и меняющегося климата прибрежные сообщества представляют собой важнейший барьер, активность которого определяет влияние стока на пелагическую биоту. Заливы архипелагов Карского моря, различающиеся географическим положением, источником распреснения и степенью изоляции от моря представляют прекрасную модельную систему для оценки влияния изменяющихся факторов среды на арктические планктонные сообщества. В данной работе на основании структурно-функциональных характеристик бактериопланктона заливов архипелагов Карского моря сделана попытка выделить отличительные черты распределения и активности прокариот заливов арктических морей.

## **Материалы и методы**

Материал был собран в ходе трех экспедиций: в заливах восточного берега островов Архипелага Новая Земля (66 рейс НИС "Академик Мстислав Келдыш", июль-август 2016 г.), в заливах островов архипелага Северная Земля (экспедиция "Открытый Океан – Архипелаги Арктики – 2019", август-сентябрь 2019 г.) и в заливе Благополучия острова Северный архипелага Новая Земля (89 рейс НИС "Академик Мстислав Келдыш", конец сентября 2022 г.)

Пробы воды для анализа бактериопланктона фиксировали нейтральным раствором формальдегида (конечная концентрация 1%). Общую численность прокариот определяли



методом проточной цитометрии (Kamia et al., 2007) на цитофлуориметре BD Accuri C6. Для учета морфологического состава, размерных характеристик, биомассы бактериопланктона и доли прикрепленных клеток использовали метод флуоресцентной микроскопии (Porter, Feig, 1980). Бактериальную биомассу вычисляли исходя из размеров бактериальных клеток, измеренных с использованием программы анализа изображений “ImageScopeColor M” (Романова, Сажин, 2010). Так как использованные методы учета количественных характеристик микроорганизмов не позволяют различать представителей групп археи и бактерии, в настоящей работе используя термин бактерии мы подразумеваем всех гетеротрофных прокариот.

Определение бактериальной продукции и выедания бактериопланктона потребителями проводили прямым методом с использованием антибиотиков - ингибиторов бактериального роста (Sherr et al., 1986), в модификации для естественных местообитаний (Weisse, 1989) в 2016 г. и методом разведений (Caron 2001, Pree et al., 2016) в 2022 г.

Для статистической обработки использовали программу Past 4.13.

## Результаты

Важной морфологической особенностью заливов Новой Земли является наличие относительно глубокой котловины в центральной части залива и поднятия, а в некоторых случаях островов, на входе в залив (Степанова, Недосапов, 2017).

Летом 2016 г. значения численности бактериопланктона мало изменялись по вертикали и варьировали в заливах о. Северный от 162 до 955 тыс.кл/мл ( $6.4 - 52.5 \text{ мгС/м}^3$ ) и от 253 до 959 тыс.кл/мл ( $6.53 - 24.9 \text{ мгС/м}^3$ ) в заливах о.Южный. Распределение обилия бактериопланктона летом 2016 г. на разрезах от кута залива в открытое море было сходным для большинства заливов: наибольшие средние для столба воды величины как численности, так и биомассы наблюдались в открытом море, достоверно не различались в заливе и снижались в прибрежной зоне. Коэффициент удельного роста бактериопланктона, напротив, достигал максимальных значений в водотоках и прибрежных водах залива и снижался в открытом море. Подобное распределение может свидетельствовать о влиянии на количественные характеристики бактериопланктона высоких концентраций терригенной взвеси, осаждающейся преимущественно в пределах акватории заливов (Артемьев и др., 2017), что приводит и к осаждению ассоциированных с ней клеток бактериопланктона.

Средние значения численности бактериопланктона в исследованных заливах острова Южный архипелага Новая Земля были достоверно выше, чем в заливах острова Северный, тогда как для средних величин биомассы наблюдалась обратная картина за счет преобладания более мелких клеток. Это может быть связано как с большим вкладом доступного органического вещества в состав терригенной взвеси Южного острова, так и с большей активностью первичных продуцентов, о чем можно косвенно судить по более высоким значениям относительного содержания кислорода в воде.

Среди рассмотренных факторов среды, связанных с количественным распределением бактериопланктона, стоит выделить концентрацию хлорофилла, положительно коррелирующую с численностью прокариот ( $r=0.81$ ,  $p<0.001$ ), а также отметить снижение численности прокариот при росте доли феофитина ( $r=-0.43$ ,  $p<0.001$ ). Значения удельного роста бактериопланктона также снижались при увеличении доли феофитина, что может свидетельствовать о зависимости развития прокариот от активности первичных продуцентов и синтеза автохтонного органического вещества.

При сравнении данных наблюдений в заливе Благополучия, полученных в разные годы, можно сделать вывод об изменчивости характера вертикального распределения обилия



бактериопланктона: летом 2016 г. в области котловины концентрация прокариот в придонной воде мало отличалась от величин в поверхностном слое воды, а над поднятием значения обилия прокариот в придонной воде были в 1.4-1.5 раз ниже, чем в поверхностном слое. Осенью 2022 г. численность бактериопланктона в придонном слое воды была ниже величин в поверхностном слое более чем в три раза, тогда как в открытом море разница этих показателей не превышала 2.2 раз. Возможно, такие различия связаны с сезонным изменением количества доступного автохтонного органического вещества.

В заливах архипелага Северная Земля в конце августа-начале сентября 2019 г. концентрация бактериопланктона была на порядок ниже, чем в рассмотренных выше заливах Новой Земли. Так, в заливах со стороны Карского моря среднее значение численности бактериопланктона в поверхностном слое воды составляло всего  $57 \pm 18$  тыс.кл/мл (биомассы -  $0.92 \pm 0.25$  мгС/м<sup>3</sup>), В заливах со стороны моря Лаптевых этот показатель был еще ниже:  $25 \pm 6$  тыс.кл/мл (биомасса -  $0.7 \pm 0.21$  мгС/м<sup>3</sup>). Стоит отметить, что значения численности бактериопланктона в заливе Ковалевской (о. Комсомолец), в который спускается язык ледника Академии Наук, значения численности бактериопланктона были почти в два раза выше, чем в других заливах. При этом значения биомассы прокариот в заливе Ковалевской практически не отличались за счет более мелкого размера клеток. Из-за низких величин обилия достоверно оценить закономерности распределения бактериопланктона внутри заливов архипелага Северная Земля представляется невозможным.

## **Выводы**

На основании сравнения распределения и активности бактериопланктона заливов архипелагов Карского моря, можно заключить, что в отсутствие легкодоступного органического вещества терригенного происхождения основным фактором, влияющим на активность и обилие прокариот является концентрация хлорофилла (как косвенная характеристика развития фитопланктона). При этом высокая концентрация взвеси, по всей видимости, может влиять на численность бактериопланктона за счет осаждения в пределах акватории залива вместе с агрегированными на ней клетками. Также можно предположить существование разницы в регуляции обилия бактериопланктона в заливах, где происходит таяние ледника, и подверженных только влиянию вод материкового происхождения.

## **Благодарности**

Авторы сердечно благодарят В.А. Спиридонова за организацию сбора материала в экспедиции "Открытый Океан – Архипелаги Арктики – 2019", а также руководителя группы первичной продукции А.Б. Демидова за предоставленные данные по концентрации хлорофилла.

## **Финансирование**

Исследование выполнено при поддержке проекта РНФ 22-17-00011

## **Список литературы:**

1. Артемьев В. А., Глуховец Д. И., Шатравин А. В. Оптические характеристики вод заливов восточного побережья Новой Земли // Современные проблемы оптики естественных вод. – 2017. – С. 70–74.

2. Романова Н. Д., Сажин А. Ф. Взаимосвязь между объемом бактериальных клеток и содержанием в них углерода // Океанология. – 2010. – Т. 50. – № 4. – С. 556–565.
3. Степанова С. В. Недоспасов А. А. Особенности гидрофизического и гидрохимического режимов залива благополучия (Новая Земля) 2017 г. // Океанология. – 2017 – Т. 57. – № 1. С. 75–85
4. Caron D. A. Protistan herbivory and bacterivory // *Methods in microbiology*. - 2001. - Vol.30 - P. 289-315.
5. Kamiya E., Izumiyama S., Nishimura M., Mitchell J. G., Kogure K. Effects of fixation and storage on flow cytometric analysis of marine bacteria // *Journal of oceanography* – 2007 – Vol. 63. – P. 101–112.
6. Porter K. G., Feig Y. S. The use of DAPI for identifying and counting aquatic microflora // *Limnol. Oceanog.* – 1980. – V. 25. – P. 943–948
7. Pree B., Kuhlisch C., Pohnert G. et al. A simple adjustment to test reliability of bacterivory rates derived from the dilution method // *Limnology and Oceanography: Methods* – 2016. –V.14, No. 2. – P. 114-123.
8. Sherr B.F., Sherr E.B., Andrew T.L. et al. Trophic interactions between heterotrophic protozoa and bacterioplankton in estuarine water analyzed with selective metabolic inhibitors. // *Marine Ecology Progress Series*. –1986. – Vol. 32. – P. 169-179.
9. Weisse T. The microbial loop in the Red Sea: Dynamics of pelagic bacteria and heterotrophic nanoflagellates // *Marine Ecology Progress Series*. – 1989. – Vol. 55. – P. 241–250.

УДК 574.5(282.05+289)

Рубрика 34.35.33

ОСОБЕННОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ И ТРОФИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ  
МАКРОБЕНТОСА В ЛАГУННОЙ ЭКОСИСТЕМЕ НИКОЛЬСКОЙ ГУБЫ  
(КАНДАЛАКШСКИЙ ЗАЛИВ, БЕЛОЕ МОРЕ)

FEATURES OF THE SPECIES, SPATIAL AND TROPHIC STRUCTURE OF  
MACROBENTHOS IN THE LAGOON ECOSYSTEM OF THE NIKOLSKAYA BAY  
(KANDALAKSHA BAY, WHITE SEA)

**Столяров Андрей Павлович**

МГУ им. М. В. Ломоносова, Москва

**Stolyarov Andrey Pavlovich**

M. V. Lomonosov, Moscow

### **Введение**

Лагунные экосистемы, как правило, представляют собой неглубокие, полужамкнутые и динамичные системы [De Wit et al., 2020]. Они расположены на границе между морем и сушей и характеризуются своеобразными сообществами живых организмов [Khlebovich, 2015; Комплексные исследования Бабьего моря..., 2016]. Многие ученые отмечают неустойчивость и уязвимость лагунных экосистем вследствие различного рода изменений климатических условий, гидрологического и солевого режимов водоема или воздействия антропогенных факторов [Labay et al., 2016; Stolyarov, 2017; Sy et al., 2018; Mosbahi et al., 2019; Stolyarov, 2020]. Макробентос является важным компонентом лагунных и морских экосистем, играющим заметную роль в круговороте питательных веществ, разложении детрита, а также в качестве источника пищи для более высоких трофических уровней. Поэтому исследования макробентоса актуальны и могут прояснить некоторые вопросы формирования лагунных экосистем, а также их изменений и сохранения этих уникальных объектов. Цель нашей работы заключалась в изучении особенностей видовой, пространственной и трофической структуры сообществ макробентоса в одной из мелководных лагунных экосистем Белого моря.

### **Результаты и обсуждение**

***Краткая характеристика района исследования.*** Исследование макробентоса было проведено в лагунной экосистеме губы Никольской в июле – начале августа 2019 и 2021 гг. Пробы были отобраны на 28 станциях, из которых 13 расположены в сублиторали, а 15 – в литоральных местообитаниях. Никольская губа находится в Кандалакшском заливе Белого моря в 5,5 км от Беломорской биологической станции МГУ и хорошо защищена от морских волн и течений островами, косами и лудами. Губа характеризуется небольшими глубинами

(максимальные глубины 2,5–3 м на малой воде) и илисто-песчаными осадками. Соленость придонной воды в период взятия проб была относительно высокой (22–23‰). По мере приближения к куту лагуны соленость снижалась до 21–22‰.

**Видовой состав и общие показатели структуры сообщества.** Всего в губе Никольской было встречено 26 видов зообентосных животных и 9 видов морских трав и водорослей. В составе зообентоса преобладали полихеты (9 видов) и моллюски (4 вида брюхоногих моллюсков и 3 вида двустворчатых), меньше было встречено ракообразных (2 вида) и не найдено ни одного вида иглокожих. Зато были обнаружены представители насекомых (2 вида) и олигохет (2 вида).

Видовое разнообразие, общая плотность и биомасса макробентоса в губе Никольская преимущественно увеличивались от верхней литорали к средней и нижней и снижались к сублиторали. Снижение общих показателей структуры сообщества в сублиторали по сравнению с нижней и средней литоралью вызвано значительным заилением дна этого водоема и, как следствие, снижением плотности популяций или отсутствием видов характерных для этих горизонтов (*Mytilus edulis*, *Macoma balthica*, *Littorina littorea*, *L. saxatilis*, *Mya arenaria*, *Peringia ulvae*, *Tubificoides benedii*, *Chironomus salinarius*) при доминировании менее многочисленных и в основном менее эвригалинных видов (*Macoma balthica*, *Nereimyra punctatata*, *Alitta virens*, *Pectinaria koreni*, *Phyllodoce maculata*). В верхней литорали доминировали редкие популяции трех видов – брюхоногих моллюсков *Peringia ulvae*, олигохет *Tubificoides benedii*, а также двустворчатых моллюсков *Littorina saxatilis*. Наиболее значительные изменения в продольном направлении от кутовых районов к мористой области наблюдались в средней и нижней литорали, обусловленные сменой гидрологических условий на выходе из губы (зона повышенной гидродинамики) и развитием там сообщества неподвижных сестонофагов *Mytilus edulis*.

Проведенный кластерный анализ свидетельствует о неоднородности видовой структуры макробентосного сообщества в лагуне Никольской губы, что связано с различными абиотическими условиями в верхней, средней, нижней литорали и в сублиторали, а также в кутовом районе (более мелководном и опресненном) и на выходе из лагуны (более морские условия). Хорошо отличаются сублиторальные сообщества от литоральных за исключением сублиторальных сообществ кутовой области (значительная плотность брюхоногих моллюсков *Peringia ulvae* и олигохет *Tubificoides benedii*), которые по сходству видовой структуры были ближе к литоральным комплексам. Также различаются сообщества нижней литорали и средней литорали мористого района от сообществ всей верхней литорали и средней литорали кутового района.

**Трофическая структура сообщества.** Изменения трофической структуры сообщества макробентоса происходили как в вертикальном, так и в продольном направлении. В вертикальном направлении изменения трофической структуры происходили в основном на уровне субдоминантных групп (в верхней литорали в качестве субдоминантной трофической группы преобладали скоблильщики, в средней – малоподвижные и неподвижные сестонофаги, в нижней – неподвижные сестонофаги и скоблильщики, в сублиторали – хищники) при доминировании группы собирающих детритофагов (около 60%). В продольном направлении собирающие детритофаги, преобладающие внутри губы, замещались неподвижными сестонофагами *M. edulis* на выходе из губы в нижней и средней литорали при доминировании собирающих детритофагов в верхней литорали и в сублиторали.

## Заключение

Никольская губа относится к мелководным сильно заиленным водоемам лагунного типа с затрудненным водообменом с внешней акваторией. Губа хорошо защищена от морских волн и течений и характеризуется бедной специфической фауной с преобладанием трофической группы собирающих детритофагов. Значительное ослабление водообмена губы Никольская с внешней акваторией и ее сильное заиление (преобладают илы и песчанистые илы с запахом сероводорода) приводят к существенному уменьшению видового разнообразия, снижению общей плотности и особенно биомассы сообщества макробентоса по сравнению с внешней акваторией и более открытыми морскими лагунами [Броцкая и др., 1963; Chikina et al., 2014; Комплексные исследования Бабьего моря..., 2016; Stolyarov, 2017, 2020]. В заключение отметим, что дальнейшее ослабление водообмена и уменьшение связи лагуны с морем из-за продолжающегося подъема берегов Белого моря [Романенко, Шилова, 2012] в обозримой исторической перспективе (50–100 лет) может привести к еще большему заилению, опреснению и возможному сокращению площади лагуны (за счет кутового района), это будет способствовать развитию немногих мелких видов детритофагов-собирателей, устойчивых к опреснению, углеродной нагрузке и воздействию сероводорода.

## Список литературы:

1. Броцкая В.А., Жданова Н.Н., Семенова Н.Л. Донная фауна Великой Салмы и прилежащих районов Кандалакшского залива Белого моря // Труды Беломорской биологической станции МГУ. Т. 2. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1963. С. 159–182.
2. Комплексные исследования Бабьего моря, полуизолированной беломорской лагуны: геология, гидрология, биота – изменения на фоне трансгрессии берегов (Труды Беломорской биостанции МГУ. Т. 12.) / Под общ. ред. В.О. Мокиевского, А.И. Исаченко, П.Ю. Дгебуадзе и А.Б. Цетлина. М.: Т-во научн. изд. КМК, 2016. 243 с.
3. Романенко Ф.А., Шилова О.С. Последледниковое поднятие Карельского берега Белого моря по данным радиоуглеродного и диатомового анализов озерно-болотных отложений полуострова Киндо // Докл. Акад. наук. 2012. Т. 442. № 4. С. 544–548.
4. De Wit R., Leruste A., Le Fur I., Sy M.M., Bec B., Ouisse V., Derolez V., Rey-Valette H. A multidisciplinary approach for restoration ecology of shallow coastal lagoons, a case study in South France // Front. Ecol. Evol. 2020. Vol. 8: 108.
5. Chikina M.V, Spiridonov V.A., Mardashova M.V. Spatial and temporal variability of coastal benthic communities in the Keretsky Archipelago area and in the Velikaya Salma strait (Karelian coast, the White Sea) // Oceanology. 2014. Vol. 54. N 1. P. 54–65.
6. Khlebovich V.V. Applied aspects of the concept of critical salinity // Biol. Bull. Rev. 2015. Vol. 5. N 6. P. 562–567.
7. Labay V.S., Kurilova N.V., Shpilko T.S. Seasonal variability of macrozoobenthos in a lagoon having a periodic connection with the sea (Ptich'e Lake, southern Sakhalin) // Biol. Bull. 2016. Vol. 43. N 9. P. 988–1002.
8. Mosbahi N., Serbaji M.M., Pezy J.P., Neifar L., Dauvin J.C. Response of benthic macrofauna to multiple anthropogenic pressures in the shallow coastal zone south of Sfax (Tunisia, central Mediterranean Sea) // Environ. Pollut. 2019. Vol. 253. P. 474–487.

9. Stolyarov A.P. Peculiarities of the structure of and trends in the macrobenthos community of the Ermolinskaya Bay lagoon ecosystem, Kandalaksha Bay, White Sea // Biol. Bull. 2017. Vol. 44. N 9. P. 1019–1034.
10. Stolyarov A.P. Species diversity and trophic structure of macrobenthos communities in lagoon ecosystems (Kandalaksha Bay, White Sea) // Biol. Bull. 2020. Vol. 47. N 8. P. 887–896.
11. Sy M.M., Rey-Valette H., Simier M., Pasqualini V., Figuières Ch, De Wit R. Identifying consensus on coastal lagoons ecosystem services and conservation priorities for an effective decision making: A Q approach // Ecol. Econ. 2018. Vol. 154. P. 1–13.



УДК 574.58

Рубрика 34.35.00

КОНСОРТИВНЫЕ СВЯЗИ *ZOSTERA MARINA* L. В БЕЛОМ МОРЕ У БЕРЕГОВ ОНЕЖСКОГО ПОЛУОСТРОВА

CONSORTATIVE RELATIONSHIPS OF *ZOSTERA MARINA* L. IN THE WHITE SEA

**Мосеев Дмитрий Сергеевич<sup>1</sup>, Махнович Наталья Михайловна<sup>1</sup>, Брагин Альберт Владимирович<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН, г.Москва

<sup>2</sup>ФГБУ «Национальный парк «Кенозерский», г.Архангельск

**Moseev Dmitriy Sergeevich<sup>1</sup>, Makhnovich Natalia Mikhailovna<sup>1</sup>, Bragin Albert Vladimirovich<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Science, Moscow

<sup>2</sup>National Park Kenozersky, Arkhangelsk

## Введение

Для Белого моря открытым остается вопрос об изучении консортивных связей *Zostera marina* с другими организмами. Зостера морская (*Zostera marina* L.) – важный объект фитобентоса Белого моря. Расселяясь в верхней сублиторали и на нижней литорали, зостера образует обширные сообщества, так называемые «подводные луга». Достаточно много сведений о зостере известно для сублиторали у западного побережья Белого моря [Вехов, 1992; Блинова и др., 2014; Сергиенко и др., 2012]. Сведения о сообществах *Zostera marina* у берегов Онежского полуострова приводились для губы Ухта [Гемп, 1962], но появляется все больше научных данных о произрастании *Zostera marina* и на других участках побережья [Мосеев и др., 2022; Брагин и др., 2021].

Материалом для данной работы послужили пробы фито- и макрозообентоса, отобранные по общепринятым методикам в летне-осенний период 2020-2022 гг. на 14 станциях в литоральной зоне Онежского залива и Унской губы Белого моря [Руководство..., 1986; McIntyre, 2005]. Пробы для качественного и количественного анализа отбирали на малой воде приливного цикла, использовали рамку со сторонами 50x50 см, грунт промывали через сито с ячейей 1 мм. Определение видов, их численности и биомассы подсчитывали в камеральных условиях.

## Результаты

Результаты изучения морской и галофитной растительности показывают, что *Zostera marina* в основном образует монодоминантные растительные сообщества, в их составе с небольшим обилием встречаются некоторые виды водорослей – *Fucus vesiculosus*, *Cladofora*, *Ectocarpus*, *Ulva prolifera* и высшие растения – *Ruppia maritima*, *Potamogeton pectinatus* [Бабина, 2002; Мосеев, Сергиенко, 2016]. Доказано, что нитчатые водоросли *Cladofora* и *Ectocarpus*,

талломы которых переносятся течениями, являются важными переносчиками семян zostеры [Вехов, 1992].

Известно, что в составе представителей животного мира гидробиоценозы с *Zostera marina* образует двусторчатый моллюск *Mitilis edulis*, обильный у западного побережья моря на каменисто-илисто-песчаных грунтах. Результаты исследований показывают, что сообщества *Zostera marina* с *Mitilis edulis* довольно обычны у западного побережья [Вехов, 1991; Шкляревич, 1982].

В 2020-2022 гг. нами проводились исследования водной и приморской растительности восточной части побережья Онежского и Двинского заливов, в ходе которых показано, что *Zostera marina* образует сообщества вдоль Онежского берега, в Унской губе и губе Сухое Море Двинского залива [Мосеев и др., 2021]. Показано, что для произрастания *Zostera marina* предпочтительнее мягкие илистые и илисто-песчаные грунты. Биоценозы формируются в условиях солености от 14,76‰ в вершине Унской губы до 22,3‰ на выходе из губы в Двинский залив. В зоне литорали у берегов Онежского залива в местах произрастания zostеры величина солености оказалась выше – 22,97-23,8‰.

В сообществах zostеры отмечается от 1 до 6-8 видов беспозвоночных (табл. 1). Видовое богатство беспозвоночных больше в сообществах zostеры с фукусовыми водорослями *Fucus vesiculosus* и *Fucus distichus*, где насчитывается до 6-8 видов моллюсков, ракообразных и полихет. У берегов Онежского залива *Zostera marina* образует сообщества со многими беспозвоночными: *Mya arenaria*, *Macoma balthica*, *Littorina* sp., *Hydrobia ulvae*, *Enoplus brevis*, *Gammarus* sp., *Crangon crangon*, *Scoloplos gr. armiger*, *Arenicola marina*, *Chironomidae* sp., *Nematoda*.

В Онежском заливе и Унской губе в сообществах *Zostera marina* наиболее многочисленны моллюски – *Mya arenaria*, *Macoma balthica*, *Littorina* sp., *Hydrobia ulvae*. На осушках Кинжугской губы в сообществах *Zostera marina* кроме *Hydrobia ulvae*, *Littorina* sp., *Mya arenaria* встречаются ассоциации морской травы с моллюском *Mitilus edulis*, который прикрепляется к zostере как к субстрату.

Таблица 1. Сообщества zostеры с морскими беспозвоночными

Станция	Местоположение	Биотоп	Соленость, ‰	Сообщ-ест-во	Общее покрытие дна, %	Биомасса, кг/м <sup>2</sup> <i>Zostera marina</i>	Видовой состав беспозвоночных	Численность моллюсков, экз/м <sup>2</sup>	Биомасса моллюсков, г/м <sup>2</sup>
1	Онежский залив	Литоральная ванна	22,35	<i>Zostera marina</i>	30	.	<i>Macoma balthica</i> , <i>Hydrobia ulvae</i> , <i>Enoplus brevis</i>	760	82.98
2	Унская губа	Верхняя сублитораль	17,16	<i>Zostera marina</i>	80	1.73	<i>Hydrobia ulvae</i> , <i>Macoma balthica</i> , <i>Chironomidae</i> sp.	320	5.996
3	Унская губа	Верхняя сублитораль	17,55	<i>Zostera marina</i>	70	3.14	<i>Hydrobia ulvae</i> , <i>Macoma balthica</i>	280	20.176
4	Унская губа	Верхняя сублитораль	14,76	<i>Zostera marina</i>	30	0.64–3.14	<i>Chironomidae</i> sp., <i>Hydrobia ulvae</i> , <i>Gammarus duebeni</i>	.	.
5	Унская губа	Верхняя сублитораль	17,55	<i>Zostera marina</i>	70	0.64–3.14	<i>Chironomidae</i> sp., <i>Hydrobia ulvae</i> , <i>Gammarus duebeni</i>	.	.
6	Унская губа	Нижняя литораль	22,3	<i>Zostera marina</i>	70	0.51–0.67	<i>Hydrobia ulvae</i>	128	0.7176
7	Унская губа	Верхняя сублитораль	17,31	<i>Zostera marina</i> + <i>Chorda</i>	60	2.67	<i>Hydrobia ulvae</i> , <i>Littorina</i> sp., <i>Mya arenaria</i>	408	2.412

8	Онежский залив	Литоральная ванна	22,97	<i>Zostera marina</i> + <i>Fucus vesiculosus</i>	70	.	<i>Hydrobia ulvae</i> , <i>Littorina</i> sp., <i>Gammarus</i> sp., <i>Scoloplos gr. armiger</i>	260	37.7676
9	Онежский залив	Литоральная ванна	22,97	<i>Zostera marina</i> + <i>Fucus vesiculosus</i>	60	0.71	<i>Hydrobia ulvae</i> , <i>Littorina</i> sp., <i>Mytilus edulis</i> , <i>Gammarus</i> sp., <i>Scoloplos gr. armiger</i> , <i>Macoma balthica</i> , <i>Mya arenaria</i> , <i>Crangon crangon</i>	1480	157.0075
10	Онежский залив	Литоральная ванна	22,97	<i>Zostera marina</i>	70	.	<i>Hydrobia ulvae</i> , <i>Littorina</i> sp., <i>Arenicola marina</i>	28	1.3656
11	Онежский залив	Литоральная ванна	23,8	<i>Zostera marina</i> + <i>Fucus distichus</i>	70	.	<i>Hydrobia ulvae</i> , <i>Littorina</i> sp., <i>Scoloplos gr. armiger</i> , <i>Mytilus edulis</i> , <i>Mya arenaria</i> , <i>Crangon crangon</i>	380	45.2852
12	Онежский залив	Литоральная ванна	23,8	<i>Zostera marina</i> + <i>Fucus</i>	60	.	<i>Mya arenaria</i> , <i>Hydrobia ulvae</i> , <i>Littorina</i> sp., <i>Mytilus edulis</i>	108	17.1312
13	Онежский залив	Литоральная ванна	24,7	<i>Zostera marina</i>	30	.	Организмы мейобентоса	.	.
14	Онежский залив	Литоральная ванна	24,7	<i>Zostera marina</i> + <i>Fucus vesiculosus</i>	50	0.73	<i>Littorina</i> sp., <i>Nematoda</i> , <i>Hydrobia ulvae</i> , <i>Chironomidae</i> sp.	276	8.8496

Анализ результатов не показал зависимости биомассы и покрытия дна zostеры из сообществ Онежского залива и Унской губы с биомассой и численностью беспозвоночных гидробионтов. Однако, эти показатели можно учитывать при описании биоценозов Белого моря.

Биомасса побегов zostеры, произрастающей в биотопе верхней супралиторали Унской губы варьировала от 0.64 до 3.14 кг/м<sup>2</sup> и возрастала с увеличением солёности [Мосеев и др., 2022]. В зоне литорали Онежского залива и Унской губы величина биомассы изменялась от 0.51 до 0.73 кг/м<sup>2</sup>. Биомасса зообентоса в сообществах zostеры в Унской губе изменялась от 0.72 до 82.98 г/м<sup>2</sup>, в Онежском заливе – от 1.37 до 157.0075 г/м<sup>2</sup>. В целом биомасса зообентоса в Унской губе и Онежском заливе отличается слабо [Махнович, Мосеев, 2022; Махнович, 2022].

Не получена зависимость от солёности воды для показателей биомассы и покрытия zostеры и численности и биомассы зообентоса, что, вероятно, связано с небольшими изменениями солёности. Но все же показано, что видовой состав бентосных организмов увеличивается в сообществах более солёных вод Онежского залива по сравнению с Унской губой.

Сообщества zostеры признаются одним из важнейших субстратов нереста беломорской сельди [Горенко и др., 2020]. Однако исследования водной растительности в 2021 г. у берегов Онежского полуострова не выявили наличия икры сельди, что, несомненно, требует дальнейших исследований. В то же время в середине и конце мая 2021 г. у Онежского берега нерестилища сельди обнаруживались на талломах фукусовых водорослей.

Zostera является важным объектом питания водоплавающих птиц, в том числе мигрирующих видов. Через Онежский полуостров пролегает важнейший Беломорско-Балтийский пролетный путь. Весной и осенью стаи водоплавающих птиц мигрируют через полуостров, останавливаясь на отдых и кормежку в прибрежье Белого моря. Особенно крупные скопления птиц образуются в Унской губе [Покровская и др., 2017, Etz W., 2022]. По визуальным наблюдениям орнитологов (А. В. Брагина) наблюдалось питание zostерой кряквы и свиязи в Унской губе. Предполагается, что сообщества zostеры, являются важным источником питания водоплавающих птиц.

## Заключение

Морская трава *Zostera marina* в районе наших исследований на побережье Белого моря может образовать сообщества с любыми беспозвоночными организмами, которые являются массовыми. Лучше выражена взаимосвязь zostеры с детритофагом *Mytilus edulis*, использующим морскую траву как субстрат для прикрепления, что наблюдалось у мыса Сосновый Унской губы. Морская трава является важным источником питания перелетных птиц, что требует охраны её сообществ в Унской губе, которая является ключевой орнитологической территорией в составе национального парка «Онежское Поморье».

## Благодарность и финансирование

Авторы благодарят администрацию ФГБУ «Национальный парк «Кенозерский», за помощь в проведении исследований. Работа выполнена при поддержке темы государственного задания № FMWE-2021-0006.

## Список литературы:

1. Бабина Н.В. Галофитная растительность западного побережья Белого моря // Растительность России. – 2002. – №2. С. 3-21.
2. Блинова Е.И., Ермаков И.П., Камнев А.Н., Крупина М.В. Осташева А.И., Стукалова И.В. Морские травы морей России: экология, распространение, запасы, история исследований. Часть 2. Морские травы северо-западных морей России. – 2014. – №5. С. 119-126.
3. Брагин А.В., Мосеев Д.С., Махнович Н.М., Покровская И.В., Футоран П.А., Козыкин А.В., Черенкова Н.Н., Баянов Н.Г. Экспедиция на Онежский полуостров «Белое море – ворота в Арктику. Загадки пернатых мигрантов» // Труды Архангельского центра Русского географического общества. Сборник научных статей. Архангельск. – 2021. – С. 333-341.
4. Вехов В.Н. Зостера морская (*Zostera marina* L.) Белого моря. М.: Изд-во МГУ. –1992. – 144 с.
5. Гемп К.П. Сырьевые запасы морских водорослей и трав и перспективы дальнейшего развития их промысла в Белом море. Труды всесоюзного совещания работников водорослевой промышленности СССР. – 1962. – Т. 1.
6. Горенко В.А., Фролов С.Б., Березина М.О., Левицкий А.Л. Значение zostеры морской (*Zostera marina* L.) как субстрата для нереста беломорской сельди // Материалы международной научной конференции по водным макрофитам. Гидробиотаника – 2020. Борок. – 2020. – С. 40-42.
7. Махнович Н.М. Основные популяционные характеристики макрозообентоса Онежского берега Белого моря (весна 2021 г.) // Экология гидросферы. – 2022. – № 1 (7). – С. 1-10.
8. Махнович Н.М., Мосеев Д.С. Прибрежные донные сообщества Унской губы Белого моря // Естественные и технические науки. – 2022. – № 1 (164). – С. 82-88.

9. Мосеев Д.С., Махнович Н.М., Березина М.О., Брагин А.В. «Подводные луга» zostеры (*Zostera marina* L.) в эстуариях Онежского и Двинского заливов Белого моря // Геология морей и океанов. Материалы XXIV Международной научной конференции (Школы) по морской геологии. – 2022. – С. 253-257.
10. Мосеев Д.С., Сергиенко Л.А. Структура растительного покрова юго-восточного побережья Белого моря (залив Сухое Море) // Hortus Botanicus. – 2016. – Т. 11. С. 57-31.
11. Покровская И.В., Брагин А.В., Соболев Н.А. Двинско-Онежский пролетный коридор – территория особого природоохранного назначения и объект разработки нестандартного природоохранного менеджмента // Природное наследие России. Сборник научных статей международной научной конференции посвященной 100-летию национального заповедного дела и Году экологии в России. Пенза. – 2017.
12. Руководство по методам биологического анализа морской воды и донных отложений // Цыбаль А.В. (ред.). – Л., 1986. – 192 с.
13. Сергиенко Л.А., Стародубцева А.А., Смолькова О.В., Марковская Е.Ф. Виды рода *Zostera* L. (Сем. *Zosteraceae*) во флоре западного побережья Белого моря // Фундаментальные исследования. – 2015. – №2. – С. 206-212.
14. Шкляревич Г.А. О некоторых сторонах биологии *Zostera marina* на литорали островов в вершине Кандалакшского залива // Природа заливов РСФСР и ее изменение под влиянием естественных и антропогенных факторов. М. –1982. – С. 76-89.
15. Etz W., Tertitski G., Kays R., Mueller U., Wikelski M. et al. Biological Earth observation with animal sensors // Trends in Ecology and Evolution. – 2022. – Vol. 37, no. 4. P. 293–298.
16. McIntyre A.D. Methods for the study of marine benthos. – Blackwell, Oxford, UK: Blackwell Science, 2005. – 418 p.

УДК 582.272

Рубрика 34.35.33

ЭПИФИТЫ *ASCOPHYLLUM NODOSUM* (PHAEOPHYCEAE) В ГУБЕ ТЕРИБЕРСКАЯ БАРЕНЦЕВА МОРЯ

EPIPHYTES OF *ASCOPHYLLUM NODOSUM* (PHAEOPHYCEAE) IN TERIBERSKAYA BAY, BARENTS SEA

**Тупицына Софья Александровна<sup>1</sup>, Нерезенко Алексей Максимович<sup>1</sup>, Рыжик Инна Валериевна<sup>2</sup>, Малавенда Светлана Владимировна<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Мурманский арктический университет (MAU), Мурманск

<sup>2</sup>Мурманский морской биологический институт (ММБИ) РАН, Мурманск

**Tupitsyna Sofia Alexandrovna<sup>1</sup>, Nerezenko Alexey Maksimovich<sup>1</sup>, Ryzhik Inna Valerievna<sup>2</sup>, Malavenda Svetlana Vladimirovna<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Murmansk Arctic University (MAU), Murmansk

<sup>2</sup>Murmansk Marine Biological Institute (MMBI) RAS, Murmansk

## Введение

Бурая водоросль *Ascophyllum nodosum*, распространенная на берегах Азии, Европы, Северной Америки, является ценным промысловым видом, используемым в качестве источника различных биологически активных веществ [Клиндух, Облучинская, 2013].

В данной работе употребляется термин эпифиты как растения, поселяющиеся на растениях и использующие последние как субстрат [Виноградова, 1989].

Присутствие эпифитов может повлиять на физиологическое состояние и рост аскофиллума, что, в свою очередь, может оказать каскадное воздействие на связанное с ним биоразнообразие, а также оказать влияние на продуктивность водорослей. Изучение взаимодействия между хозяином и его эпифитами важно для сохранения и управления морскими экосистемами и биоресурсами.

Целью данного исследования является оценка влияния эпифитов на метаболизм *A. nodosum*, путем сравнительного анализа содержания маннита, полифенолов, пигментов и активности каталазы эпифитов и базифита.

## Материалы и методы

Материал был отобран на скалистой литорали в губе Териберская Баренцева моря (69° 10' 20.59788'' с.ш. 35° 10' 8.44788'' в.д.) в сентябре 2022 года и мае 2023.

Для оценки биомассы были отобраны пробы с использованием рамки 0.5×0.5 м в трех повторностях. Рассчитывали среднее и стандартное отклонение. В местах прикрепления эпифитов оценивали глубину проникновения эпифита с применением световой микроскопии. Видовую идентификацию водорослей проводили по морфологическим признакам [Марковская и др., 2016; Mathieson, Dawes, 2017; Guiry, 2023]



Для определения степени воздействия эпифитов на физиологическое состояние базифита проводили анализ состояния антиоксидантной системы на примере оценки активности каталазы и полифенолов и фотосинтетической системы - анализ содержания фотосинтетических пигментов и маннита, как одного из основных продуктов фотосинтеза бурых водорослей.

Объектами биохимического исследования являлись *A. nodosum* и наиболее массовые эпифиты *Elachista fucicola* (*Phaeophyceae*) и *Vertebrata lanosa* (*Rhodophyta*). У *A. nodosum* для анализа использовали участки таллома непосредственно вблизи прикрепления эпифита и участки таллома, свободные от эпифитов.

Содержание полифенолов определяли с использованием стандартной методики Фолина-Дениса, модифицированной для водорослей [Сиренко, 1975]. Активность каталазы измеряли методикой спектрофотометрического измерения активности каталазы [Королюк, 1988]. Содержание маннита в бурой водоросли определяли по модифицированному методу [Облучинская Е.Д. Сравнительное исследование бурых водорослей Баренцева моря, 2008]. Фотосинтетические пигменты бурых водорослей определяли по методу Сиили [Seely et al., 1972]. Статистическая обработка выполнена в Excel. Рассчитывали среднее значение биомассы и доверительный интервал [Ивантер, Коросов, 2011].

## Результаты и обсуждение

Биомасса эпифитов составила менее 1 г/м<sup>2</sup>, что является незначительным по сравнению с биомассой самого аскофиллума – 14920 ± 593 г/м<sup>2</sup>.

Всего при исследовании талломов *A. nodosum* было выявлено 9 видов эпифитов:

### Phaeophyceae

*Elachista fucicola* (Vellay) Areschoug 1842  
*Leathesia marina* (Lyngbye) Decaisne 1842  
*Fosliea griffithsiana* (Le Jolis) Hagen ex Athanasiadis 2021  
*Pylaiella littoralis* (Linnaeus) Kjellman, nom. cons. 1872  
*Pylaiella varia* Kjellman 1883

### Rhodophyta

*Acrochaetium* sp. Nägeli 1858  
*Vertebrata lanosa* (Linnaeus) T.A.Christensen 1967

### Chlorophyta

*Ulothrix implexa* (Kützinger) Kützinger 1849  
*Rhizoclonium riparium* Kützinger 1843

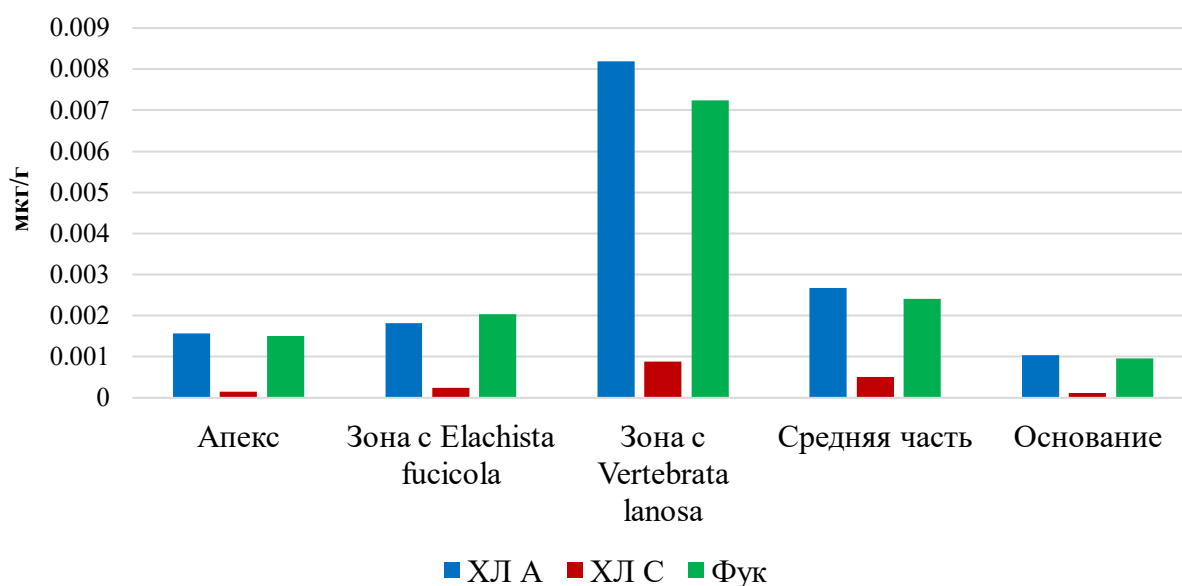
Наибольшая встречаемость выявлена у *E. fucicola* и *L. marina*, которая составила 81.25% и 43.75% соответственно. Большая часть эпифитов приурочена к верхним частям таллома, наиболее молодым.

Определение проникновения клеток эпифита в ткани методом световой микроскопии выявило, что у *E. fucicola* клетки проникают в срединный слой аскофиллума, а у других видов взаимодействие происходит на уровне корового слоя фукоидов.

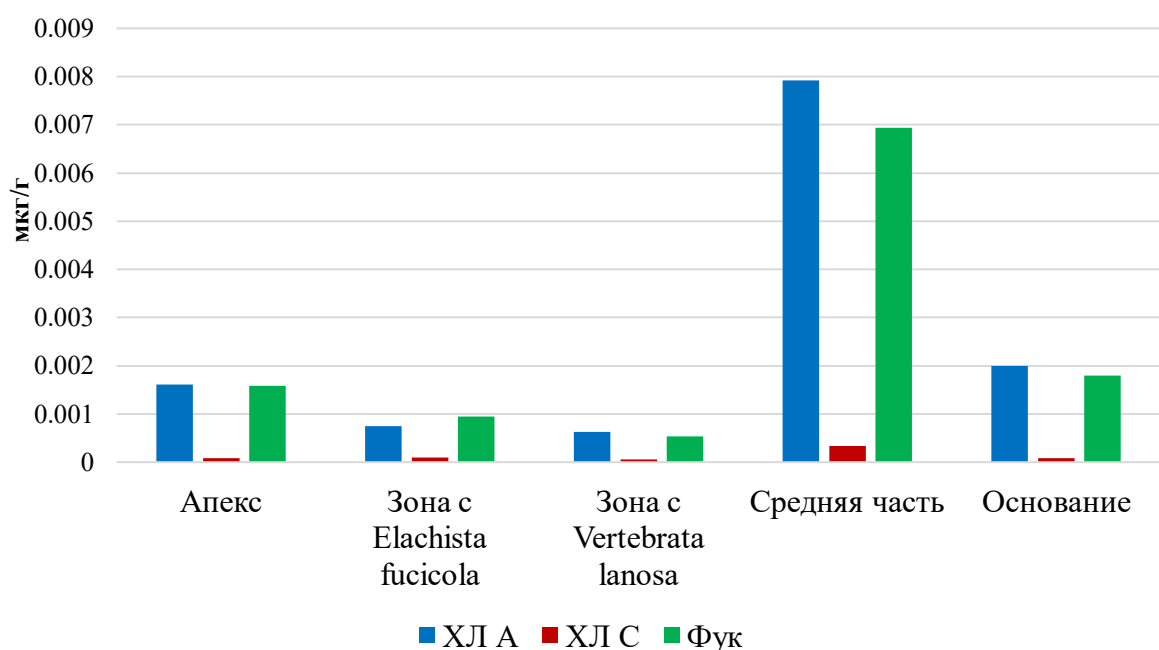
Концентрация пигментов в талломе уменьшается средняя зона – апекс – основание, сходное распределение отмечено и для других водорослей [Тараховская и др., 2007]. Данное распределение характерно для водорослей, собранных в разные сезоны года (весна и осень). Однако, более подробный анализ апикальных участков с разделением его на зоны с учетом наличия эпифитов, показало в весенний период наличие локального повышения содержания пигментов, особенно в зоне с *V. Lanosa* (рис. 1a) В осенний период в зоне прикрепления

эпифитов концентрация пигментов (Хлорофилл А, Хлорофилл С, Смесь каротиноидов, включая фукоксантин) в талломе *A. nodosum* достоверно не отличалась от остальной части таллома (рис. 1б)

В талломах самих эпифитов содержание пигментов было выше у *V. lanosa*, чем у *E. fucicola*.



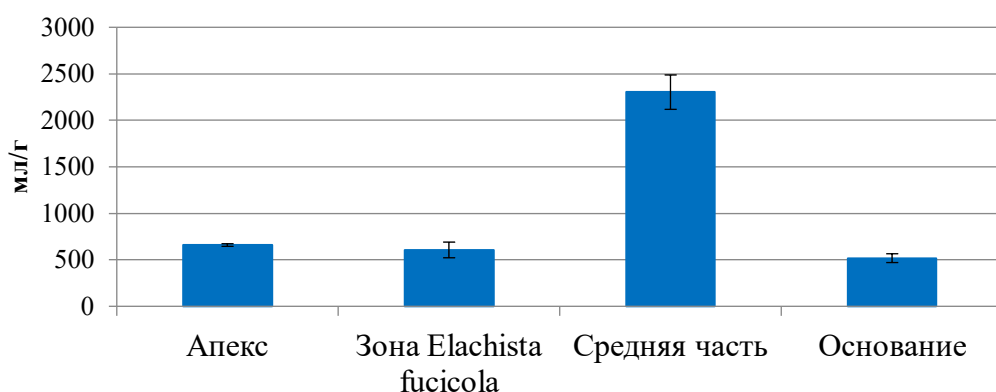
(а)



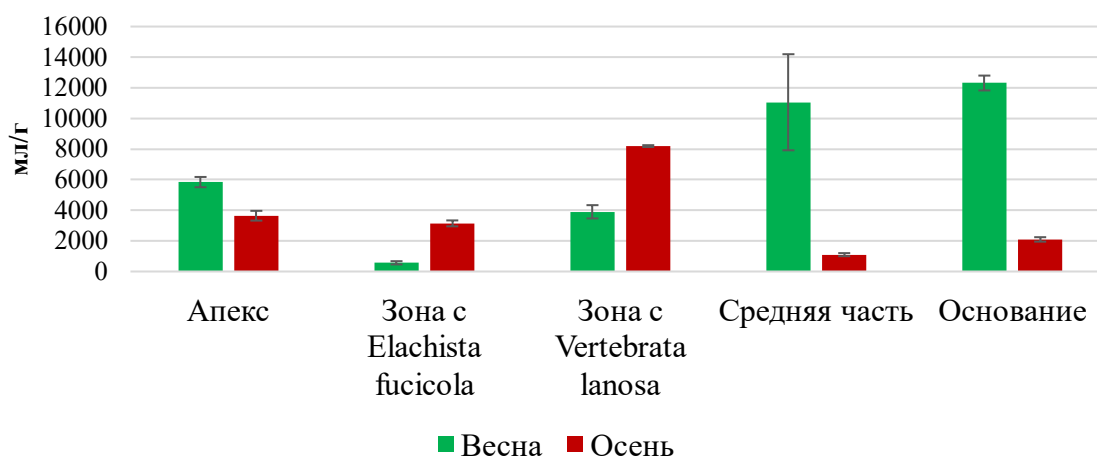
(б)

Рис 1. Концентрация пигментов на разных участках таллома *A. nodosum* (а) весна, (б) осень. По оси ординат концентрация, мкг/г, по оси абсцисс – участки таллома

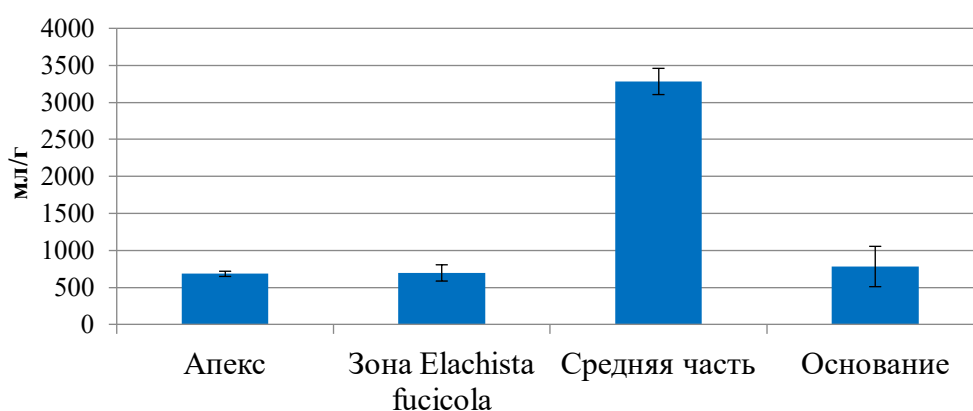
Массовая доля маннита была определена для участков прикрепления *Elachista fucicola* и участков, свободных от эпифитов, в осенний период. По результатам исследования распределения маннита на разных участках таллома *A. nodosum* не было отмечено существенных различий между участками с *E. fucicola* и участками, свободных от эпифитов (рис. 2а).



(a)



(б)



(в)

Рис 2. Концентрации на разных участках таллома *A. nodosum* (а) – маннита, (б) – полифенолов, (в) – активность каталазы. По оси ординат концентрация, мкг/г, по оси абсцисс – участки таллома

Содержание полифенолов на участках *A. nodosum* с эпифитами и участков, свободных от эпифитов, было отмечено повышенное содержание полифенолов в зоне прикрепления *V. lanosa* в пробах, собранных в осенний период (рис. 2б).

Повышенное содержание полифенолов в зоне прикрепления *V. lanosa* может быть связано с тем, что эти соединения играют роль в защитных механизмах водорослей (рис. 2б). Антиоксидантные свойства полифенолов защищают растение от различных неблагоприятных факторов, а эпифиты можно расценивать как потенциальную угрозу для водорослей, поскольку они могут конкурировать за такие ресурсы как свет и питательные вещества,

создавая физические барьеры, препятствующие поглощению света. Кроме того, полифенолы обладают противогрибковыми и антибактериальными свойствами [Теплова и др., 2018]. Присутствие эпифитов может спровоцировать увеличение выработки водорослями полифенолов в качестве защитного механизма. Кроме этого, полифенолы участвуют в построении клеточных стенок, возможно в данном случае мы будем наблюдать более интенсивное преобразование тканей хозяина, по сравнению с *E. fucicola*, это влечет за собой и более интенсивные процессы формирования новых тканей, клеток.

Максимальная активность каталазы в осенний период отмечается в средней части таллома, минимальная в апикальной части и клетках основания. Активности каталазы (АК в зонах прикрепления *E. fucicola* не отличалась от АК на участках свободных от эпифитов, что может свидетельствовать об отсутствии состоянии стресса (рис. 2в).

Таким образом, можно предположить, что произрастание эпифитов не вызывает стресс у *A. nodosum*, на основании сохранения активности каталазы, основного маркера деятельности антиоксидантной системы, и полифенолов, маркеров воспаления. Нет оснований и для вывода о положительной, стимулирующей роли эпифитов, поскольку концентрация маннита также одинакова во всех частях таллома. В тоже время удалось выявить повышение концентрации фотосинтетических пигментов непосредственно вблизи места прикрепления эпифитов, что может свидетельствовать о локальном затенении. В пользу данного предположения может свидетельствовать тот факт, что повышенное содержание пигментов выявлено именно в весенних пробах, то есть в период наиболее интенсивных ростовых и фотосинтетических процессов.

### **Заключение**

В ходе проведенного обследования зарослей *A. nodosum* в губе Териберская был выявлен участок его высокой биомассы в губе Корабельная, более 15 кг/м<sup>2</sup>. Обследование на *A. nodosum* показало слабое развитие эпифитов: только 9 видов, а биомасса составила менее 1 г/м<sup>2</sup>, что не более 0,001% от общей биомассы.

На основании полученных данных по биохимическому составу обследованных образцов можно сделать вывод, что *Elachista fucicola* и *Vertebrata lanosa*, произрастающие на талломе *Ascophyllum nodosum* оказывают только локальное затеняющее воздействие в месте прикрепления эпифита в весенний период. Влияния на синтез маннита не выявлено. Можно предполагать что весной при активном росте формируется небольшой раневой стресс, вызванный механическим раздвиганием тканей растущим эпифитом, поскольку увеличено содержание полифенолов.

Таким образом, воздействие, оказываемое эпифитами на метаболизм *A. nodosum* крайне мало, учитывая локальность его и очень слабое развитие эпифитов. Вероятно, при организации промысла можно считать его несущественным.

### **Благодарность**

Авторы благодарят Ломака Алину Александровну и Добычину Екатерину Олеговну за помощь при проведении исследований.

## Финансирование

Исследование выполнено в рамках Госзадания ММБИ РАН по теме Тема 9-22-01 (1.6.16) - «Донные биоценозы Баренцева моря, его водосборного бассейна и сопредельных вод в современных условиях»

## Список литературы:

1. Seely G. R., Duncan M. J., Vidaver W. E. Preparative and analytical extraction of pigments from brown algae with dimethyl sulfoxide // *Marine Biology*. – 1972. – Т. 12. – С. 184-188.
2. Виноградова К.Л. Эпифитизм водорослей: уточнение терминологии // *Ботанический журнал*. - 1989. - Т. 74. № 9. - С. 1291-1293.
3. Ивантер Э.В., Коросов А.В. Введение в количественную биологию. Учеб. пособие. Петрозаводск, ПетрГУ, 2003. - 304 с.
4. Клиндух М. П., Облучинская Е. Д. Сравнительное исследование химического состава бурых водорослей *Fucus vesiculosus* и *Ascophyllum nodosum* // *Вестник Мурманского государственного технического университета*. – 2013. – Т. 16. – №. 3. – С. 466-471.
5. Королук М. А. и др. Метод определения активности каталазы // *Лабораторное дело*. – 1988. – №. 4. – С. 44-47.
6. Облучинская, Е. Д. Сравнительное исследование бурых водорослей Баренцева моря / Е. Д. Облучинская // *Прикладная биохимия и микробиология*. – 2008. – Т. 44, № 3. – С. 337-342. – EDN IJUTNF.
7. Сиренко Л. А., Сакевич А. И., Осипович Л. Ф. Методы физиолого-биохимического исследования водорослей в гидробиологической практике. – *Наукова думка*, 1975. – 248 с.
8. Тараховская Е. Р., Маслов И. Динамика содержания фотосинтетических пигментов в ходе онтогенеза *Fucus vesiculosus* L // *Biological Communications*. – 2007. – №. 4. – С. 111-118.
9. Теплова В. В. и др. Природные полифенолы: биологическая активность, фармакологический потенциал, пути метаболической инженерии (обзор) // *Прикладная биохимия и микробиология*. – 2018. – Т. 54. – №. 3. – С. 215-235.
10. Марковская Е.Ф., Малавенда С.В., Рыжик И.В., Сергиенко Л.А., Сони́на А.В., Стародубцева А.А., Воскобойников Г.М. Растения и лишайники Мурманского побережья Баренцева моря (полевой атлас). Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2016. 191 с.
11. Mathieson A.C., Dawes C.J. *Seaweeds of the Northwest Atlantic*. Amherstand. Boston. Univ. of Massachusetts Press. 2017. - 798 p.
12. M.D. Guiry in Guiry, M.D. & Guiry, G.M. 10 March 2023. *AlgaeBase*. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. <https://www.algaebase.org>; searched on 10 September 2023

УДК 574.5; (268.46)

Рубрика 34.35.33

К ВОПРОСУ РАЗРАБОТКИ МЕТОДИКИ СЪЕМКИ ЛИТОРАЛИ ПРИ ПОМОЩИ  
БПЛА ДЛЯ ОЦЕНКИ ЗАПАСОВ ВОДОРΟΣЛЕЙ

TO THE DEVELOPMENT OF LITTORAL ALGAE STOCKS SURVEYING METHOD  
WITH UAVS APPLICATION

**Гурова Полина Денисовна<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Мурманский строительный колледж имени Н.Е. Момота, Мурманск*

**Gurova Polina Denisovna<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Murmansk Construction College named after N.E. Momota, Murmansk, Russia*

## **Введение**

В силу труднодоступности и большой протяженности побережья, мониторинговые исследования биологических сообществ в прибрежно-морских зонах Арктики затруднены [Ващенко, Малавенда, 2022]. Одним из инструментов гидробиологических исследований являются методы дистанционного зондирования [Дуленин и др., 2021]. Они позволяют оценивать характеристики пространственного распределения биологических объектов от морской флоры до млекопитающих и в определенной степени дают возможность выполнять оценки запасов отдельных групп гидробионтов.

Современные спутниковые системы дистанционного зондирования земли (ДЗЗ) обеспечивают разрешение 0.5 – 1 м. Несмотря на явный рост разрешающей способности (первые системы подобного назначения обеспечивали разрешение не выше 8 м), этих показателей недостаточно для изучения морских сообществ в литоральной и прибрежной зонах [Пантенков и др., 2022]. Материалы ДЗЗ позволяют оценивать ограниченный набор характеристик, таких как общая площадь, занимаемая сообществом морских организмов. При этом, для ряда задач требуются более детальные изображения. Для получения материалов высокого пространственного разрешения в последние годы применяются беспилотные летательные аппараты (БПЛА) [Cruzan et al., 2016]. Однако методическая база для подобных исследований еще не разработана.

В большинстве случаев при оценке «пригодности» съемки с БПЛА для решения задач по исследованию прибрежных сообществ и среды обитания, авторы напрямую используют высоту съемки как показатель, определяющий качество итогового изображения. В ряде работ встречается дополнительное указание использованной модели БПЛА. Однако такой подход несколько ограничивает сопоставление результатов, полученных различными авторами. В широкой практике применения результатов аэрофотосъемки, как инструмента наблюдения, для описания детализации получаемого изображения (как правило речь об ортофотоплане) используются такие величины как масштаб, размер наземной выборки (Ground Sampling Distance – GSD), размер пикселя и т.д. Из всех представленных величин, на наш взгляд, оптимальным является GSD, т.к. она характеризует детализацию полученного изображения и обеспечивает связь между высотой полета и характеристиками камеры. Таким образом, используя значение GSD, можно выполнить сопоставления детализации изображений, в том



числе между теми работами, где не представлено иных сведений об условиях ведения съемки кроме высоты полета и типа камеры.

В данной работе представлен анализ параметров съемки (высота, скорость) и их влияние на выбор оптимальных значений съемки с БПЛА с целью потенциала использования такой съемки в рамках выполнения мониторинговых исследований по оценке запасов макроводорослей. Опираясь на значения величины, характеризующей детализацию снимков, показаны возможности оценки границ произрастания и оценки проективного покрытия. Кроме того, оценено время съёмки единичного участка и выявлены факторы, влияющие на качество изображения – это формы участка съёмки, скорость и высота движения БПЛА на GSD.

Цель работы – выбор оптимальных параметров аэрофотосъемки для оценки запасов водорослей в литоральной зоне.

Задачами работы являлись:

1. Оценка возможностей применения аэрофотосъемки с разными значениями GSD для выявления и замеров параметров биологических объектов и характеристик среды обитания в литоральной зоне (граница произрастания водорослей, проективное покрытие, распределение видов).
2. Оценка влияния скорости БПЛА и высоты полета на значение времени, затрачиваемого на съемку единицы площади.
3. Оценка влияния скорости и высоты полета на качество аэрофотосъемки (рассмотрено значение наземного разрешения – GSD).

### **Материалы и методы**

Для выполнения поставленных задач нами была выполнена аэрофотосъемка участка Кольского залива. Размер участка составлял 10 000 м<sup>2</sup> (100 × 100 м).

Для оценки времязатрат, влияния высоты и скорости полета БПЛА, выполнялась съемка одного и того же участка Кольского залива (участок квадратной формы площадью 10 000 м<sup>2</sup>). Съёмка проводилась в южном колене Кольского залива (Восточный берег в районе авторынка).

Для оценки рассматриваемых параметров выполнялась серия полетов (использовался БПЛА – DJI Mavic Air2S). Ведение съемки осуществлялось в автоматизированном режиме, на основе полетного задания (ПЗ). Для автоматизации полетов доступен широкий набор программных решений, среди которых наиболее популярны: DJI Pilot, Drone Deploy, Pix4d, Drone Harmony. Приложение DJI Pilot разработано производителем БПЛА и предназначено для пилотирования аппаратов собственного производства, но при этом представлена поддержка ограниченного перечня аппаратов, некоторые из них не доступны для приобретения. Остальные примеры программного обеспечения разрабатываются на основе пакета программных инструкций по управлению БПЛА (side development kit - SDK), предоставляемых производителем (компанией DJI) для использования в разработке третьих сторон. Как правило, сторонние программные продукты распространяются по платной подписке, при этом в Drone Harmony при отсутствии подписки ограничен широкий ряд функций, а ряде других – нет возможности управления БПЛА без оплаты. При выполнении съемки для построения ПЗ использовалось программное обеспечение: Drone Harmony.

При построении ПЗ переменными параметрами являлись высота и скорость движения. Для высоты 50 м рассмотрено 7 скоростей движения (от 2 до 8 м/с). При полетах на высотах 30 и

15 метров в связи с ростом длительности полета задавалась меньшая дискретность скорости движения: 4, 6 и 8 м/с. Фотосъемка велась каждые в авторежиме с интервалом 2 с.

Для последующего анализа длительности выполнения ПЗ, велся «захват экрана» с пульта управления БПЛА.

Фактическая скорость движения оценивалась с использованием ГИС приложений (Map Viewer и ArcGIS). Для этого из метаданных каждого снимка извлекались: название снимка, значения координат и время съемки, данные вносились в таблицу. Из полученных данных подготавливался слой точечных объектов, привязанных к координатам (расположения центров фотографирования). Эти сведения использовались для построения маршрута движения и оценки ряда его характеристик с использованием ГИС приложений. Работа с массивом точек включала как построение маршрута полета целиком, так и рассмотрение его отдельных фрагментов. На маршруте дополнительно выделяли сегменты и звенья. Под сегментом мы понимаем прямой участок движения до точки поворота, а под звеном участок маршрута между парой соседних снимков (см. рис. 1).

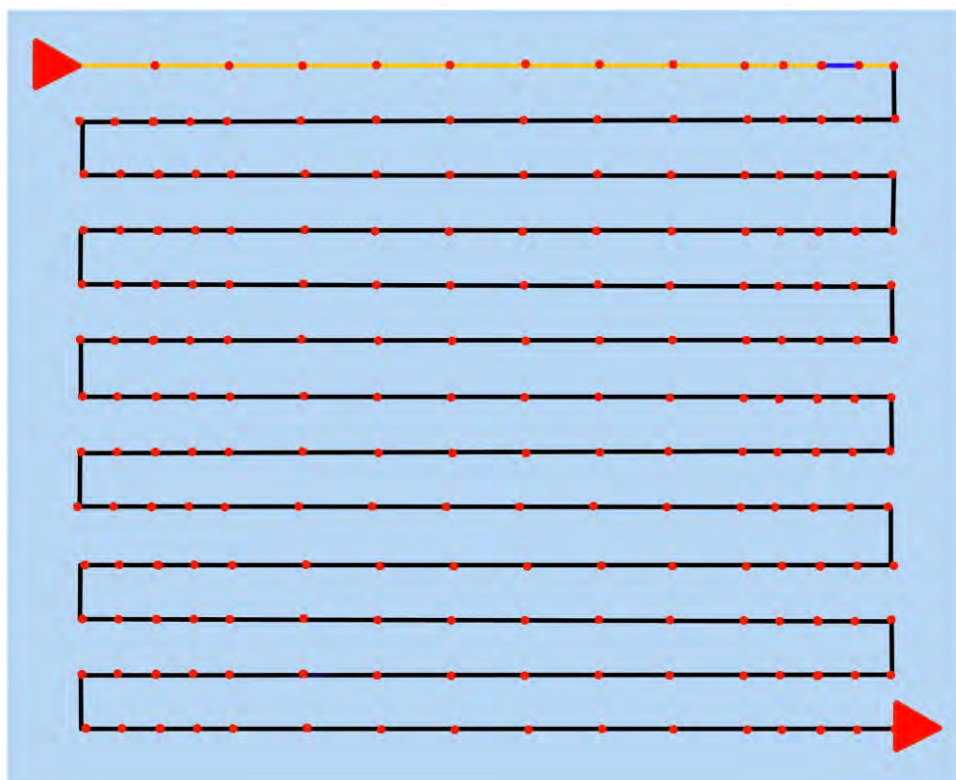


Рис 1. Схема траектории движения БПЛА при съемке в автоматизированном режиме.

- звено (участок движения между снимками); — участок движения по прямой;
- центры съёмки; ► точки начала и конца маршрута.

Таким образом, в ГИС была сформирована схема движения, представленная массивом точек с координатами центров съемки и сегментами маршрута, характеризующими расстояние между снимками. Эти данные использовались для анализа скорости движения на каждом участке маршрута. Скорость рассчитывалась следующим образом: значением расстояния выступала длина каждого отдельного звена (оценена в ArcGIS), при этом время на прохождение каждого звена фиксировано (задавалось в параметрах полета) и равно 2 сек.

Из полученного набора снимков, для каждой серии полета, в Agisoft Metashape формировались ортофотоплан (ОФП) и цифровая модель местности (ЦММ). Для каждой серии съемки оценивалось значение GSD.

Полученные ОФП анализировали визуально на предмет количества деталей, которые можно различить на изображении. Тестовым объектом выступали бурые водоросли. Для них, при различных GSD оценивали возможность выполнения: определения границ произрастания (для оценки проективного покрытия), определения видовой принадлежности, дифференциацию различных участков таллома. Для работы со значением GSD привлекались в т.ч. архивные материалы за 2021-2022 гг., выполненные на различных участках Кольского залива с предварительно рассчитанными GSD (Использованы материалы, полученные с использованием БПЛА – Mavic Air2S, Mavic mini, Phantom 4 Pro).

### Результаты и обсуждение

В ходе исследования выполнены 13 серий полетов. Каждая серия состояла из пролета участка при заданных высоте и скорости в трехкратной повторности. Полученные значения задаваемых и оцениваемых параметров представлены в таблице 1. Ниже представлена оценка рассматриваемых параметров на выполнение полётного задания.

Таблица 1. Результаты аэрофотосъемки участка с размерами 100 x 100 м

ID	Высота, м	Средняя скорость, м/с		Время, с	Эффективное расстояние*, %	GSD, см/пикс		Длина маршрута, м
		Задано в ПЗ	Факт			Факт	Оценка**	
1	50	8	3.90	122	21.31	1.67	1.48	479.54
2		7	3.80	124	29.03	1.72	1.48	479.01
3		6	3.60	130	35.38	1.69	1.48	479.03
4		5	3.40	140	44.29	1.71	1.48	479.29
5		4	3.00	158	54.43	1.71	1.48	479.02
6		3	2.50	186	66.67	1.62	1.48	479.35
7		2	1.80	256	72.66	1.61	1.48	479.03
8	30	8	3.80	176	21.59	1.00	0.89	684.24
9		6	3.50	194	36.08	1.10	0.89	684.30
10		4	3.00	228	55.26	1.03	0.89	683.94
11	15	8	4.11	340	34.67	0.52	0.44	1316.52
12		6	3.50	368	37.50	0.55	0.44	1319.30

13		4	3.19	446	27.95	0.51	0.44	1320.34
----	--	---	------	-----	-------	------	------	---------

\* Доля пути, пройденная с заданной (требуемой) скоростью

\*\* Значения, рассчитанные на основании характеристик камеры и параметров полета

*Влияние скорости движения БПЛА.* В ходе съёмки фактическое движение БПЛА осуществлялось с неравномерной скоростью вне зависимости от заданной при составлении ПЗ. Характерной особенностью движения на каждой из рассмотренных высот являлось то, что большую часть времени БПЛА двигался со скоростью ниже заданной (см. табл.1). Скорость движения аппарата снижалась при приближении к границам участка и была связана с изменением направления движения вдоль трансекты. Для каждой из заданных скоростей движения на маршруте отмечались участки разгона, торможения и движения с заданной скоростью. Время выполнения ПЗ, в рамках всех рассмотренных серий полетов, составляло от 2 до 6 минут. Фактическая средняя скорость составила 3.54 м/с (для задаваемых скоростей 4-8 м/с). Длительность выполнения ПЗ на больших высотах была меньше, чем на малых, что в свою очередь связано с более плотным расположением трансект, формируемых программой полетов автоматически для обеспечения достаточной степени перекрытия.

Минимальное отклонение от заданной скорости движения наблюдалось на высоте 50 при скорости 2 м/с. Аппарат двигался 72% пути со скоростью близкой к заданной ( $\pm 10\%$ ) (см. табл.1). Для остальных высот и задаваемых скоростей такая доля пути находилась в интервале от 21.31 до 72.66. Это говорит о том, что геометрия и размер заданного участка (100 x 100 м) не обеспечивают возможность эффективного движения по протяженной трансекте.

Полученные значения позволяют утверждать, что при формировании ПЗ необходимо избегать формирования участков с трансектами малой протяженности. Для этого оптимально задавать границы области съёмки с простой геометрией, без формирования сложных контуров. Например, повторяющих изгибы береговой линии или иных объектов.

При выполнении полетов в пределах одной и той же высоты, но с разной скоростью, обнаружены незначительные колебания значений GSD, получаемых изображений. Важно иметь в виду, что согласно формуле оценки GSD, значение скорости движения не является определяющим [Pix4D Documentation, 2019]. Разброс значений GSD, полученных при разной скорости, по-видимому, может быть связан с погрешностью позиционирования БПЛА, увеличением количества снимков, участвующих при построении ОФП, происходящим при изменении скорости движения.

*Влияние высоты движения БПЛА.* Полученные результаты демонстрируют высокую зависимость времени выполнения от высоты полета БПЛА. Так, при скорости движения 6 м/с время выполнения задания на высотах 50, 30, 15 м соотносится как 130:194:368 сек (или как 1 : 1.49 : 2.83). Мы наблюдаем почти трехкратный рост (2.83) длительности выполнения задания при 3.3 кратном снижении высоты. Увеличение скорости движения в 2 раза на рассмотренном участке приводило лишь к ~1.3 кратному снижению времени.

При сравнении результатов детализации полётов, выполненных на рассмотренных высотах, можно отметить, что детализация получаемых ОФП находится в обратной зависимости от высоты. Интервал значений детализации полученных ОФП, для рассмотренных высот, находили в интервале 1.72 – 0.51.

Принимая во внимания малый разброс средних значений GSD между рассмотренными высотами, можно предложить высоту 30 м как оптимальную для съёмки. Низкие значения высоты полёта в береговой черте могут привести к нежелательным результатам, вызванным наличием препятствий для полётов.



*Влияние GSD на возможность идентификации объектов.* Полученные ОФП были оценены визуально, с точки зрения возможности идентификации таких черт как граница произрастания водорослей, проективное покрытие, распределение видов. В качестве объекта выступали бурые водоросли рода *Fucus*.

Было отмечено, что для выявления наличия на литорали водорослей и определения границ их распределения, подходит широкий диапазон высот (до 200 м) и значений GSD от 0.01 – 10 см/пикс. При этом выявление отдельных черт объектов, например, с целью видовой дифференциации, необходимо использовать ультравысокое разрешение от 0.1 см/пикс и детальнее (Рис. 2). Для текущих коммерческих устройств (например, БПЛА компании DJI серии Mavic и Phantom) подобные значения достигаются при полете на высотах 1-5 м.

*Разработка подходов к съемке литорали для оценки пространственного распределения водорослей дальнейшей проработки.* На данном этапе можно предложить следующие рекомендации по составлению полетного задания для аэрофотосъемки литорали в рамках мониторинга:

- Высокие скорости полета (выше 4 м/с) стоит задавать только при съемке участков с большой протяженностью;
- Границы участка съемки при формировании полетного задания, должны быть максимально простыми, без включения изгибов береговой линии;
- При отсутствии высоких препятствий (скалы, искусственные сооружения и т.д.) оптимальная высота съемки составляет 30 м;
- При планировании полета, к времени выполнения задания, указанному в приложении стоит добавлять ~ 30% в связи с наличием участков торможения, не учитываемом программным обеспечением.



Рис.2. Примеры фрагмента ортофотоплана при разной детализации. Снимки и значения для DJI Mavic Air2S. а) – высота 5 м, GSD = 0.14 см/пикс; б) высота 100 м, GSD = 2.74 см/пикс;

## Заключение

Для тестового участка с размерами 100 x 100 м были оценены время на выполнение съемки и детализация получаемого изображения при движении БПЛА со скоростями 2-8 м/с на высотах 15, 30 и 50 м.

Было показано, что при выполнении съемки рассмотренного участка желаемая скорость движения БПЛА, задаваемая при построении полетного задания, не достигается. Фактическая средняя скорость составила 3.54 м/с (для задаваемых скоростей 4-8 м/с). Это вызвано наличием большого числа участков разгона/торможения, которые располагаются в начале и конце каждого сегмента маршрута.

Для планирования аэрофотосъемки в рамках выполнения мониторинговых исследований это означает, что при построении ПЗ требуемого участка местности, нет необходимости формировать сложные границы области съемки, повторяя изгибы береговой линии или иных объектов. Наиболее эффективно движение вдоль прямых протяженных участков.

Для характеристики детализации полученных изображений была принята величина GSD. Выполнены оценки влияния скорости и высоты движения БПЛА на GSD.

Влияние высоты полета можно характеризовать следующим образом: при снижении высоты полета время выполнения полетного задания и детализация получаемого изображения возрастают. Принимая во внимания малый разброс средних значений GSD между рассмотренными высотами, можно предложить высоту 30 м как оптимальную для съёмки. Низкие значения высоты полёта в береговой черте могут привести к нежелательным результатам, вызванным наличием препятствий для полётов.

Опираясь на значения GSD, можно выбрать необходимую детализацию ортофотоплана. Так, для определения наличия объектов (например, водорослей), и границ их распределения, могут подойти значения от 10 см/пикс и детальнее. Для выявления отдельных черт объектов, например, с целью видовой дифференциации, необходимо использовать ультравысокое разрешение от 0.1 см/пикс и детальнее. Для текущих коммерческих устройств (например, БПЛА компании DJI серии Mavic и Phantom) подобные значения достигаются при полете на высотах 1-5 м.

Таким образом, по полученным результатам, с учётом текущего уровня развития коммерческих БПЛА и ПО для их пилотирования, можно рекомендовать значения скорости ~ 6 и высоты 30 м в качестве оптимальных параметров аэрофотосъемки в рамках оценки запасов водорослей в литоральной зоне.

## Благодарности

Автор выражает благодарность руководителю работы – научному сотруднику ММБИ РАН Ващенко Павлу Сергеевичу за ценные рекомендации и техническое обеспечение возможности проведения работы.

## Список литературы

1. *Ващенко П.С., Малавенда С.В.* Результаты мониторинга состояния зарослей фукусовых водорослей в прибрежье Баренцева моря с применением аэрофотосъемки // Труды XI Международной научно-практической конференции «Морские исследования и образование (MARESEDU)-2022» Том III (IV): [сборник]. – Тверь: ООО «ПолиПРЕСС», 2022. – С. 183–188.



2. Дуленин А.А., Дуленина П.А., Коцюк Д.В., Свиридов В.В. Опыт и перспективы использования малых беспилотных летательных аппаратов в морских прибрежных биологических исследованиях // ТРУДЫ ВНИРО. – 2021. – Том 185. – С. 134-151.
3. Пантенков Д.Г., Гусаков Н.В., Ломакин А.А. Обзор современного состояния орбитальных космических аппаратов дистанционного зондирования Земли и космических ретрансляторов // известия высших учебных заведений. электроника. – 2022. – Том 27. – С. 120-149.
4. Cruzan M.B., Weinstein B.G., Grasty M.R., Kohn B.F., Hendrickson E.C., Arredondo T.M., Thompson P.G. Small Unmanned Aerial Vehicles (Micro-Uavs, Drones) in Plant Ecology // Applications in Plant Sciences. – Vol. 4 (9). – 2016. – p. 1–11.
5. Pix4D Documentation // Ground sampling distance (GSD) in photogrammetry. 2019 URL: <https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/202559809-Ground-sampling-distance-GSD-in-photogrammetry> (Дата доступа: 21.12.2022).

УДК 001.8:[591.9:598.2(26)](470-922.1)

Рубрика 34.35.25

**АНАЛИЗ ПРОСТРАНСТВЕННО-ГЕОГРАФИЧЕСКОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ  
МОРСКИХ ПТИЦ В ЗАПАДНОМ СЕКТОРЕ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ**

**ANALYSIS OF THE SPATIAL AND GEOGRAPHICAL DISTRIBUTION OF SEABIRDS IN  
THE WESTERN SECTOR OF THE RUSSIAN ARCTIC**

**Болдырев Степан Леонидович**

*ГАУ ЯНАО "Научный центр изучение Арктики (ГАУ ЯНАО НЦИА), г. Салехард.*

**Boldyrev Stepan Leonidovich**

*State Autonomous Institution of the Yamalo-Nenets Autonomous Okrug "Scientific Center for Arctic Studies (SAU YNAO NCIA), Salekhard, Russia.*

**Введение**

Закономерности распределения морских птиц хорошо изучены для некоторых районов Мирового океана (Gaston et al., 2012; Santora et al., 2017; Serratos et al., 2020; Sauser et al., 2023 и др.). Однако систематические макромасштабные исследования морских авиценозов в Арктике проводились еще в 1930-1980 гг. (Gaston et al., 2011), в последующие годы в границах Российской Федерации интенсивность данных работ снизилась, исследования ограничивались, в основном, акваторией Баренцева моря (Краснов, 1996; Краснов, Ежов, 2020 и др.). Изучению морских авиценозов Карского моря посвящено существенно меньшее количество публикации (Anker-Nilssen, et al., 1999; Баданин, 2015 и др.). На сегодняшний день большинство орнитологических исследований в Арктике сосредоточено на изучении влияния изменению окружающей среды на популяции отдельных видов, и лишь немногие из них направлены на анализ взаимосвязей между окружающей средой и морских авиценозами, влияющих на их пространственное распределение. Цель нашего исследования заключается в выявлении данных взаимосвязей для морских авиценозов западного сектора Российской Арктики.

**Материалы и методы**

Район исследования, охватывает акватории Белого, Баренцева, Печорского и Карского морей. Западная граница проходит по акватории Баренцева моря и побережья Кольского полуострова, характеризуется сильными градиентами свойств водной массы и первичной продуктивности, которые могут варьироваться на несколько порядков (рис. 1). Восточная граница района исследования ограничена Обской губой, Енисейским заливом и полуостровом Таймыр. Воды данного региона характеризуются высокой опресненностью из речного стока, выносящего на север поток пресных вод крупных сибирских рек Обь и Енисей. На западных границах обследованной территории за счёт поступления более тёплых вод из Атлантического океана, преобладают явления апвеллинга, которые наиболее заметны в северо-западной части Баренцева моря. Подъём питательных веществ вдоль западного склона шельфа приводит к чрезвычайно высокой первичной продуктивности, которая способствует повышению трофических уровней морских экосистем данного региона (например, зоопланктона, рыбы, морских птиц, морских млекопитающих и т.д.).

### Исследования морских птиц

Для оценки численности и видового богатства морских птиц в акваториях Баренцева, Белого, Карского и Печорского морей в период с июнь по август 2020, 2021 годов были проведены судовые учёты с использованием стандартизированных методов (Gould and Forsell, 1989). Маршрут судна был записан с помощью портативного GPS (Garmin Etrex 32x).

#### Обработка данных: наблюдения за морскими птицами

Чтобы снизить погрешность при статистическом анализе нами были выделены два ограничения данных наблюдений морских птиц. Во-первых, в набор данных для анализа включали виды, о факте размножении которых на побережье материка и островах в пределах 60° и 85° северной широты и 30° и 90° восточной долготы имеются достоверные сведения (Атлас..., 2011; и др.). Второе ограничение связано с высокой погрешностью определения до видового уровня ряда таксонов и, чтобы снизить данную погрешность, мы выделили две многовидовых таксономических группы: LARSP = *Larus sp.* (серебристые чайки), GAVSP = *Gavia sp.* (гагары). Таким образом, обработанный набор данных включал 25 таксонов гнездящихся морских птиц: 23 вида и 2 многовидовых таксономических группы. Для анализа данных были выбраны учёты, которые проходили в течение одного дня и удовлетворяли требованию методологии полосового учёта. Затем все 10-минутные подсчёты, проведённые в один день, были усреднены. После этого мы исключили учёты, где судно не поддерживало постоянную скорость.

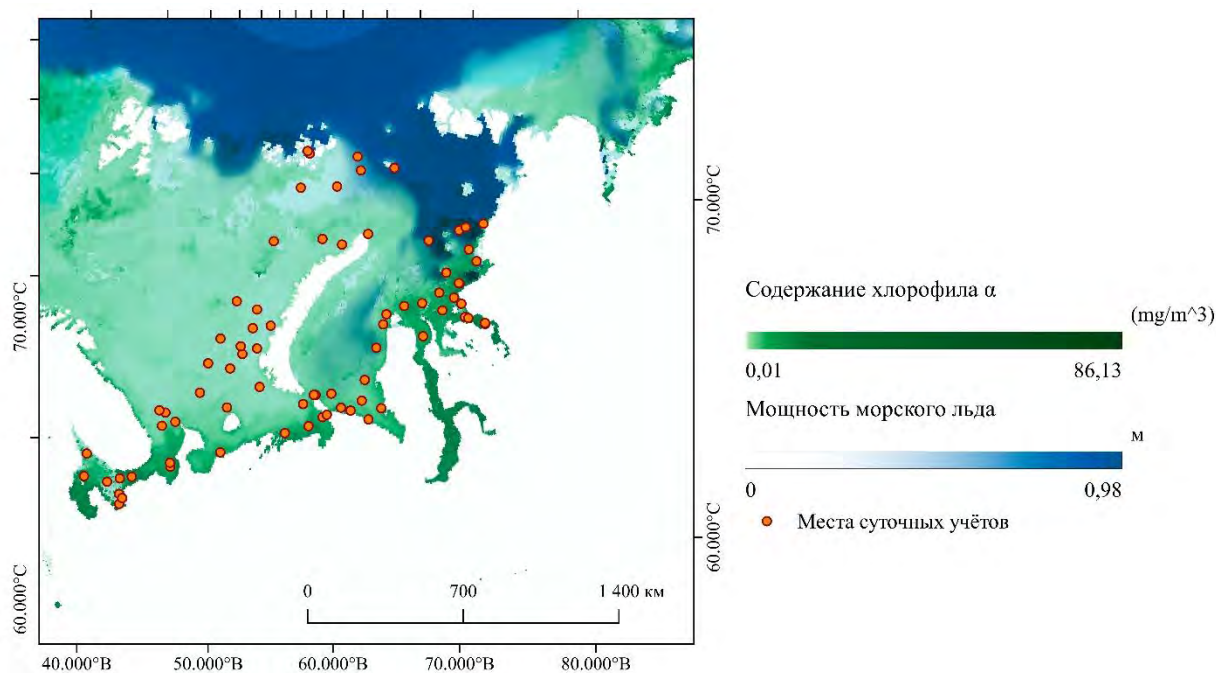


Рисунок 1. Карта-схема области проведения исследования с указанием мест проведения учётов и основных островных систем

Примечание: для демонстрации градиента первичной продуктивности (концентраций хлорофилла  $\alpha$ ) в районе исследования на топографическую основу были наложены изображение со спутника Aqua MODIS – Terra и данные о мощности ледового покрова с веб-сайта CMEMS, соответствующие июню 2021 года.

### Экологические факторы

Были использовали 10 переменных сред обитания для описания и характеристики среды обитания сообществ морских птиц: восемь – динамических (средней температуре поверхности моря, среднем содержании хлорофилла  $\alpha$ , средняя солёность, средняя глубина смешанного слоя, температура придонного слоя воды, мощность морских льдов, средняя скорость ветра,

юлианские дни), и два – статических (глубине океана, расстояние до побережья). Данные о средней температуре поверхности моря (SST) (°C) и среднем содержании хлорофилла  $\alpha$  на поверхности моря ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) были получены со спутника Aqua MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) NASA. Несмотря на то, что хлорофилл  $\alpha$  количественно определяет постоянный запас фитопланктона, он обычно используется в качестве показателя первичной продуктивности и для моделирования распределения морских видов птиц (Tremblay et al., 2009). Четыре переменные были добавлены с веб-сайта CMEMS (Служба мониторинга морской среды Copernicus); средняя солёность поверхности моря (SSS) (‰), средняя глубина смешанного слоя (м), температура придонного слоя воды (°C) и мощность морских льдов (м) (Guinehut et al., 2012). Данные о средней скорости ветра (м/с) были получены с датчика ASCAT (Advanced Scatterometer) на спутнике Metop получены с веб-сайта CERSAT-Ifrermer. Все динамические переменные отбирали или рассчитали с временным разрешением 1 месяц и усреднены за 3-месячный период в каждого из годов исследования. Две статические переменные среды рассматривались в качестве потенциальных факторов распределения сообществ морских птиц: глубина океана и расстояние до побережья. Данные о глубине океана (м) получены из глобальной модели рельефа Национального центра геофизических данных ETOPO 2022. Также включили расстояние до ближайшего побережья (км), которое является показателем расстояния до колоний, оказывающее влияние на распределение кормления гнездящихся морских птиц (Renner et al., 2013; Santora et al., 2017). Колонии расположены на главных островах (о-в Вайгач, арх. Новая Земля, арх. Франса Иосифа) и широко распространены по всему побережью материка. Для выявления влияния фенологии морских птиц в набор данных был включён юлианский день (Ainley et al., 2005). Сроки проведения учётов, вероятно, повлияют на состав сообществ, поскольку большинство гнездящиеся видов (например, самые многочисленны виды: толстоклювая кайра (*Uria lomvia* L., 1758) и моёвка (*Rissa tridactyla* L., 1758)) присутствуют только в течение летнего периода размножения, а затем в большей массе откочёвывают в северную Атлантику (Краснов, Ежов, 2020). Перед дальнейшим анализом коллинеарность всех объясняющих переменных была проверена с использованием коэффициента инфляции дисперсии (VIF). Все значения VIF были  $<10$ , что указывает на низкую коллинеарность между переменными (O'Brien, 2007). Хотя SST и SSS были взаимно коррелированы ( $r = 0,8$ ), обе переменные сохранили для анализа, поскольку фронтальные зоны и границы водных масс часто связаны с различными физическими и биологическими процессами, которые, как известно, влияют на распределение морских птиц (Hugenbach et al., 2006, 2007).

#### *Статистический анализ*

Для анализа взаимосвязи между окружающей среды и авиценозами использован метод многомерных линейных моделей (GLM) и отрицательного биномиального распределения. Модели разработаны с помощью пакета GAMLj (Gallucci, 2019) и в дальнейшем оценивались по информационному критерию Акаике (Fox and Weisberg, 2020) для определения наиболее точной модели. Значимость моделей оценивалась с использованием отношения правдоподобия, и  $p$ -значения рассчитывались с помощью 999-кратной повторной выборки. Чтобы дополнительно охарактеризовать распределение сообществ морских птиц, проведён анализ кластеризации для выявления отдельных групп данных (ежедневных учётов) с использованием кластерного пакета (Seol, 2023). Группы, полученные в результате кластеризации, были нанесены на график в пространстве упорядочения NMDS для оценки соответствия между обоими методами (Kreft and Jetz, 2010). Все анализы были выполнены с использованием статистического программного обеспечения Jamovi (The jamovi..., 2022).

## **Результаты**

### *Исследования морских птиц*

После нормализации данных учёта наш набор данных включал – 82 суточных учёта, охватывающих – 1435,8 км<sup>2</sup> и общей протяжённостью учётного маршрута – 4786 км. Общее количество зарегистрированных морских птиц составило 108 331 особей, принадлежащих к 23 видам и 2 таксономическим группам. Тремя наиболее распространёнными видами на территории исследования являются: толстоклювая кайра (*Uria lomvia*) – 36,2%, моёвка (*Rissa tridactyla*) – 16,2% и люрик (*Alle alle* L., 1758) – 10,9%. Наиболее подробно таксономический состав авифауны на маршрутах судовых учётов рассмотрен в нашей предыдущей работе (Болдырев, 2022).

#### Сообщества морских птиц

Кластерный анализ выявил пять групп сообществ с различным видовым составом и четким пространственным распределением по исследуемой территории (рис. 2А). Картирование этих групп в географическом пространстве выявило две пространственные закономерности. Две группы показали чёткую сегрегацию и встречались только ближе к побережью Кольского п-ова и архипелагам Новая Земля и Земля Франца-Иосифа. Три другие группы, которые соответствуют участкам, расположенным вдоль побережья, выявили менее очевидную пространственную сегрегацию (рис. 2Б).

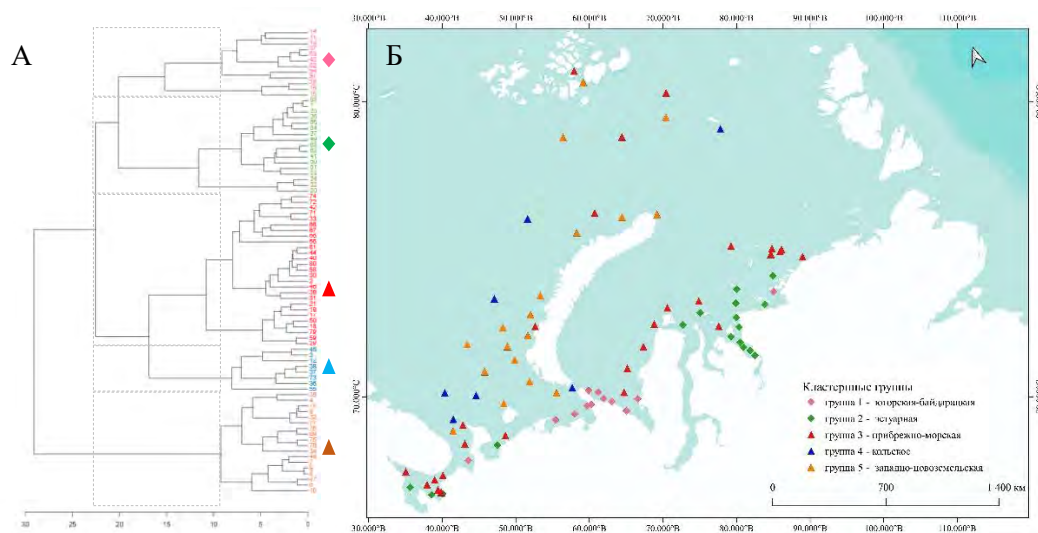


Рисунок 2. Кластерный анализ (А) дендрограмма, представляющая результаты агломеративной иерархической кластеризации UPGMA.

Примечание: Пунктирные линии показывают уровень сходства, выбранный для получения пяти кластеров. Цвета и символы каждого участка соответствуют группе, к которой они принадлежат. (Б) географическое распределение отобранных участков и их принадлежность к различным кластерным группам. Каждый символ и цвет соответствуют одной группе

Результаты упорядочения NMDS усилили результаты кластеризации, расположив сообщества из пелагических и прибрежных областей района исследования на противоположных крайних точках оси 1 (рис. 3). Остальные сообщества расположены между этими двумя крайними точками, демонстрируя значительное перекрытие вдоль оси 1.

Многомерный GLM подчеркнул важность для пространственного распределения морских птиц пяти различных переменных окружающей среды: юлианский день, глубина океана, хлорофилл  $\alpha$  на поверхности моря, SST и SSS. Из них поверхностный хлорофилл  $\alpha$  показал высокую значимость в моделях, в то время как SST показал низкую значимость (табл. 1).

Модель GLM, проверяющая взаимосвязь между окружающей средой и видовым богатством, показала, что юлианские сутки и SST были наиболее значимыми переменными. В качестве наиболее подходящих моделей были выбраны в общей сложности 10 моделей;



юлианский день фигурировал во всех этих моделях, в то время как SST фигурировал в восьми из них, демонстрируя наилучшие показатели из всех рассмотренных параметров (табл. 2А).

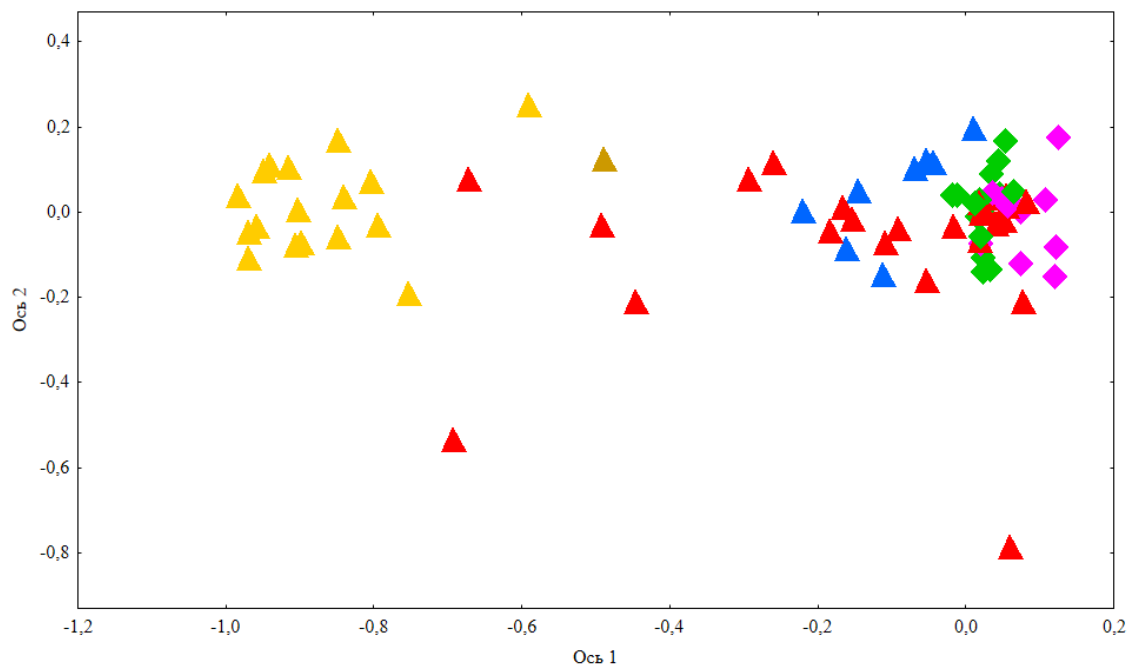


Рисунок 3. График отобранных участков, показывающий результаты упорядочения NMDS (1-я и 2-я оси), наложенные на результаты анализа кластеризации.

Примечание: Различные цвета и формы участков соответствуют различным сообществам (рис. 2)

Таблица 1. Дисперсионный анализ (ANOVA) из наиболее простой многомерной линейной модели

Переменные	df	$\sigma$	P
Юлианские дни (JD)	65	189,81	<b>0,03*</b>
Глубина (Depth)	65	118,83	<b>0,046*</b>
Глубина смешанного слоя (MLD)	58	7,44	<b>0,045*</b>
Хлорофилл $\alpha$ (Chl $\alpha$ )	65	7,71	<b>0,01*</b>
Дистанция до берега (Distance coast)	65	1,85	0,5
Солёность верхнего слоя воды (SSS)	58	7,43	<b>0,02*</b>
Средняя скорость ветер (Wind)	65	2,20	0,213
Температура верхнего слоя воды (SST)	65	3,58	<b>0,048*</b>
Температура придонного слоя воды (DST)	58	3,32	0,488
Мощность морского льда (ISE)	65	0,13	<b>0,03*</b>

Примечание:  $\sigma$ - дисперсия; переменной; P- уровень значимости; значимые переменные выделены жирным (P <0,05)

Модели (GLM) распределения обилия морских птиц, показали менее чёткую тенденцию в отношении вклада переменных. Расстояние до побережья и глубина океана (SD) статистически значимы во всех 10 выбранных моделях, мощность ледового покрова значимы в 8 моделях, в то время как глубина смешанного слоя и SSS значимы в 6 (табл. 2B). В целом, эти результаты подчеркивают влияние динамических процессов (SST, глубина смешанного слоя, SSS) и статических (глубина, расстояние до побережья) факторов окружающей среды и сезонности (юлианский день) на общую численность и видовое богатство морских птиц. В



дополнение к влиянию этих многочисленных факторов окружающей среды, наши исследования выявили пять сообществ, связанных с конкретными океанографическими областями и архипелагами.

Таблица 2. Лучшие модели GLM, показывающих наиболее важные экологические переменные во взаимосвязях «среда – видовое богатство» (А) и «среда – обилие (особ./км<sup>2</sup>)» (Б)

А		Модель			Значения									
Видовое богатство	AIC <sub>c</sub>	$\Delta AIC_c$	$w_i$	JD	Depth	MLD	SST	DST	SSS	Chl $\alpha$	DIS	Wind	ISE	
	1307	0,2	0,974											
	1297	0,1	0,008											
	1289	0,2	0,002											
	1291	0,4	0,002											
	1289	0,2	0,002											
	1287	0	0,002											
	1289	0,2	0,002											
	1291	0,4	0,002											
	1293	0,6	0,006											
1291	0,4	0,003												
Вклад переменной				1	0,01	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,98	0,98	0,02	
Число моделей				10	3	7	8	6	7	7	4	6	7	
Б		Модель			Значения									
Обилие (особ./км <sup>2</sup> )	AIC <sub>c</sub>	$\Delta AIC_c$	$w_i$	JD	Depth	MLD	SST	DST	SSS	Chl $\alpha$	DIS	Wind	ISE	
	435	0,7	0,5											
	434	0,6	0,13											
	433	0,5	0,08											
	435	0,7	0,14											
	433	0,5	0,043											
	431	0,3	0,024											
	428	0	0,008											
	430	0,2	0,01											
	432	0,4	0,02											
434	0,6	0,03												
Вклад переменной				0,1	1	0,21	0,20	0,39	0,31	0,39	1	0,08	0,93	
Число моделей				2	10	6	3	4	6	4	10	4	8	

Примечание: AIC<sub>c</sub> – скорректированный информационный критерий Акаике;  $\Delta AIC_c$  – среднеквадратическое отклонение;  $w_i$  – относительная частота; JD – юлианские дни; Depth – глубина в метрах; MLD – глубина смешивания слоя; SST – температура верхнего слоя воды; DST – температура придонного слоя воды; SSS – солёность верхнего слоя; Chl  $\alpha$  – содержание хлорофилл  $\alpha$  в поверхностном слое; DIS – дистанция до ближайшего берега в км; Wind – средняя скорость ветер м/с; ISE – мощность ледового покрова.

### Заключение

В результате произведённых исследований были выявлены пять сообществ, каждое из которых предпочитает занимать районы с различными качествами среды от опреснённых и мелководных эстуариев Оби и Енисея до относительно глубоких с широко распространёнными зонами апвеллинга вод Баренцево моря. Архипелаги Новая Земля и

Земля Франц-Иосиф являются естественным барьером распространения сообществ по долготе.

Результаты анализа GLM показали, что наиболее важными факторами, определяющими распределение авиценозов, являются юлианский день, глубина, температура поверхности моря, соленость поверхности моря, концентрация хлорофилла- $\alpha$  и мощность морского льда. Данные факторы объясняют общую численность морских птиц и видовое богатство, которые являются показателями продуктивности морских экосистем. Распределение обилие морских птиц лучше всего объясняется четырьмя переменными, связанными с береговыми и морскими градиентами: расстояние до побережья, глубина океана, влияние апвеллинга (средняя глубина смешанного слоя, солёность). Изменения видового богатства авифауны лучше всего объясняются сезонностью и наличием границ водных масс (коэффициент вариации SST).

Полученные результаты подчеркивают целесообразность комплексного изучения факторов, которые определяют пространственно-географическое распределение морских птиц в зависимости от продуктивности морей Арктического бассейна и свойств водной массы. Понимание этих факторов, влияющих на численность и видовое богатство морских авиценозов в западном секторе Российской Арктики, позволит разрабатывать наиболее эффективные меры по сохранению морской среды в данном активно осваиваемом регионе мирового океана в градиенте увеличения антропогенной нагрузки.

### Список литературы:

1. Атлас биологического разнообразия морей и побережий российской Арктики / В.А. Спиридонова, М.В. Гаврило, Е.Д. Краснова, Н.Г. Николаева. – М.: WWF России. – 2011. – 64 с.
2. Баданин, Ю. А. Авифауна Баренцева и Карского морей по трассе Северного морского пути в зимне-весенний период 2013-2014 года // Научный вестник Ямало-Ненецкого автономного округа. – 2015. – № 3(88). – С. 116-120
3. Болдырев, С. Л. Результаты судовых наблюдений птиц в западном секторе Российской Арктики в 2020-2021 годах // Русский орнитологический журнал. – 2022. – Т. 31. – № 2244. – С. 4833-4842.
4. Краснов Ю.В., Черноок В.И. Морские птицы как индикатор биологически продуктивных зон при проведении осенней авиасъемки в открытых районах Баренцева моря // Инструментальные методы рыбохозяйственных исследований. Мурманск: Изд. ПИНРО. – 1996. – С. 95–106
5. Краснов Ю.В., Ежов А.В. Состояние популяций морских птиц и факторы, определяющие их развитие в Баренцевом море // Труды Кольского научного центра РАН. – 2020. – №4-7. – С. 225-245.
6. Anker-Nilssen, T., Gavriilo, M., Bakken, V., & Isaksen, K. The Distribution, Population Status and Ecology of Marine Birds Selected as Valued Ecosystem Components in the Northern Sea Route Area. *Waterbirds: The International Journal of Waterbird Biology*. – 1999 – Vol. 22, No 3. – P. 484.
7. Ainley, D. G., Spear, L. B., Tynan, C. T., Barth, J. A., Pierce, S. D., Ford, R. G., et al. Physical and biological variables affecting seabird distributions during the upwelling season of the northern California current. *Deep Sea Res. Part II Top. Stud. Oceanogr.* – 2005. No. 52. – P. 123–143.
8. Davies, R. G., Irlich, U. M., Chown, S. L., and Gaston, K. J. Ambient, productive and wind energy, and ocean extent predict global species richness of procellariiform seabirds. *Glob. Ecol. Biogeogr.* – Vol. 2010, No. 19. – P. 98–110.
9. Fox, J., & Weisberg, S. car: Companion to Applied Regression. [R package]. – 2020. Retrieved from <https://cran.r-project.org/package=car>
10. Gallucci, M. GAMLj: General analyses for linear models. [jamovi module]. – 2019. Retrieved from <https://gamlj.github.io/>.

11. Gaston, A.J., Gaston, A. J. Arctic seabirds: Diversity, populations, trends, and causes, in *Gyrfalcons and Ptarmigan in a Changing World* // eds. R. T. Watson, T. J. Cade, M. Fuller, G. Hunt, and E. Potapov / Boise, Idaho, USA: The Peregrine Fund. – 2011. Vol. 1. – P. 147-160.
12. Gaston, A.J., Mallory, M.L. & Gilchrist, H.G. Populations and trends of Canadian Arctic seabirds. *Polar Biol* No. 35. – 2012. – P 1221–1232.
13. Gould P.J., Forsell D.J. Techniques for shipboard surveys of marine birds // *Fish and Wildlife Technical Rep.* Washington. – Vol. 25. 1989. 22 p.
14. Guinehut, S., Dhomps, A. L., Larnicol, G., and Le Traon, P. Y. High resolution 3-D temperature and salinity fields derived from in situ and satellite observations // *Ocean Sci.* No.8. – 2012. – P. 845–857.
15. Hyrenbach, K. D., Veit, R. R., Weimerskirch, H., and Hunt, G. L. Seabird associations with mesoscale eddies: the subtropical Indian Ocean // *Mar. Ecol. Prog.* – Vol. 324, – 2006. – P. 271–279.
16. Hyrenbach, K. D., Veit, R. R., Weimerskirch, H., Metzl, N., and Hunt, G. L. Community structure across a large-scale ocean productivity gradient: marine bird assemblages of the Southern Indian Ocean // *Deep Sea Res.* Vol. 1 *Oceanogr.* – No. 54. – 2007. – P. 1129–1145.
17. Kreft, H., and Jetz, W. A framework for delineating biogeographical regions based on species distributions. // *J. Biogeogr.* – No. 37. – 2010. – P. 2029–2053.
18. NOAA National Centers for Environmental Information. ETOPO 2022 15 Arc-Second Global Relief Model. NOAA National Centers for Environmental Information. – 2022. Accessed (25.10.2022).
19. O'Brien, R. M. A caution regarding rules of thumb for variance inflation factors // *Qual. Quant.* No. 41. – 2007. – P. 673–690.
20. Piatt, J. F., and Springer, A. M. Advection, pelagic food webs and the biogeography of seabirds in Beringia // *Mar. Ornithol.* – Vol. 31. – 2003. – P. 141–154.
21. Renner, M., Parrish, J., Piatt, J., Kuletz, K., Edwards, A., and Hunt, G. Modeled distribution and abundance of a pelagic seabird reveal trends in relation to fisheries // *Mar. Ecol. Prog.* - Vol. 48. – 2013. – P. 259–277.
22. Santora, J. A., Eisner, L. B., Kuletz, K. J., Ladd, C., Renner, M., and Hunt, G. L. Biogeography of seabirds within a high-latitude ecosystem: use of a data-assimilative ocean model to assess impacts of mesoscale oceanography // *J. Mar. Syst.* Vol. 178. – 2017. – P. 38–51.
23. Sauser C, Angelier F, Blévin P, Chastel O, Gabrielsen GW, Jouanneau W, Kato A, Moe B, Ramirez F, Tartu S and Descamps S. Demographic responses of Arctic seabirds to spring sea-ice variations // *Front. Ecol. Evol.* – Vol. 11:1107992. – 2023. – P. 1-11.
24. Serratos J, Hyrenbach KD, Miranda-Urbina D, Portflitt-Toro M, Luna N and Luna-Jorquera G. Environmental Drivers of Seabird At-Sea Distribution in the Eastern South Pacific Ocean: Assemblage Composition Across a Longitudinal Productivity Gradient // *Front. Mar. Sci.* Vol. 6:838. – 2020. – P.1-13.
25. Seol, H. snowCluster: Multivariate Analysis. (Version 7.1.7) [jamovi module] – 2023. URL <https://github.com/hyunsooseol/snowCluster>.
26. The jamovi project. jamovi. (Version 2.3) [Computer Software] – 2022. Retrieved from <https://www.jamovi.org>.
27. Tremblay, Y., Bertrand, S., Henry, R. W., Kappes, M. A., Costa, D. P., and Shaffer, S. A. Analytical approaches to investigating seabird- environment interactions: a review // *Mar. Ecol. Prog.* – Vol. 391. – 2009. – P. 153–163.
28. Weimerskirch, H., Louzao, M., de Grissac, S., and Delord, K. Changes in wind pattern alter albatross distribution and life-history traits // *Science.* – Vol. 335. – 2012. – P. 211–214.

УДК 574.32

Рубрика 34.35.33

ВЛИЯНИЕ ФАКТОРОВ СРЕДЫ НА ВИДОВОЕ РАЗНООБРАЗИЕ И ОБИЛИЕ СИМБИОНТОВ КОРАЛЛА *POCILLOPORA VERRUCOSA*

INFLUENCE OF ENVIRONMENTAL FACTORS ON SPECIES DIVERSITY AND ABUNDANCE OF SYMBIONTS OF THE CORAL *POCILLOPORA VERRUCOSA*

**Петроченко Роман Алексеевич<sup>1</sup>, Лищенко Фёдор Витальевич<sup>1,2</sup>, Бурмистрова Юлия Алексеевна<sup>1</sup>, Бритаев Темир Аланович<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Институт проблем экологии и эволюции им А.Н. Северцова Российской академии наук, г. Москва*

<sup>2</sup> *Российско-Вьетнамский Тропический научно-исследовательский и технологический центр, приморское отделение, Вьетнам, г. Нячанг*

**Petrochenko Roman Alekseevich<sup>1</sup>, Lishchenko Fedor Vitalevich<sup>1,2</sup>, Burmistrova Yulia Alekseevna<sup>1</sup>, Britayev Temir Alanovich<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *A.N. Severtzov Institute of Ecology & Evolution RAS, Moscow*

<sup>2</sup> *Russian-Vietnam Tropical Research and Technological Center, Marine Division, Nha Trang*

## **Введение**

Коралловые сообщества представляют собой экосистемы с огромным биоразнообразием животных, обусловленным сложной структурой коралловых колоний. Многие беспозвоночные животные и рыбы, обитающие на коралловых рифах, являются симбиотическими. Значительная часть такой симбиофауны не может жить в отсутствие коралла – такие животные являются облигатными симбионтами. Они защищают колонии от хищников и очищают их от организмов-обрастателей и скоплений осадка, в обмен получая источник питания, убежище или место нереста [Glynn, Enochs, 2011]. На структуру и устойчивость симбиотического сообщества влияют различные факторы, как биотические, так абиотические. К числу этих факторов относятся морфология и размер хозяина колония [Abele, Patton, 1976; Lewis, Snelgrove, 1990; Pisapia et al., 2020], плотность популяции хозяина [Lewis, Snelgrove, 1990; Gotelli, Abele, 1983; Britayev, Mikheev, 2013;], поверхностный хлорофилл а [Counsell et al., 2018], волновая энергия [Munday, 2000; Depczynski, 2005], а также бличинг [Stella et al., 2011; Tsuchiya, 1999]. Некоторые из факторов исследованы лучше других. Например, влияние объёма колоний на состав сообщества изучено весьма подробно, тогда как влияние таких факторов, как время экспозиции и плотность посадки колоний остаются малоисследованным и местами противоречивым. Бличинг или обесцвечивание колоний кораллов - один из важнейших факторов, негативно влияющих на состояние коралловых сообществ в целом и, в частности, на популяции облигатных симбионтов [Stella et al., 2014]. Однако, полученные ранее результаты относятся к воздействию катастрофического бличинга, тогда как влияние сезонного (регулярного) бличинга на симбионтов не исследовано.

Целью данной работы было экспериментальное исследование плотности поселения кораллов, экспозиции колоний (возраста) и бличинга на структуру симбиотических сообществ. Мы предполагали, что с увеличением размера кораллов, плотности их посадки и времени

экспозиции высаженных колоний видовое богатство и обилие симбионтов будут увеличиваться, а при бlichинге - снижаться.

## Материалы и методы

В качестве объекта исследования были выбраны ветвистые кораллы *Pocillopora cf. verrucosa* (Ellis & Solander, 1786). Полигон для эксперимента располагался во Вьетнаме, в бухте Дам Бай недалеко от города Нячанг. В ходе него 200 мелких фрагментов колоний коралла были собраны, очищены от симбионтов и высажены на металлические рамки размером 1x1,5 м, возвышающиеся над дном на 40 см, с плотностью 20, 30, 40, 50 и 60 фрагментов на рамку. Эксперимент был начат в апреле 2020 года. Через 3 месяца экспозиции фрагменты были собраны, а все макросимбионты, населяющие их, собраны, зафиксированы в 70% этаноле, идентифицированы и подсчитаны. Очищенные от симбионтов колонии были снова помещены на рамки для второго этапа эксперимента со временем экспозиции 9 месяцев. После 9 месяцев экспозиции измерения колоний, их фотографирование и сбор симбиофауны осуществлялись аналогично первому этапу. Экспериментальные работы по посадке и отбору проб были завершены в апреле 2021 года. Для оценки бlichинга два раза в месяц оценивали окраску каждой колонии по 6-бальной шкале Сибека [Siebeck et al., 2006].

Для оценки влияния факторов среды на видовое богатство и обилие симбионтов использовались обобщённые линейные модели (generalized linear models, GLM). Влияние каждого фактора на характеристики сообщества оценивалось при помощи статистического теста Вальда (W). Зависимыми переменными послужили видовое богатство и обилие симбионтов, а независимыми - объём колонии, плотность посадки колоний, время экспозиции и оценка бlichинга по шкале Сибека. Статистический анализ осуществлялся в программе Statistica 13.

## Результаты и обсуждение

После 3-месячной экспозиции на колониях насчитывалось 63 вида животных, из которых 19 – облигатные симбионты кораллов *Pocillopora*. С увеличением экспозиции до 9 месяцев число обнаруженных на колониях видов возросло: было собрано 85 видов симбионтов, из которых облигатными симбионтами были представители 21 вида. Это является самым высоким зарегистрированным показателем локального разнообразия облигатных симбионтов поциллопоридных кораллов Мирового Океана в сравнении с литературными данными [Abele, Patton, 1976; Austin et al., 1980; Black, Prince, 1983; Britayev et al., 2017; Britayev, Mikheev, 2013; Coles, 1980; Counsell et al., 2018; Edwards, Emberton, 1980; Patton, 1966; Patton, 1974; Pisapia et al., 2020; Preston, Doherty, 1994; Stella et al., 2010; Tkachenko et al., 2022]. Такое высокое биоразнообразие может объясняться большим объёмом выборки и географическим расположением экспериментального полигона вблизи так называемого кораллового треугольника - центра биоразнообразия морской фауны. С увеличением экспозиции возросли видовое богатство и обилие симбионтов, как облигатных, так и факультативных (рис. 1, рис. 2). Анализ влияния остальных исследуемых факторов продемонстрировал достоверное влияние на видовое богатство и обилие симбионтов объёма колоний хозяина и их плотности посадки.



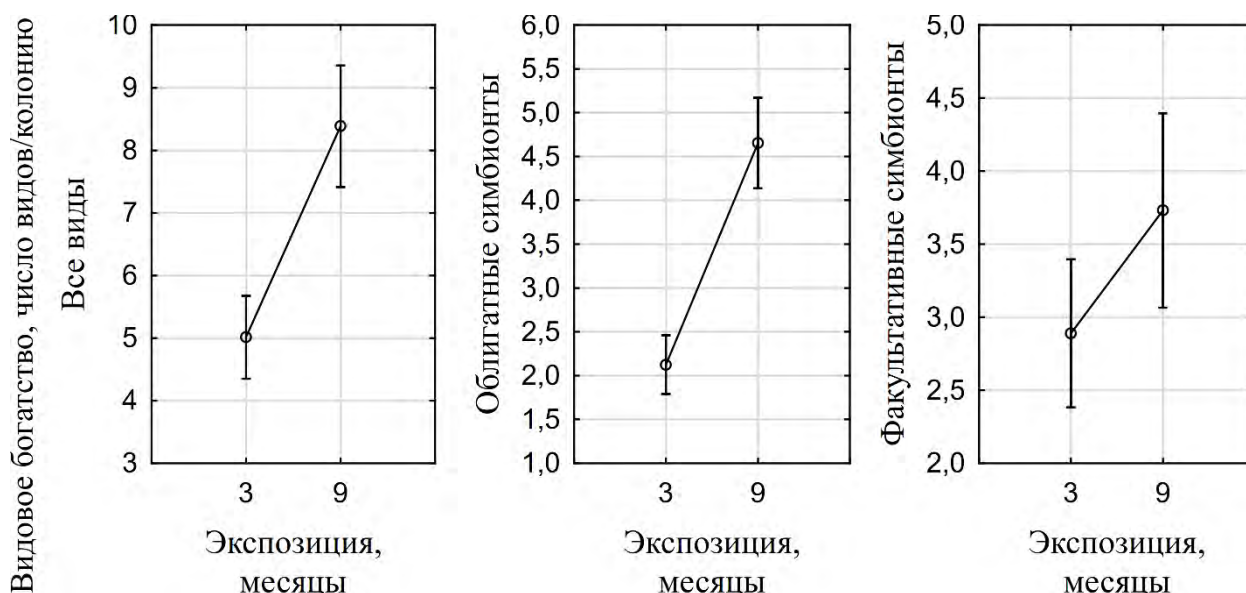


Рис. 1. Влияние времени экспозиции на видовое богатство симбионтов (среднее число видов на колонию  $\pm$  стандартное отклонение).

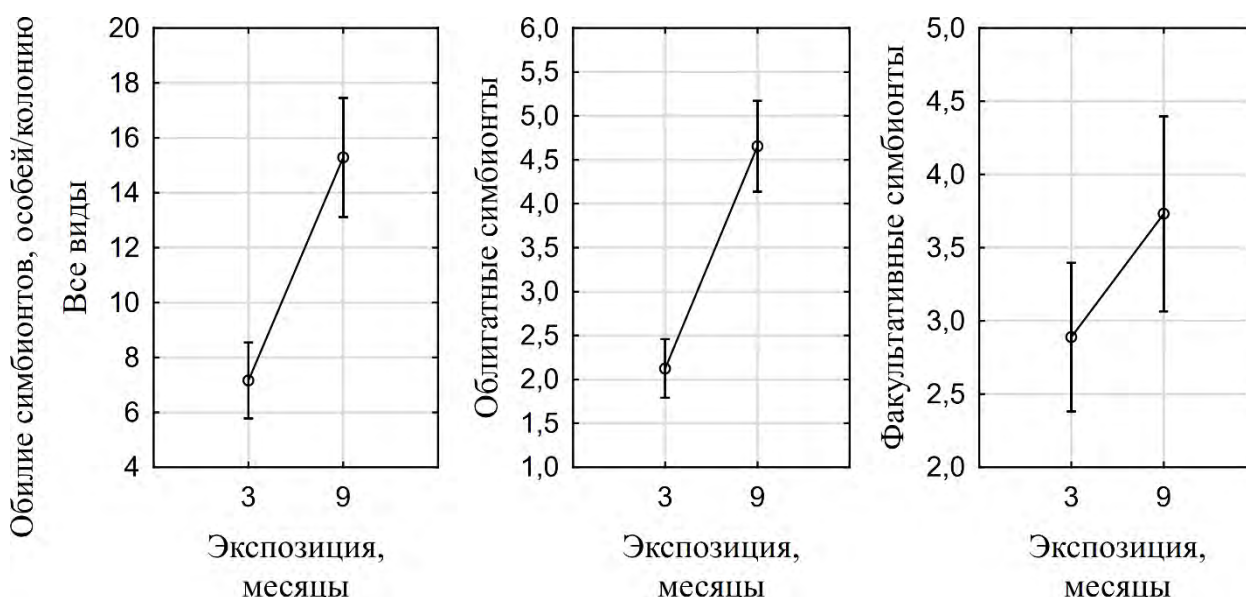


Рис. 2. Влияние времени экспозиции на обилие симбионтов (среднее число особей на колонию  $\pm$  стандартное отклонение).

Объём колоний оказывает достоверно положительное влияние на обилие симбионтов и обилие облигатных симбионтов. В то же время, положительное влияние объёма колоний на общее видовое богатство, видовое богатство облигатных симбионтов и видовое богатство факультативных симбионтов было отмечено только на колониях с трёхмесячной экспозицией. На колониях с девятимесячной экспозицией, выросших до более крупных размеров, не было отмечено достоверных изменений этих характеристик с увеличением объёма колоний.

Влияние плотности размещения колоний на видовое богатство и на обилие облигатных симбионтов было положительным и ярко выраженным (рис.3, рис. 4). В то же время, эта тенденция более выражена у облигатных симбионтов, чем у факультативных. Видовое богатство (рис. 3) факультативных симбионтов с увеличением плотности посадки возрастает



медленнее, а обилие (рис. 4) - незначительно. В связи с разнонаправленным воздействием на облигатных и факультативных симбионтов, влияние данного фактора на сообщество в целом было ослабленным. Вероятнее всего, столь различное воздействие обусловлено тем, что плотные поселения кораллов обеспечивают лучшую защиту для мигрирующих облигатных симбионтов, которые нуждаются в кораллах как убежище от хищников, и лучше аккумулируют оседающих личинок, в то время как факультативные симбионты (оппортунисты), менее зависят от кораллов и заселяют их случайно.

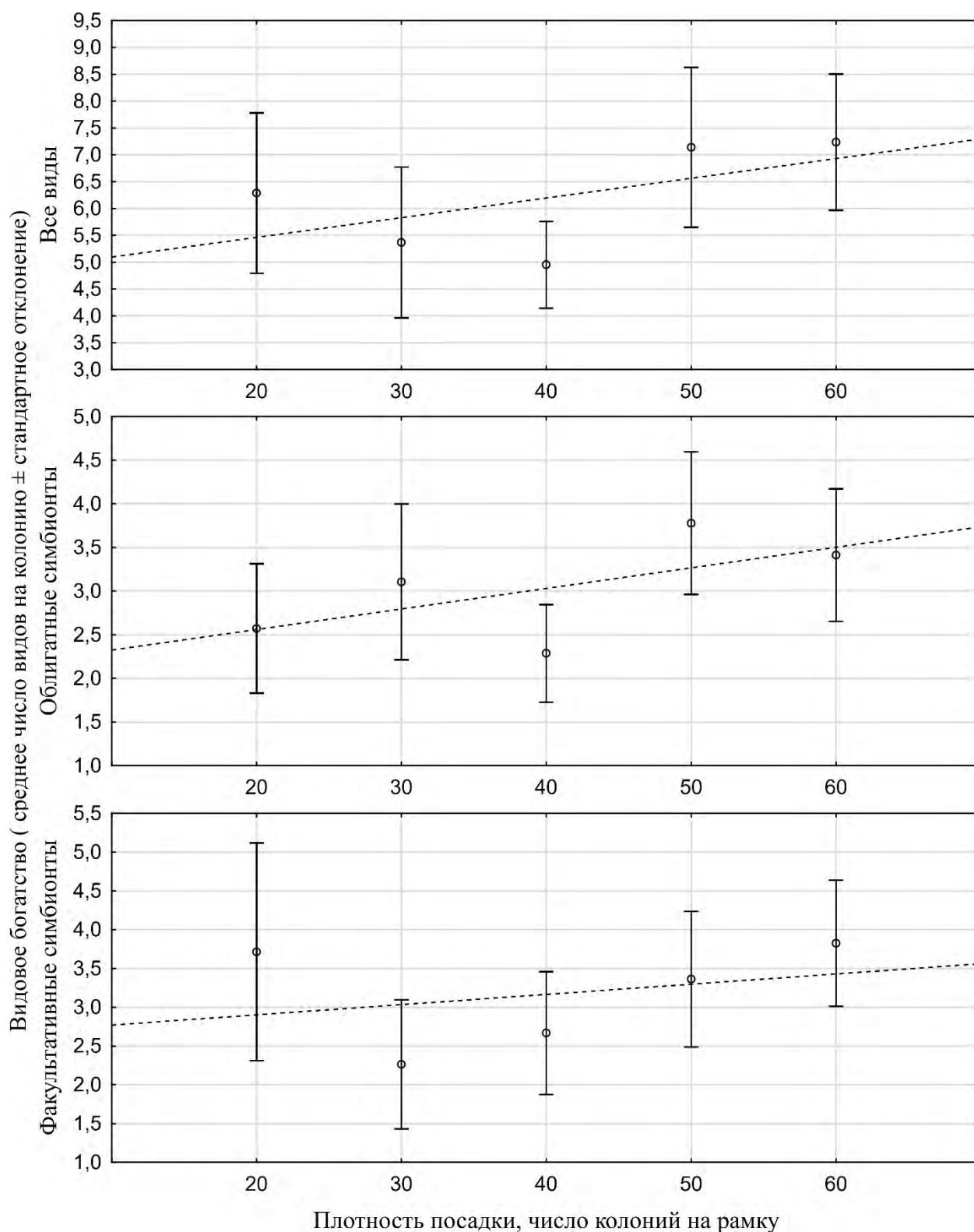


Рис. 3. Влияние плотности посадки кораллов на видовое богатство симбионтов (среднее число видов на колонию  $\pm$  стандартное отклонение), линия тренда обозначена пунктиром.

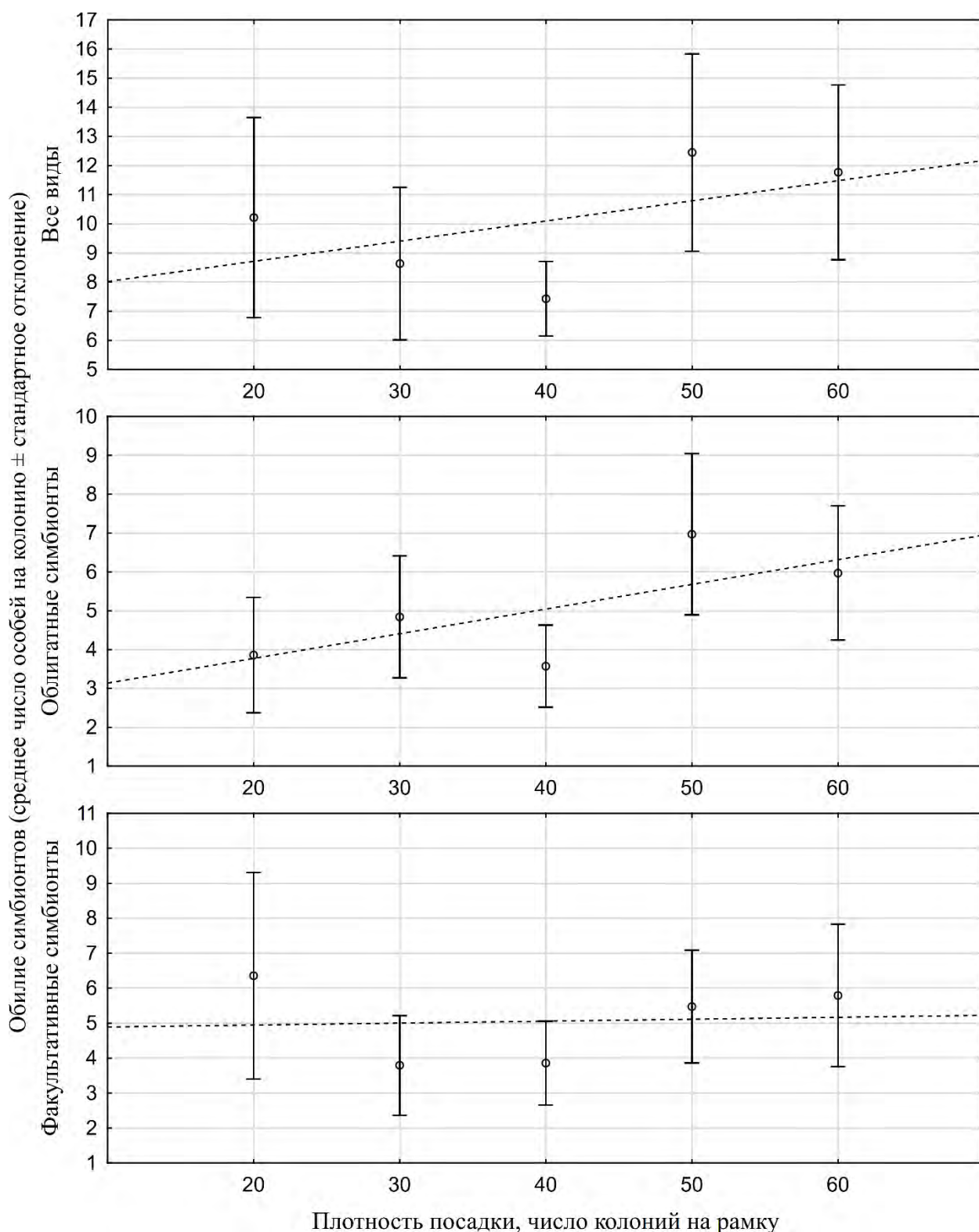


Рис. 4. Влияние плотности посадки кораллов на обилие симбионтов (среднее число особей на колонию  $\pm$  стандартное отклонение), линия тренда обозначена пунктиром.

За время исследования были отмечены колонии с частичным бlichингом – от 2 до 4 баллов по шкале Сибека. Согласно результатам тестов, бlichинг не оказал статистически значимого влияния на видовое богатство и обилие симбионтов. Вероятно, это обусловлено степенью его развития: отмеченный уровень в 2-2,5 балла по шкале Сибека ниже летального для кораллов уровня в 1 балл и не оказывает существенного влияния на смертность кораллов.

### **Заключение**

Эксперимент по выращиванию колоний кораллов в условиях искусственной посадки показал, что уже спустя 3 месяца экспозиции колонии населяла разнообразная и многочисленная фауна (63 вида животных, из которых 19 были облигатными симбионтами).

После экспозиции в 9 месяцев разнообразие фауны компонентных сообществ увеличивается, а разнообразие симбионтов облигатных превышает известное ранее в других районах Мирового океана (всего 85 видов, из которых 21 – облигатные симбионты).

С увеличением экспозиции растут видовое богатство и обилие симбионтов: эти характеристики достоверно выше на колониях *Pocillopora verrucosa* в возрасте 9 месяцев, чем на колониях в возрасте 3 месяца.

Плотность посадки кораллов достоверно оказывает положительное влияние на видовое богатство и обилие симбионтов коралла *Pocillopora verrucosa*, это влияние отчетливее для облигатной симбиофауны.

Уровень бlichинга, наблюдаемый во время эксперимента (2-4 балла по шкале Сибека) не оказал значимого влияния на структуру симбиотических сообществ.

Результаты работы подтверждают гипотезу о связи времени экспозиции и плотности посадки колоний коралла со структурой симбиотических сообществ.

### **Финансирование**

Исследование/проект выполнен при поддержке гранта РФФ 22-24-00836.

### **Список литературы:**

1. Abele L. G., Patton W. K. The Size of Coral Heads, and the Community Biology of Associated Decapod Crustaceans // J. Biogeogr. 1976. V. 3. № 1. P. 35.
2. Austin A. D., Austin S. A., Sale P. F. Community Structure of the Fauna Associated with the Coral *Pocillopora Damicornis* (L.) on the Great Barrier Reef // Mar. Freshw. Res. 1980. V. 31. № 2. P. 163–174.
3. Black R., Prince J. Fauna Associated with the Coral *Pocillopora damicornis* at the Southern Limit of its Distribution in Western Australia // J. Biogeogr. 1983. V. 10. № 2. P. 135.
4. Britayev T. A., Mikheev V. N. Clumped spatial distribution of scleractinian corals influences the structure of their symbiotic associations // Dokl. Biol. Sci. 2013. V. 448. № 1. P. 45–48.
5. Britayev T. A., Spiridonov V. A., Deart Y. V., El-Sherbiny M. Biodiversity of the community associated with *Pocillopora verrucosa* (Scleractinia: Pocilloporidae) in the Red Sea // Mar. Biodivers. 2017. V. 47. № 4. P. 1093–1109.

6. Coles S. Species Diversity of Decapods Associated with Living and Dead Reef Coral *Pocillopora meandrina* // *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 1980. V. 2. № 4. P. 281–291.
7. Counsell C. W. W., Donahue M. J., Edwards K. F., Franklin E. C., Hixon M. A. Variation in coral-associated cryptofaunal communities across spatial scales and environmental gradients // *Coral Reefs*. 2018. V. 37. № 3. P. 827–840.
8. Depczynski M., Bellwood D. R. Wave energy and spatial variability in community structure of small cryptic coral reef fishes // *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 2005. V. 303. P. 283–293.
9. Edwards A., Emberton H. Crustacea associated with the scleractinian coral, *Stylophora pistillata* (Esper), in the Sudanese Red Sea // *J. Exp. Mar. Bio. Ecol.* 1980. V. 42. № 3. P. 225–240.
10. Glynn P. W., Enochs I. C. Invertebrates and their roles in coral reef ecosystems // *Coral Reefs: An Ecosystem in Transition.* : Springer Netherlands, 2011. C. 273–325.
11. Gotelli N., Abele L. Community patterns of coral-associated decapods // *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 1983. V. 13. P. 131–139.
12. Lewis J. B., Snelgrove P. V. R. Corallum morphology and composition of crustacean cryptofauna of the hermatypic coral *Madracis mirabilis* // *Mar. Biol.* 1990. V. 106. № 2. P. 267–272.
13. Munday P. L. Interactions between habitat use and patterns of abundance in coral-dwelling fishes of the genus *Gobiodon* // *Environ. Biol. Fishes.* 2000. V. 58. № 4. P. 355–369.
14. Patton W. K. Decapod Crustacea Commensal With Queensland Branching Corals // *Crustaceana.* 1966. V. 10. № 3. P. 271–295.
15. Patton W. K. Community structure among the animals inhabiting the coral *Pocillopora damicornis* at Heron Island, Australia // *Symbiosis sea.* 1974. V. 2. P. 210–243.
16. Pisapia C., Stella J., Silbiger N. J., Carpenter R. Epifaunal invertebrate assemblages associated with branching Pocilloporids in Moorea, French Polynesia // *PeerJ.* 2020. V. 2020. № 6. P. 1–19.
17. Preston N. P., Doherty P. J. Cross-shelf patterns in the community structure of coral-dwelling Crustacea in the central region of the Great Barrier Reef. II. Cryptofauna // *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 1994. V. 104. № 1–2. P. 27–38.
18. Siebeck U. E., Marshall N. J., Klüter A., Hoegh-Guldberg O. Monitoring coral bleaching using a colour reference card // *Coral Reefs.* 2006. V. 25. № 3. P. 453–460.
19. Stella J. S., Jones G. P., Pratchett M. S. Variation in the structure of epifaunal invertebrate assemblages among coral hosts // *Coral Reefs.* 2010. V. 29. № 4. P. 957–973.
20. Stella J. S., Munday P. L., Jones G. P. Effects of coral bleaching on the obligate coral-dwelling crab *Trapezia cymodoce* // *Coral Reefs.* 2011. V. 30. № 3. P. 719–727.
21. Stella J. S., Munday P. L., Walker S. P. W., Pratchett M. S., Jones G. P. From cooperation to combat: Adverse effect of thermal stress in a symbiotic coral-crustacean community // *Oecologia.* 2014. V. 174. № 4. P. 1187–1195.
22. Tkachenko K. S., Soong K., Deart Y. V., Britayev T. A. Coral symbiotic communities from different environments of an isolated atoll: reef lagoon versus forereef // *Invertebr. Zool.* 2022. V. 19. № 1. P. 78–90.
23. Tsuchiya M. Effect of mass coral bleaching on the community structure of small animals associated with the hermatypic coral *Pocillopora damicornis* // *J. Japanese Coral Reef Soc.* 1999. V. 1999. № 1. P. 65–72.

УДК 594.1

Рубрика 34.35.17

РОСТ И ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ЖИЗНИ ДВУСТВОРЧАТОГО МОЛЛЮСКА  
 MACOMA CALCAREA (GMELIN, 1791) ВО ФЬОРДАХ О. ЗАПАДНЫЙ ШПИЦБЕРГЕН  
 GROWTH AND LIFE EXPECTANCY OF THE BIVALVE MOLLUSK MACOMA  
 CALCAREA (GMELIN, 1791) IN THE FJORDS OF THE ISLAND OF WESTERN  
 SVALBARD

**Носкович Алёна Эдуардовна**

*Мурманский морской биологический институт РАН, Мурманск*

**Noskovich Alyona Eduardovna**

*Murmansk marine biological Institute of the Russian Academy of Sciences, Murmansk*

**Введение**

Продолжающееся потепление в Арктике привело к значительным потерям морского льда и изменению первичной продукции, затронувшей все компоненты морской пищевой цепи. Значительная пространственная изменчивость придонной среды вокруг архипелага Шпицберген делает здешние фьорды перспективными площадками для выявления реакции донных организмов на различные условия среды. Океанографические условия фьордов о. Западный Шпицберген обусловлены водными массами, окружающими архипелаг, а также усилением ледникового стока, и, соответственно, демонстрируют различную термохалинную структуру прибрежных акваторий [Skogseth et al., 2020]. Таким образом, этот район подходит для оценки воздействия различных условий окружающей среды на донных животных. Мы исследовали пространственные изменения численности, биомассы и параметров роста двустворчатого моллюска *Macoma calcaea* в водах Западного Шпицбергена. Этот вид моллюсков считается одним из наиболее распространенных в инфауне арктических морей, обитающий в илистых и гравийных отложениях [Денисенко, 2004; Cochrane et al., 2012], скопления которого часто превышают 100 экз./м<sup>2</sup> [Kamenev et al., 2004; Наумов, 2006; Gerasimova et al., 2019; Носкович, 2021].

Таким образом, цель данной работы – изучить влияние условий различного гидрологического режима фьордов Западного Шпицбергена на распределение и рост двустворчатого моллюска *Macoma calcaea*.

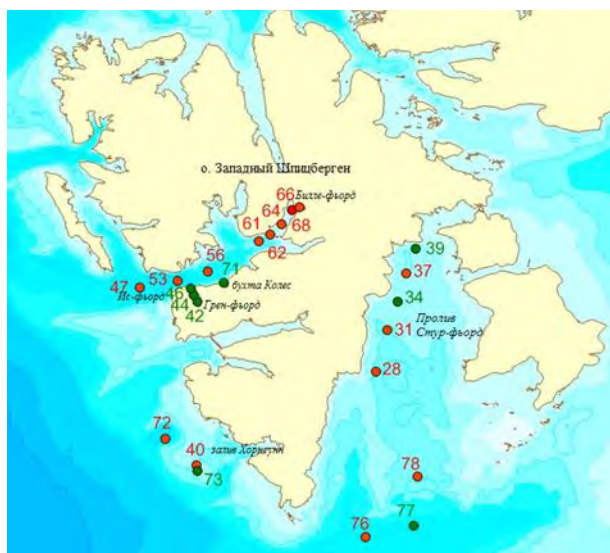


Рис. 1. Расположение станций отбора проб в водах Шпицбергена в летний период 2019 г.

Красный цвет – станции, где *Masoma salcaea* не встретились, зеленый – встретились

### Материал и методы

Материал, использованный в работе, был собран сотрудниками ММБИ РАН на 23 станциях во фьордах о. Западный Шпицберген в июне-июле 2019 г. (рис. 1). Пробы отбирали с помощью дночерпателя Ван-Вина с площадью захвата 0.1 м<sup>2</sup> в трехкратной повторности. Грунт промывали через сито с размером ячеек 0.5 мм и визуально определяли типы осадков по критериям, предложенным Истошиным (1967). Моллюски *M. salcaea* были найдены на 8 станциях на глубинах от 86 до 269 м. Биологический анализ проведен для 191 моллюска (табл. 1).

Для выделения водных масс фьордов Западного Шпицбергена применялась классификация Свендсена [Svendsen et al., 2002]. Вертикальные профили температуры и солености воды регистрировались с помощью CTD Sealogger (SBE 19plus V2) (табл. 1).

Все особи *Masoma salcaea* были измерены с точностью до 0,1 мм, их возраст и характер линейного роста определен в результате анализа внешней морфологии раковины. Для изучения вариабельности скорости роста маком в исследуемых районах были построены индивидуальные и групповые возрастные ряды. Индивидуальные возрастные ряды получены в результате измерения для отдельной особи размеров в периоды «зимних» остановок роста. Групповые возрастные ряды получены в результате усреднения показателей индивидуального роста на станциях. Сравнение возрастных рядов осуществлено в ходе анализа остаточных дисперсий относительно моделей роста [Максимович, 1989].

Таблица 1. Характеристика района отбора проб и поселений *M. salcaea*

№ ст.	n	H, м	T°C	S, ‰	N ± m, экз/м <sup>2</sup>	B ± m, г/м <sup>2</sup>	Грунт
Восточная сторона о. Западный Шпицберген							
Стур-фьорд (Зимние водные массы)							
34	8	97.0	-1.7	35.3	26.6 ± 1.2	2.8 ± 0.2	светло-коричневый песчанистый ил, черно-серая глина, галька



39	7	89.0	-1.7	35.2	23.3 ± 1.3	22.4 ± 1.7	светло-коричневый песчанистый ил, черно-серая глина, гравий, галька
77	11	269.0	-1.3	35.1	36.6 ± 3.6	8.1 ± 0.8	песчанистый коричневый ил, темно-серая глина
Западная сторона о. Западный Шпицберген							
Грен-фьорд (Атлантические и Трансформированные Атлантические водные массы)							
42	92	71.0	3.4	34.9	306.6 ± 1.8	134.2 ± 1.5	илистый песок, камни, галька
44	2	141.0	2.6	34.9	6.6 ± 0.3	0.6 ± 0.05	песчанистый ил, черная мягкая глина
46	29	137.0	2.7	34.9	96.6 ± 1.4	225.6 ± 5.7	песчанистый ил, галька, гравий, рыхлая черно-серая глина
Бухта Колес (Трансформированные атлантические водные массы)							
71	40	90.0	2.7	34.9	133.3 ± 5.1	429.2 ± 18.7	песчанистый ил, камни, галька, черная глина
Залив Хорнсунн (Промежуточные водные массы)							
73	2	86.0	2.4	34.7	6.6 ± 0.6	0.2 ± 0.02	илистый песок, темно-серая глина, камни, галька

Примечание: n – количество моллюсков; Н – глубина; Т – придонная температура, S – соленость; В – средняя биомасса; N – плотность поселения; m – ошибка среднего

## Результаты

В результате сравнения 8 возрастных рядов было выделено 2 группы поселений, ростовые показатели которых достоверно различались (Рис. 2). Большая часть комплекса попала в кластер I условно медленнорастущих (9.5 мм за 5 лет), который состоял из станций, в основном расположенных в холодных водах Стур-фьорда (станции 34, 39 и 77), а также в водах перед Хорнсунном (станция 73). Эти районы также характеризуются низкими значениями биомассы и численности (табл. 1). Только 3 возрастных ряда сформировали группу условно быстрорастущих (в среднем 10.6 мм за 5 лет) (Рис. 2). Это поселение располагалось в заливе Грен-фьорд и бухте Колес в атлантических и трансформированных атлантических водных массах, на этих станциях отмечены максимальные значения биомассы и численности (табл. 1).

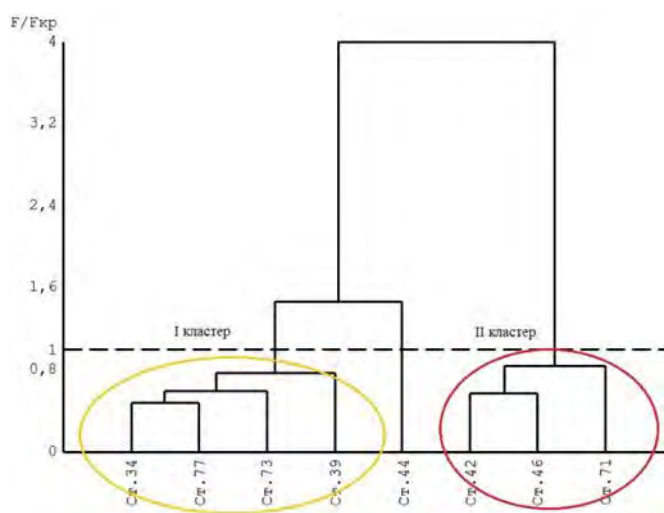


Рис. 2. Дендрограмма сходства возрастных рядов *Masoma salcata*.

По оси ординат – отношение  $F/\Phi_{кр}$ .

Различия индивидуальных ростовых характеристик моллюсков были существенны – размеры пятого ростового кольца в I кластере колебались от 6.2 до 10.1 мм, а во II кластере от 6.6 до 11.9 мм (рис. 3А). Характерно, что расхождения как между индивидуальными моделями, описывающими рост отдельных особей *Masoma salcata*, так и между групповыми моделями, описывающими рост макром в полученных кластерах, наблюдались как на ранних остановках роста, так и на протяжении всей жизни (рис. 3А, Б). Например, размеры 14-ого ростового кольца варьировали от 20.7 до 33.7 мм (рис. 3А). Продолжительность жизни моллюсков из II кластера была выше, чем у макром из I кластера и составляла 21 год при длине раковины 39.5 мм (рис. 3Б). Максимальная продолжительность жизни моллюсков из I кластера составила 11 лет при длинах раковины 18.5 мм и 19.6 мм (рис. 3А). Среднегодовая скорость роста моллюсков из I кластера оказалась ниже (1.5 мм/год), чем у моллюсков из II кластера (1.7 мм/год) (рис. 3Б).

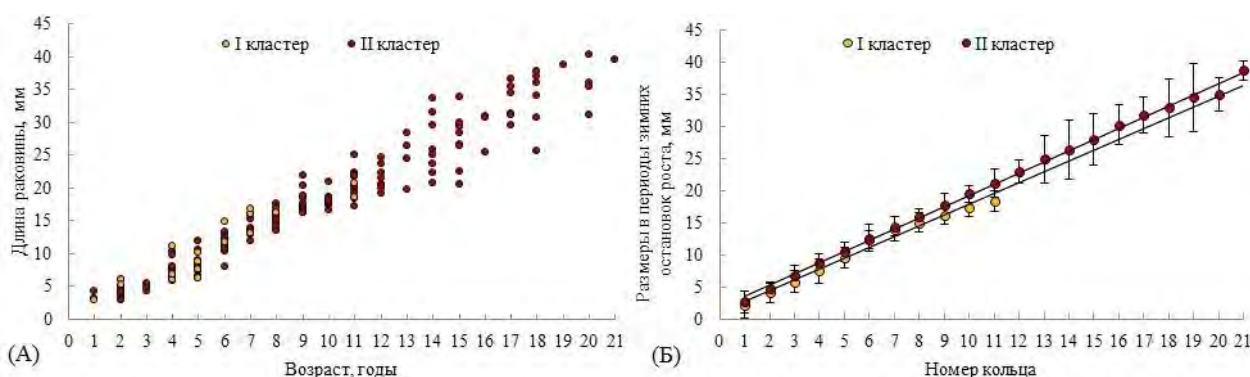


Рис. 3. Индивидуальный (А) и групповой линейный (Б) рост моллюсков *Masoma salcata* в образовавшихся кластерах

## Выводы

Таким образом, на западном и восточном берегах о. Западный Шпицберген формируются 2 типа поселения моллюсков *Macoma calcaea*, различающиеся скоростью роста и продолжительностью жизни. В более тепловодных условиях западной части Шпицбергена (Грен-фьорд и бухта Колес) поселения *Macoma calcaea* имеют большие показатели обилия, разнообразную размерно-возрастную структуру, а максимальная продолжительность жизни достигает до 21 года. В более холодноводных условиях Стур-фьорда и залива Хорнсунн наблюдаются наименее благоприятные условия для развития поселений *M. calcaea*, здесь показатели обилия ниже, отмечено небольшое количество особей других возрастных групп, а максимальная продолжительность жизни составила 11 лет. Наши данные, на примере бореально-арктического вида *Macoma calcaea* показывают, что в условиях потепления Арктики и продолжающейся бореализации фауны Баренцева моря можно ожидать увеличения численности бентосных организмов вследствие лучшей выживаемости молоди, увеличения скорости роста и, в целом, общей продуктивности поселений беспозвоночных.

### Благодарность

Автор выражает благодарность коллегам из лаборатории зообентоса ММБИ РАН за собранный материал.

### Финансирование

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект в рамках государственного задания ММБИ РАН 122020900044-2).

### Список литературы:

1. Денисенко С.Г. Структурно-функциональные характеристики зообентоса Баренцева моря // Зоологические сессии (Ежегодные отчеты 2004). Материалы зоол. Инст. – 2004. – Т. 300. – С. 43–52.
2. Истошин Ю.В. Морская гидрометрия // Учеб. пособие для гидрометеорол. техникумов – Л.: Гидрометеиздат, 1967. – 412 с.
3. Максимович Н.В. Статистическое сравнение кривых роста // Вестник Ленинградского университета. – 1989. – Вып. 4. – Серия 3. – № 24. – С. 18–25.
4. Наумов А.Д. Двустворчатые моллюски Белого моря. Опыт эколого-фаунистического анализа. – СПб, Зоологический институт РАН. – 2006. 367 с.
5. Носкович А.Э. Пространственное распределение, рост и размножение двустворчатого моллюска *Macoma calcaea* (Gmelin, 1791) у берегов Новой Земли // Биология моря. – 2021. – Т. 47. – № 1. – С. 45–53.
6. Cochrane S.K.J., Pearson T.H., Greenacre M., Costelloe J., Ellingsen I.H., Dahle S., Gulliksen B. Benthic fauna and functional traits along a Polar Front transect in the Barents Sea—Advancing tools for ecosystem-scale assessments // J. Mar. Syst. – 2012. – Vol. 94. – P. 204–217.
7. Gerasimova A.V., Filippova N.A, Lisitsyna K.N., Filippov A.A., Nikishina D.V., Maximovich N.V. Distribution and growth of bivalve molluscs *Serripes groenlandicus* (Mohr) and *Macoma calcaea* (Gmelin) in the Pechora Sea // Polar Biology. – 2019. – Vol. 42(9). – P. 1685–1702.
8. Kamenev G.M., Kavun V.Y., Tarasov V.G., Fadeev V.I. Distribution of bivalve mollusks *Macoma golikovi* Scarlato and Kafanov, 1988 and *Macoma calcaea* (Gmelin, 1791) in the shallow-water

hydrothermal ecosystem of Kraternaya Bight (Yankich Island, Kuril Islands): connection with feeding type and hydrothermal activity of Ushishir Volcano // *Cont. Shelf Res.* – 2004. – Vol. 24. – Issue 1. – P. 75–95.

9. Svendsen H., Beszczynska-Moller A., Hagen J.O., Lefauconnier B., Tverberg V., Gerland S., Orbaek J.B., Bischof K., Papucci C., Zajaczkowski M., Azzolini R., Bruland O., Wiencke C., Winther J.-G., Dallmann W. The physical environment of Kongsfjorden-Krossfjorden, an Arctic fjord system in Svalbard // *Polar Research.* – 2002. – Vol. 21. – P. 133–166.
10. Skogseth R., Olivier L.L., Nilsen F., Falck E., Fraser N., Tverberg V., Ledang A.B., Vader A., Jonassen M.O., Søreide J., Cottier F., Berge J., Ivanov B.V., Falk-Petersen S. Variability and decadal trends in the Isfjorden (Svalbard) ocean climate and circulation – An indicator for climate change in the European Arctic // *Progr. Oceanogr.* – 2020. – Vol. 187. 102394.

УДК 593.9

Рубрика 34.33.15

ОФИУРЫ GORGONOCERPHALIDAE (ECHINOERMATA: OPHIUROIDEA: EURYALIDA):  
ПРЕДСТАВИТЕЛИ СЕМЕЙСТВА НА ПОДВОДНЫХ ГОРАХ ИМПЕРАТОРСКО-  
ГАВАЙСКОГО ХРЕБТА

BASKET STARS GORGONOCERPHALIDAE (ECHINODERMATA: OPHIUROIDEA) AND  
THEIR DISTRIBUTION ON THE EMPEROR SEAMOUNT CHAIN

**Волкова Анастасия Леонидовна<sup>1,2</sup>, Даутова Татьяна Николаевна<sup>2</sup>, Даутов Салим Шакирович<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Дальневосточный федеральный университет (ДФУ), г. Владивосток*

<sup>2</sup> *Национальный научный центр морской биологии им. А. В. Жирмунского  
Дальневосточного отделения Российской академии наук (ННЦМБ ДВО РАН), г.  
Владивосток*

**Volkova Anastasia Leonidovna<sup>1,2</sup>, Dautova Tatyana Nikolaevna<sup>2</sup>, Dautov Salim Shakirovich<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Far Eastern Federal University, Vladivostok*

<sup>2</sup> *A.V. Zhirmunsky National Scientific Center of Marine Biology of Far Eastern Branch Russian Academy of Science, Vladivostok*

Подводные горы Императорско-Гавайского хребта обладают высокой биологической продуктивностью различных сообществ морских организмов, обеспечивающих промысловое рыболовство. Однако нерегулируемый промысел в нейтральных водах северной части Тихого Океана угрожает природному балансу, приводя к значительному сокращению рыбных запасов. В 2018 году Комиссия по рыболовству в северной части Тихого океана признала необходимость проведения тщательного исследования донных организмов Императорского хребта [NPFC, <https://www.npfc.int/>]. Тем не менее, донные популяции гидробионтов на горах северной части Императорского хребта остаются недостаточно исследованными до сих пор. Изучение этих популяций является важной задачей для понимания и сохранения высокой продуктивности этого региона. Биогеографическая граница между коралловыми фаунами в районе гор Императорского хребта проходит между 37°-39° северной широты. Фауна данного участка включает представителей умеренного и тропического пояса, что подтверждает предположение о наличии биогеографической границы между бореальной и западно-тихоокеанской биогеографическими областями в районе поднятия, основанное на данных о фауне офиур в батимальной зоне [Dautova, 2019].

Офиуры, они же змеехвостки (Ophiuroidea, brittle-star) имеют большое значение в исследованиях бентосных сообществ. Причина заключается в том, что они широко распространены в Мировом океане, вносят большой вклад в биомассу и являются важной частью донных экосистем [Escolar, 2013; Schejter, 2016]. Офиуры часто упоминаются, как доминирующий компонент уязвимых морских экосистем, и как один из основных таксонов в составе фауны своего места обитания [Baker, 1980; Venkataraman et al., 2012; Okanishi, 2020]. Они также признаны самым многочисленным классом внутри типа Иглокожие (Echinodermata) [Rodrigues et al., 2011; Okanishi and Fujita, 2018; Canessa, 2023]. Изучение

видового разнообразия офиур представляет большой интерес в силу таких факторов, как усиливающееся подкисление океана, вызванное изменением климата, и последствия тралового рыболовства [Okanishi, 2020; Escolar, 2013].

Выловом непосредственно офиур занимаются редко, только некоторые виды добываются для аквариумов. У многих представителей данной группы иглокожих обнаружены метаболиты, такие как хлорины, дисульфатированные и моносульфатированные стероиды и иодин, которые представляют высокий интерес для фармакологии [Rosenberg, 2005; Klimenko, 2023]. Змеехвостки являются доминирующим компонентом донной фауны, но на них оказывает сильное влияние добыча ископаемых и рыболовная деятельность. Благодаря своей многочисленности, змеехвостки являются удобным объектом для макроэкологических, биогеографических и статистических исследований. Представители класса Ophiuroidea могут выступать модельными организмами для палеонтологических исследований и оценки закономерностей макроэволюции. Для более полного понимания биогеографии и эволюции змеехвосток необходимо проводить дополнительные молекулярные и филогенетические исследования, в том числе потому, что они приводят к идентификации новых видов, а часто и к уточнению современной систематики этой группы беспозвоночных [Stöhr and O'Hara, 2012].

Gorgonocerphalidae является самым крупным семейством в отряде Euryalida и насчитывает в настоящее время 34 рода [Okanishi and Fujita, 2018]. Несмотря на то, что они являются важными членами экосистем коралловых рифов, горгоноцефалиды (basket-stars) недостаточно широко изучены в большинстве локаций, где они обнаружены [Gondim, 2012; Voissin, 2016]. Совсем недавно были опубликованы исследования, сосредоточившиеся на таксономическом составе донной мегафауны в районе южных подводных гор Императорского хребта [Miyamoto et al. 2017]. Полученные данные указывают на то, что глубоководная донная мегафауна в данном районе имеет больше сходства с обнаруженной вблизи Гавайских островов, чем с теми, о которых ранее сообщалось на Алеутских островах, в других водах Аляски, Калифорнии и Японии. Представители класса Ophiuroidea встречались более чем в 70% всех выловов. Офиура *Gorgonocerphalus cf. eucnemis* была выловлена в июле-августе 2021 года рядом с подводной горой Коко [Klimenko et al. 2023].

Материал для проводимого исследования семейства Gorgonocerphalidae собран в ходе экспедиции Национального научного центра морской биологии им. А.В. Жирмунского Дальневосточного отделения Российской академии наук (ДВО РАН) при участии Института океанологии (РАН) им. П.П. Ширшова на борту НИС «Академик М.А. Лаврентьев» (рейс № 86) в июле-августе 2019 г. и в рейсе №94 в июле-сентябре 2021 года. Методами исследования были сбор донной фауны, визуальные наблюдения, а также фото- и видеосъемка с помощью дистанционно управляемого подводного аппарата Comanche 18 [Dautova, 2019]. Целью дальнейшей работы является проведение комплексного морфологического исследования полученных в ходе экспедиций образцов горгоноцефалид, молекулярно-генетический анализ и построение филогенетического дерева.

Продолжение сбора и исследования данных о семействе Gorgonocerphalidae в районе подводных гор Императорско-Гавайского хребта позволило бы получить новые сведения о распределении горгоноцефалид на горах подводной цепи, а также сравнить видовой состав между ними и выявить различия или их отсутствие.

### Список литературы:

1. Baker A. N. Euryalinid Ophiuroidea (Echinodermata) from Australia, New Zealand, and the south-west Pacific Ocean //New Zealand Journal of Zoology. – 1980. – Vol. 7., №. 1. – P. 11-83.



2. Boissin E. et al. Shallow-water reef ophiuroids (Echinodermata: Ophiuroidea) of Réunion (Mascarene Islands), with biogeographic considerations //Zootaxa. – 2016. – Vol. 4098. – №. 2. – P. 273-297.
3. Canessa M. et al. Possible Population Growth of *Astrospartus mediterraneus* (Risso, 1826)(Ophiuroidea, Gorgonocephalidae) in the Mediterranean Sea //Diversity. – 2023. – Vol. 15. – №. 1. – P. 122.
4. Gondim A. I., Dias T. L. P., Manso C. L. C. Updated morphological description of *Asteroporpa* (*Asteroporpa*) *annulata* (Euryalida: Gorgonocephalidae) from the Brazilian coast, with notes on the geographic distribution of the subgenus //Revista de biología marina y oceanografía. – 2012. – Vol. 47. – №. 1. – P. 141-146.
5. Klimentko A. et al. Shallow-and Deep-Water Ophiura Species Produce a Panel of Chlorin Compounds with Potent Photodynamic Anticancer Activities //Antioxidants. – 2023. – Vol. 12., №. 2. – P. 386.
6. Miyamoto M. et al. Megafaunal composition of cold-water corals and other deep-sea benthos in the southern Emperor Seamounts area, North Pacific Ocean //Galaxea, Journal of Coral Reef Studies. – 2017. – Vol. 19. – №. 1. – P. 19-30.
7. Okanishi M., Fujita T. Description of a new subfamily, Astrocloninae (Ophiuroidea: Euryalida: Gorgonocephalidae), based on molecular phylogeny and morphological observations //Zoological science. – 2018. – Vol. 35., №. 2. – P. 179-187.
8. Okanishi M., Mah C. L. Overlooked biodiversity from museum collections: four new species and one new genus of Ophiuroidea (Echinodermata) from Antarctica and adjacent regions with notes on multi-armed ophiuroids //Marine Biodiversity. – 2020. – Vol. 50. – P. 1-26.
9. Rodrigues C. F. et al. Deep-sea ophiuroids (Echinodermata: Ophiuroidea: Ophiurida) from the Gulf of Cadiz (NE Atlantic) //Zootaxa. – 2011. – Vol. 2754. – №. 1. – P. 1–26–1–26.
10. Rosenberg R. et al. Biology of the basket star *Gorgonocephalus caputmedusae* (L.) //Marine Biology. – 2005. – Vol. 148. – P. 43-50.
11. Stöhr S., O'Hara T. D., Thuy B. Global diversity of brittle stars (Echinodermata: Ophiuroidea) //Plos one. – 2012. – Vol. 7. – №. 3. – P. e31940.
12. Koushik S., Raghunathan C., Venkataraman K. Present status and distribution of echinoderms in reef communities of Nicobar Islands, India //Ecology and Conservation of Tropical Marine Faunal Communities. – 2013. – P. 183-195.

УДК 594.3; 575.21

Рубрика 34.33.15; 34.03.17

ЭФФЕКТИВНОСТЬ КАМУФЛЯЖА И ФОРМА РАКОВИНЫ СИМБИОТИЧЕСКОГО МОЛЛЮСКА *PHENACOVOLVA ROSEA* НА РАЗНЫХ ВИДАХ КОРАЛЛОВ ХОЗЯЕВ И В РАЗНЫХ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

EFFECTIVENESS OF CAMOUFLAGE AND SHELL SHAPE OF THE SYMBIOTIC MOLLUSK *PHENACOVOLVA ROSEA* ON DIFFERENT SPECIES OF HOST CORAL AND IN DIFFERENT HYDROLOGICAL CONDITIONS

**Звонарева Софья Сергеевна<sup>1</sup>, Мехова Елена Сергеевна<sup>1</sup>, Лищенко Федор Витальевич<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> ИПЭЭ РАН, Москва

**Zvonareva Sofia Sergeevna<sup>1</sup>, Mekhova Elena Sergeevna<sup>1</sup>, Lischenko Fedor Vitalyevich<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> IEE RAS, Moscow

## Введение

Фенотипическая вариабельность, то есть разнообразие наблюдаемых признаков, проявляемых особями одного вида в различных условиях среды, является ключевой концепцией в биологии. Понимание факторов влияющих на формирование разных фенотипов, имеет важное значение для понимания механизмов адаптации и выживания организмов. Водные животные представляют собой увлекательные объекты исследования благодаря документированной способности развивать различные реакции в ответ на свою окружающую среду. Они часто проявляют различные поведенческие различия (Magurran et al. 1992) и заметные морфологические изменения в качестве реакции на изменение гидрологических условий, диеты и наличие хищников (Tollrian 1990).

Моллюски являются излюбленным объектом для изучения вариабельности поскольку обладают раковиной - регистрирующей структурой на которой удобно проводить измерения. Однако не менее интересное направление для изучения вариабельность окраски в различных условиях среды. У животных есть разные стратегии окраски, они в основном служат защите от хищников и среди них камуфляж одна из часто применяемых (Edmunds 1991, Pawlik 2012).

Большинство представителей семейства Ovulidae, являются симбионтами восьмилучевых кораллов. Они сильно зависят от хозяев, на них живут и питаются. Их раковины покрыты мантией и у многих из них она имитирует цвет и паттерн окраски кораллов хозяев, и даже имитируют полипы кораллов с помощью выростов мантии, покрывающей раковину делая их практически незаметными.

Вероятно, такой камуфляж обусловлен тем, что моллюски пользуются защитой коралла хозяина от неспецифических симбионтов таких как крабы и другие моллюски. Наиболее же вероятным хищником для овулид являются рыбы, часто полагающиеся на зрение в поисках жертвы (Rosenberg 1992; Burkepille and Hay 2007).

В то время как некоторые члены семейства Ovulidae сильно специализированы и ограничены одним хозяевам, другие проявляют более низкую специфичность по отношению к хозяевам. Среди них выделяется *Phenacovolva rosea* как вид с широкой вариабельностью окраски мантии

и формы раковины. Предыдущие исследования показали, что, несмотря на эту заметную вариабельность, они принадлежат к одному виду (Zvonareva et al. 2020).

Неизвестно, однако, чем обусловлена эта вариабельность - фенотипической пластичностью или локальной адаптацией на базе изменения частот аллелей. Кроме того, неизвестно как именно влияют на окраску и форму раковины вид хозяина и регион и гидрологические условия.

В данном исследовании нашей целью было оценка вариабельности эффективности камуфляжа и вариабельности формы раковины на разных кораллах хозяевах в регионах с разными гидрологическими условиями.

## Материалы и методы

Всего было собрано 72 экземпляра *Phenacovolva rosea* в различных локациях вдоль вьетнамского побережья. Места сбора включали остров Куан Лан и остров Ко То в заливе Бай Ты Лонг на севере Вьетнама, остров Катъ Ба, который является частью залива Ха Лонг на севере Вьетнама и острова залива Ня Чанг в южном регионе.

Для изучения особенностей окраски моллюски прижизненно были сфотографированы вместе со своим кораллом-хозяином в чашке Петри. Затем полученные фотографии были обработаны в GIMP. На каждой из них была выделена область, содержащая участок раковины, покрытый мантией, и участок содержащий коралл. Из этих областей были исключены затененные и пересвеченные участки, голова и нога моллюска, участки с голой раковиной, метртовые части коралла, другие животные, живущие на коралле.

С помощью функции "диаграммы" для обоих участков было определено среднее значение каждого канала в цветовом пространстве RGB. Затем для каждой фотографии было вычислено три значения - евклидово расстояние между средним цветом коралла и средним цветом моллюска (мера эффективности камуфляжа), а также евклидово расстояние от черного цвета до среднего цвета моллюска и коралла.

Эти данные были проанализированы с помощью регрессионного анализа и генеральной линейной модели.

Для изучения особенностей формы, раковины были сфотографированы в стабильном положении на устьи. Затем фото было подвергнуто обработке для получения контура раковины. Затем в пакете программ SHAPE с помощью эллиптического метода Фурье было получено описание формы раковины, выраженное в главных компонентах. Их также анализировали с помощью генеральной линейной модели.

## Результаты

Генеральная линейная модель установила достоверное наличие эффекта параметра "вид коралла хозяина" на эффективность камуфляжа. Наименьшее евклидово расстояние между моллюском и кораллом было зарегистрировано для коралла *Astrogorgia* sp. 3, тогда как максимальным было расстояние на *Menella* sp. Пост-хок тест зарегистрировал достоверные отличия между этими двумя кораллами, тогда как остальные не отличались ни между собой, ни от этих двух. Регион сбора не имел достоверного эффекта на эффективность камуфляжа.

Линейный регрессионный анализ установил зависимость цвета моллюска от коралла хозяина.

Генеральная линейная модель установила достоверное наличие региона на первую главную компоненту описывающую форму раковины, по ней *Ph. rosea* в Ня Чанге достоверно отличались от северных локаций. Кроме того, на нее влиял и коралл хозяин как при анализе

всего массива, так и при анализе северных локаций отдельно. При анализе только северных локаций особи на коралле *Menella* sp. достоверно отличались от особей с кораллов *Astrogorgia* sp. 3. Первая главная компонента соответствует степени выраженности ростральных выростов на раковине - на севере они выражены слабо, а в Ня Чанге сильно, на *Menella* sp. - слабее, чем на других кораллах.

## Обсуждение

Мы показали, что цвет мантии моллюска коррелирует с цветом кораллов хозяев и более светлые улитки сидят на более темных кораллах. Однако неизвестно каким механизмом это обеспечено это соответствие. Мы предполагаем три возможных механизма:

1. Избирательное заселение. Это может обеспечиваться на стадии оседания личинок, либо направленным поиском подходящего хозяина уже после оседания и метаморфоза. Однако этот механизм кажется нам маловероятным поскольку известно, что симбионты редко намеренно выходят из-под защиты своего хозяина (Castro 1978). Кроме того, избирательное заселение неизбежно бы привело к возникновению репродуктивного барьера с последующей дивергенцией популяций. Однако в статье, опубликованной частично на материале, использованном в данном исследовании (Zvonareva et al. 2020), дивергенции обнаружено не было.
2. Чистый естественный отбор, когда все неподходящие по цвету улитки элиминируются хищником. В таком случае должны меняться частоты аллелей.
3. Широкая фенотипическая пластичность. Для многих моллюсков известна алиментарная гомохромия. Для овулид она тоже предполагается и есть тому косвенные доказательства, такие как наличие наполовину окрашенных раковин вероятно вследствие смены хозяина. Так что встраивание в ткани пигментов, полученных от коралла хозяина, может являться хорошим объяснением цветового соответствия кораллу.

Что касается разной эффективности камуфляжа на разных кораллах интересно заметить, что наиболее соответствовали моллюски по цвету на коралле, который являлся самым частым хозяином. Пониженный уровень эффективности камуфляжа на *Menella* sp. может объясняться тем что моллюск использует этот коралл как временный, на которой был вынужден переселиться вследствие гибели своего основного хозяина. Либо же такое цветовое несоответствие может быть свойством фенотипической пластичности которая в некоторых условиях может давать фенотипы с пониженной адаптивностью (Pfennig 2021, Diamond and Martin 2021, Levis and Pfennig 2021).

Есть и альтернативное предположение. Возможно несоответствие среднего цвета моллюска кораллу хозяину отражает другую стратегию окраски, например, апосематизм, то есть сигнализирующую окраску. Кроме того, есть данные, что паттерны окраски, которые с близкого расстояния кажутся довольно сильно заметными, при взгляде издалека сливаются с фоном (Endler, 1978; Caro et al. 2013; Barnett and Cuthill 2014).

Наши результаты говорят о значимых отличиях формы раковины между Ня Чангом и северными локациями, и отличия в сильно выраженных ростральных выростах раковины в Ня Чанге, тогда как в северных локациях они развиты слабо.

По данным многочисленных исследований влияния факторов среды на форму раковины брюхоногих моллюсков наиболее значимыми факторами являются температура и наличие хищников (Doyle et al. 2010).

Действительно многие исследователи говорят о широтных различиях морфологии раковин, которые, вероятно, связаны с температурой из-за ее влияния на химическое равновесие

процесса кальцификации (Vermeij 1978). Однако хотя мы рассматриваем северные и южные локации, разница в среднегодовых температурах между ними не превышает двух градусов, а средние летние температуры в северных локациях даже превышают показатели Ня Чанга. Кроме того хоть влияние температуры и было показано в лабораторных экспериментах на литоральных моллюсках умеренных вод, морфология раковин в лабораториях отличалась от морфологии диких популяций, в связи с чем предполагается, что температур, а хоть и является одним из факторов, но, возможно, не самым основным (Doyle et al. 2010).

Основным же фактором во многих случаях называют наличие хищника (Brookes and Rochette 2007). И тогда как для литоральных моллюсков основным хищником являются крабы, для *Ph. rosea* это вероятнее всего рыба. Поскольку рыба полагается в основном на зрение, высокая степень замутненности воды в северных локациях может мешать рыбе находить моллюсков. Таким образом вероятно на севере пресс естественного отбора по сравнению с Ня Чангом снижен. А в Ня Чанге моллюски обладают длинными ростральными выростами, которые возможно мешают рыбе проглотить раковину и расколоть ее глоточными зубами.

Опять же есть два вероятных механизма влияния хищников на моллюсков. Первый - естественный отбор, когда в прозрачной воде под прессом хищника раковины у которых выросты отсутствуют элиминируются. И второй - ростральные выросты удлиняются в следствие присутствия хищника. Этот феномен широко известен для разных групп организмов самый известный пример - с шипами у дафний. Однако для моллюсков этот феномен тоже хорошо освещен и экспериментально доказано изменение морфологии раковин моллюсков *Littorina* spp. в присутствии химических стимулов крабов в воде (Brookes and Rochette 2007).

В случае связи формы раковины с кораллом хозяином сложно предположить механизмы влияния.

Неизвестно какую долю в изменчивости и адаптации фенотипическая пластичность, а какую генетическая в виде разницы в частотах аллелей. Очевидно, что присутствуют оба эти механизма. И в случае моллюсков на коралле *Menella* sp., которые сильно выделялись на фоне остальных можно предположить значительное присутствие генетического компонента, что возможно является начальным этапом специализации к определенному хозяину.

Однако вклад пластичности и генетики в изменчивость в этой симбиотической системе только еще предстоит исследовать, для чего мы планируем лабораторные эксперименты по переселению взрослых и ювенильных особей моллюсков на другие кораллы, лабораторные эксперименты по изучению влияния температуры и присутствия рыбы на рост ювенильных особей, а также изучение генетической базы изменчивости моллюсков с помощью секвенирования второго поколения.

## **Благодарность**

Авторы благодарят коллектив Совместного Российско-Вьетнамского тропического центра за организацию полевых работ и предоставленное оборудование для первичной обработки материала. Также авторы выражают благодарность Зайцеву А.С. из ИПЭЭ РАН за помощь в анализе данных и обсуждении результатов.

## **Финансирование**

Проект выполнен при поддержке РФФ № 22-74-00113, грантодержатель Звонарева С.С.

### Список литературы:

1. Barnett J.B., Cuthill I.C. Distance-dependent defensive coloration // *Curr. Biol.* – 2014. – № 24. – С. R1157–R1158.
2. Brookes J.I., Rochette R. Mechanism of a plastic phenotypic response: predator-induced shell thickening in the intertidal gastropod *Littorina obtusata* // *Journal of Evolutionary Biology* – 2007. – №20(3). – С. 1015–1027.
3. Burkepile D.E., Hay M.E. Predator release of the gastropod *Cyphoma gibbosum* increases predation on gorgonian corals. // *Oecologia* – 2007. – №154(1). – С. 167–73.
4. Caro T., Stankowich T., Kiffner C., Hunter J. Are spotted skunks conspicuous or cryptic? // *Ethol. Ecol. Evol.* – 2013. – №25(2). – С. 144–160.
5. Castro P. Movements between corals colonies in *Trapezia ferruginia* (Crustacea: Brachyura), an obligate symbiont of scleractinian corals // *Mar. Biol.* – 1978. – №46. – С. 237–245.
6. Diamond S.E., Martin R.A. Buying Time: Plasticity and Population. In: Pfennig D.W. (ed.) *Phenotypic Plasticity and Evolution. Causes, Consequences, Controversies*, 1st edn. // CRC Press, Boca Raton – 2021. – С. 185–209.
7. Doyle S., McDonald B.M., Rochette R. Is water temperature responsible for geographic variation in shell mass of *Littorina obtusata* (L.) snails in the Gulf of Maine? // *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* – №394. – С. 98–104.
8. Edmunds M. Does warning coloration occur in nudibranchs // *Malacologia* – 1991. – № 32. – С. 241–255.
9. Endler J.A. A predator's view of animal coloration // *Evol. Biol.* – 1978. – №11. – С. 319–364.
10. Levis N.A., Pfennig D.W. Innovation and diversification via plasticity-led evolution. In: Pfennig D.W. (ed) *Phenotypic Plasticity and Evolution* // CRC Press, Boca Raton – 2021. – С. 211–240.
11. Magurran A.E. et al. Behavioural consequences of an artificial introduction of guppies (*Poecilia reticulata*) in N. Trinidad: evidence for the evolution of anti-predator behaviour in the wild // *Proc. R. Soc. London Ser. B* – 1998. – №248. – С. 117–122
12. Pawlik J.R. Antipredatory defensive roles of natural products from marine invertebrates. In: Fattorusso E., Gerwick W.H., Tagliatela-Scafati O. (eds.), *Handbook of Marine Natural Products*// Springer Science, New York, – 2012. – С. 677–710.
13. Pfennig D.W. *Phenotypic Plasticity and Evolution: Causes, Consequences, Controversies* // CRC Press, Boca Raton – 2021.
14. Rosenberg G. An introduction to the Ovulidae (Gastropoda: Cypraeaacea) // *Am. Conchol.* – 1992. – № 20. – С. 4–7.
15. Tollrian R., Harvell C.D. *The evolution of inducible defenses* // Princeton University Press, Princeton, N.J. – 1999.
16. Zvonareva S.S., Mekhova E.S., Hoang D.T., Nguyen T.H.T., Vo H.T., Fedosov A.E. Diversity and relationship of shallow-water Ovulidae (Mollusca: Gastropoda) of Vietnam // *Arch. Moll.* – 2020. – №149(2). – С. 113–146.



УДК 574.34

Рубрика 34.35.17

**ДИНАМИКА РАЗМЕРНОЙ СТРУКТУРЫ ДВУСТВОРЧАТЫХ МОЛЛЮСКОВ  
РЫХЛЫХ ГРУНТОВ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОГО ПОБЕРЕЖЬЯ ЧЕРНОГО МОРЯ**

**DYNAMICS OF THE SIZE STRUCTURE OF BIVALVES OF SOFT SEDIMENTS OF THE  
BLACK SEA NORTHEASTERN COAST**

**Колючкина Галина Антоновна<sup>1</sup>, Любимов Иван Викторович<sup>1</sup>, Данилова Ника  
Александровна<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН (ИО РАН), г. Москва*

<sup>2</sup> *Российский государственный аграрный университет — МСХА имени К. А. Тимирязева (РГАУ-МСХА), г. Москва*

**Kolyuchkina Galina Antonovna<sup>1</sup>, Lyubimov Ivan Victorovich<sup>1</sup>, Danilova Nika  
Alexandrovna<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow*

<sup>2</sup> *Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow*

### **Введение**

В Черном море основными доминантами на рыхлых грунтах прибрежной зоны являются двустворчатые моллюски. Биомасса моллюсков может достигать нескольких килограмм на квадратный метр дна [Атлас, 2019]. В начале XXI века экосистемы этой зоны подверглись катастрофическим изменениям: ежегодные колебания численности и биомассы доминирующих видов моллюсков на 10-30 м глубинах достигали порядков величин [Chikina, Kucheruk, 2005]. В последние годы появляются сообщения о стабилизации структуры донных сообществ этой зоны [Колючкина и др. 2020]. Одним из показателей устойчивости популяций является ее размерная структура, поэтому в настоящем исследовании была проведена оценка динамики размерной структуры популяций доминирующих видов двустворчатых моллюсков прибрежной зоны (крупноразмерных долгоживущих - *Chamelea gallina* (L., 1758) и *Pitar rudis* (Poli, 1795), мелкоразмерных короткоживущих - *Lucinella divaricata* (L., 1758) и *Gouldia minima* (Montagu, 1803)) в период 2015-2022 гг., а также сделана попытка оценить предельный возраст каждого вида в исследуемый период.

### **Материалы и методы**

Исследования были выполнены в летний сезон (июнь-июль) 2015-2022 гг. напротив бух. Инал (Туапсинский район Краснодарского края РФ) в ходе ежегодных экспедиций Института Океанологии «Черное море». Пробы собирали дночерпателем Океан-0.1 на глубинах 10 и 25 м в трех повторностях на станции, промывали через сито с диаметром ячеек 0.5 мм, а затем фиксировали 4% формалином на морской воде. Из каждой пробы выбирали все экземпляры исследуемых видов, измеряли длину их раковин (с точностью до 0.1 мм с использованием фотокамеры и программы ImageJ 1.53a) и строили гистограммы размерной

структуры в программе Past 4.03 (Mixture analysis). Поскольку исследуемые виды имеют один пик размножения в году [Киселева, 1981], размерные когорты первых нескольких лет приравнивали к возрастным. По количеству когорт определяли наибольший возраст моллюсков в каждый период.

## Результаты и обсуждение

Распределение длин раковин у всех четырех видов моллюсков были мультимодальными (рис. 1, 2). Наибольшее число пиков (когорт) было отмечено для *Chamelea gallina* в 2022 г. (рис. 1а, рис. 2а). Этот вид, доминирующий на 10-15 м глубинах, размножается в конце лета, а только что осевшие особи появляются в пробах в начале осени [Киселева, 1981]. Пробы в ходе настоящего исследования собирали в июле до массового появления нового поколения текущего года. Известно, что *Ch. gallina* при оседании имеет размер 0.2 мм, что исключает попадание массового материала в макробентосные пробы, промываемые через газ с размером ячеек 0.5x0.5 мм. Поэтому, с большой вероятностью, первая когорта включала особи, осевшие прошлой осенью (возраст 0+). Зимой их рост происходит, по всей видимости, чрезвычайно медленно, и, по нашим данным, они дорастают лишь до 2.5 мм. Следующая когорта включала, по всей видимости, особей возраста 1+ и имела в 2022 г. размеры 6.5-10 мм. Известно, что за первый год жизни этот вид может достигать 6-10 мм в длину [Киселева, 1981]. По нашим данным, моллюски третьей когорты (2+) имели длину раковины 11-15 мм. Затем рост замедлялся. Моллюски из четвертой когорты включали 17 мм особей (3+), а пятой (4+) – 18-20 мм.

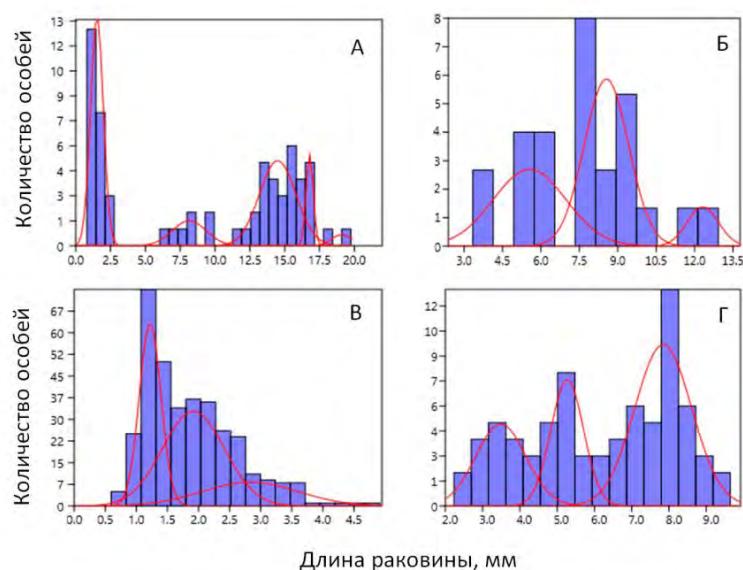


Рисунок 1. Размерная структура популяций четырех видов Bivalvia (а – *Chamelea gallina*, б – *Pitar rudis*, в – *Lucinella divaricata*, г – *Gouldia minima*) в 2022 г. Красные кривые – аппроксимирующие кривые нормального распределения в когортах.

В целом, характер пиков соответствовали наблюдаемым в 1957-1963 гг. (Киселева, 1981). Однако за весь современный период наблюдений не были отмечены экземпляры с длиной раковины более 20 мм, тогда как в середине XX века наибольший отмеченный размер у этого вида составил 27 мм [Киселева, 1981]. В разные годы число пиков отличалось, но размерные когорты были сходными. В 2015-2022 гг. первая когорта особей длиной не более 3 мм наблюдались каждый год, что указывает на регулярно происходящее успешное оседание прошлого года. Наличие старших когорт было нерегулярным. В 2017 г. произошло массовое оседание *Ch. gallina*, что привело к появлению исключительно высокого количества ювенилий летом следующего, 2018 г. В последующие годы эти особи продолжали оставаться

в популяции в виде более старших когорт. Благодаря ежегодному пополнению, количество когорт с 2018 г. каждый год увеличивалось на одну, достигнув пяти в 2022 г. Наибольший возраст моллюсков, таким образом, по нашим данным составил как минимум 4 года.

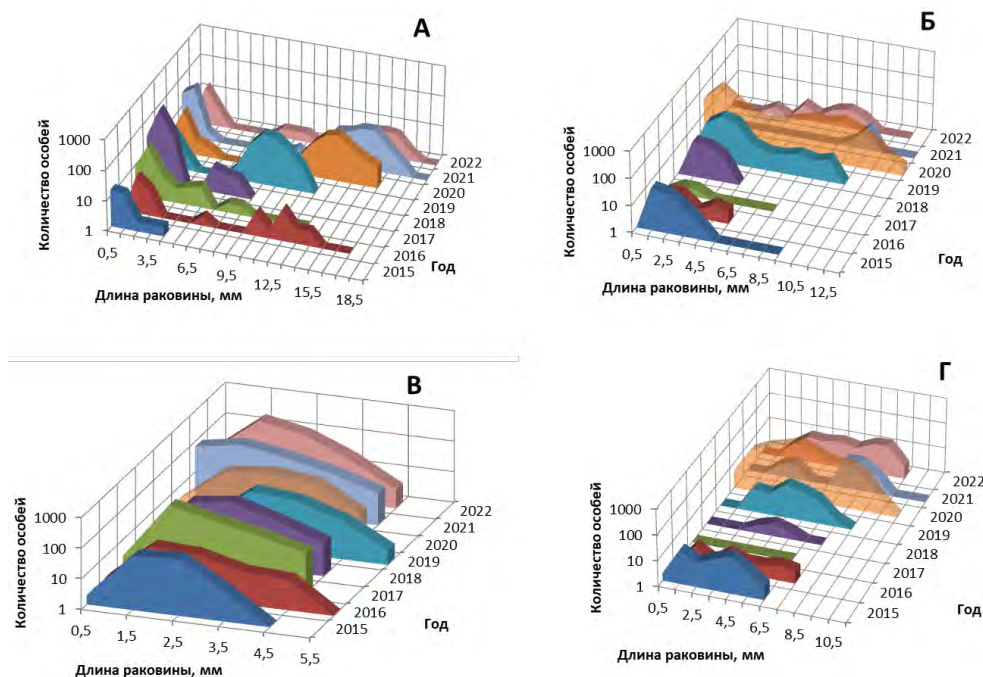


Рисунок 2. Динамика размерной структуры популяций руководящих видов *Bivalvia*: *Chamelea gallina* (а), *Pitar rudis* (б), *Lucinella divaricata* (в), *Gouldia minima* (г).

Среди исследованных видов, второй по продолжительности жизни был *Pitar rudis*, обитающий на 25 м изобате. У этого вида было найдено четыре размерных класса, причем на гистограммах одновременно встречались только три пика (рис. 1б, 2б). Ювенильные особи с длиной раковины менее 1.5 мм попадались единично, только в 2020 г., они давали существенный вклад в популяцию. По имеющимся литературным данным, личинки этого вида встречаются в планктоне в июне-августе, таким образом, самые младшие когорты состоят из особей, возрастом около 10 месяцев. Мы выделили четыре когорты, по всей видимости, соответствующие четырем разным поколениям моллюсков: 0+ (до 4 мм), 1+ (5-7 мм), 2+ (8-10 мм), 3+ (11-13 мм). Моллюски крупнее 14 мм в данную выборку не попали, хотя в Геленджикской бухте в 2023 г. были найдены особи с длиной раковины 19 мм. Известно, что *P. rudis* в 20-м веке достигал в Черном море размеров 25 мм [Киселева, 1981]. В литературных источниках нам не удалось найти информации о предельном возрасте этого вида, на основании проведенного анализа мы предполагаем, что он может составлять не менее 3-4х лет. Наличие младших возрастных групп и их преобладание в 2015-2021 гг. указывает на стабильность популяции в этот период. Отсутствие первой когорты в 2022 г. может быть связано с поздним оседанием осенью 2021 г. или замедленным ростом молодых особей в 2022 г., который отличался затяжной весной.

Второй доминант глубин 25 м – *Gouldia minima*, продолжительность жизни которого не известна из литературных данных, имел до трех размерных классов на гистограммах (рис. 1г, 2г). Моллюски из первой когорты характеризовались длиной раковины до 4 мм. Вторая когорта состояла из особей 4-6 мм, а третья – более 6 мм. Известно, что *G. minima* размножается летом [Киселева, 1981]. Наличие в некоторые годы (2015, 2020 гг.) в пробах моллюсков менее 1 мм, а также наличие в этот же период в пробах большого количества молоди *P. rudis* указывает на возможное раннее оседание обоих видов в начале июля (в эти годы пробы были собраны 2-5 июля). Если это предположение верно, то особи *G. minima* первых двух когорт относятся к разным поколениям, но возраст обоих когорт меньше года

(0+). Тогда предельный возраст особей этого вида в 2015-2022 г., по нашим данным, не превышал двух лет. Это косвенно подтверждается отсутствием направленных межгодовых изменений в распределении пиков на гистограммах. Наибольший размер особей, отмеченный в наших наблюдениях составлял 11.7 мм, что соответствует показателям середины XX в. [Киселева, 1981].

Наконец, наиболее короткоживущий и мелкоразмерный вид, обитающий на глубине 10 м, *Lucinella divaricata*, отличался наличием трех пиков на гистограммах размерной структуры (рис. 1в, 2в). Этот вид, в отличие от трех предыдущих, по всей видимости, размножается весной и его молодежь оседает в начале лета [Sarda et al., 1999], поэтому оба первых пика особей с длиной раковины менее 2 мм и 2-3 мм относятся к поколению 0+ (оседание прошлого года и этого года). Наибольший возраст найденных особей, по нашим данным составляет 1+. Наибольший зафиксированный размер особей – 5.3 мм, что несколько выше, чем указано для Черного моря М.И. Киселевой [Киселева, 1981].

### **Заключение**

Наибольшее количество размерных когорт имели виды *Ch. gallina* и *P. rudis* (до четырех-пяти), а наименьшее – *G. minima* и *L. divaricata* (до трех). Принимая во внимание имеющуюся в литературных данных информацию о сроках пополнения популяций молодежью (оседании личинок), наибольший зафиксированный методом когорт возраст моллюсков в исследованных популяциях в 2015-2022 гг. достигал: *Ch. gallina* – 4+, *L. divaricata* – 1+, *P. rudis* – 3+, *G. minima* – 1+. Доминирование в популяциях особей первой размерной когорты (возраст 0+), а также присутствие разных размерных когорт указывают на стабильность популяций этих видов в 2015-2021 гг.

### **Благодарности**

Авторы чрезвычайно признательны Симаковой У.В., Семину В.Л., Симакову М.И., Басину А.Б., Кокареву В.Н, Веденину А.А. (ИО РАН), Тимофееву В.А. (ИнБЮМ) и Прохоровой Т.Д. за помощь в сборе материала.

### **Финансирование**

Проект выполнен при поддержке гранта РФФИ № 23-27-00181.

### **Список литературы:**

1. Киселева М.И. Бентос рыхлых грунтов Черного моря. Киев: Наукова думка. – 1981.–168 с.
2. Экологический Атлас. Черное и Азовское моря / ПАО «НК «Роснефть», ООО «Арктический Научный Центр», Фонд «НИР».– Москва: Фонд «НИР» 2019.– 464 с. : ил.– (Экологические атласы морей России).
3. Колючкина Г.А., Семин В.Л., Григоренко К.С., Басин А.Б., Любимов И.В. Роль абиотических факторов в вертикальном распределении макрозообентоса северо-восточного побережья Черного моря // Зоологический журнал. – 2020. – Т. 99. – № 7. – С. 784–800.

4. Chikina M.V., Kucheruk N.V. Long-term changes in the structure of coastal benthic communities in the northeastern part of the Black Sea: influence of alien species //Oceanology. – 2005. – T. 45, №. Suppl. 1.
5. Sardá R., Pinedo S., Martin D. Seasonal dynamics of macroinfaunal key species inhabiting shallow soft-bottoms in the Bay of Blanes (NW Mediterranean) // Acta Oecologica. – 1999. – Vol. 20, No. 4. – P. 315-326.



УДК 597.591.53

Рубрика 34.35.15

ПИТАНИЕ И ТРОФИЧЕСКИЕ СВЯЗИ РЫБ В ГАЛЕЧНО-ВАЛУННЫХ БИОТОПАХ ПРИЛИВНО-ОТЛИВНОЙ ЗОНЫ АВАЧИНСКОЙ ГУБЫ (ЮГО-ВОСТОЧНАЯ КАМЧАТКА)

FEEDING AND TROPHIC RELATIONSHIPS OF FISHES IN PEBBLE AND BOULDER BIOTOPES IN THE INTERTIDAL ZONE OF THE AVACHA BAY (SOUTH-EASTERN KAMCHATKA)

**Токранов Алексей Михайлович**

*КФ ТИГ ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский*

**Tokranov Alexey Mikhailovich**

*Kamchatka Branch of Pacific Geographical Institute of Far-Eastern Branch of Russian Academy of Sciences, Petropavlovsk-Kamchatsky*

### **Введение**

В результате продолжающегося несколько десятилетий интенсивного антропогенного воздействия (нарушение естественного состояния береговой линии, строительство различных портовых сооружений, загрязнение промышленными и бытовыми отходами, вызвавшее деструкцию или практически полное исчезновение пояса водорослей-макрофитов и т.д.), к настоящему времени произошла существенная трансформация многих участков приливно-отливной зоны Авачинской губы, что, безусловно, оказало воздействие на видовой состав и численность литоральной ихтиофауны [Токранов, Мурашева, 2018]. Анализ материалов, собранных в процессе десятилетнего мониторинга, проводимого сотрудниками лаборатории гидробиологии Камчатского филиала ТИГ ДВО РАН на литорали северо-восточной части Авачинской губы, даёт возможность получить представление о составе пищи четырёх встречающихся здесь сегодня в галечно-валунных биотопах приливно-отливной зоны видов рыб и их основных трофических связей, а также о внутривидовых пищевых взаимоотношениях разновозрастных особей наиболее массового представителя литоральной ихтиофауны – бурого морского петушка *Alectrias alectrolophus*.

### **Материал и методы**

Материалом для настоящего сообщения послужили результаты мониторинга, проводимого сотрудниками лаборатории гидробиологии КФ ТИГ ДВО РАН в период с 2014 по 2023 г. на трёх, подверженных различной степени антропогенного воздействия участках приливно-отливной зоны северо-восточной части Авачинской губы в черте Петропавловска-Камчатского (первый - рядом с местом базирования рыболовецких судов вблизи микрорайона Сероглазка, второй - в самом центре города у сопки Никольской, третий - у м. Сигнального) (рис. 1). Рыб ловили руками под камнями в приливно-отливных лужах во время максимальных отливов и фиксировали в 6% формалине. За период исследований на трёх упомянутых участках литорали в период с апреля по октябрь выловлено и исследовано более 17 тыс. экз. различных представителей ихтиофауны.



Обработку содержимого 1619 желудков четырёх, чаще всего встречающихся в уловах видов рыб - бурого морского петушка *Alectrias alectrolophus* (Stichaeidae), мраморного керчака *Myoxocephalus stelleri* (Cottidae), длиннобрюхого маслюка *Rhodymenichthys dolichogaster* (Pholidae) и трёхзубого липариса *Liparis callyodon* (Liparidae), проводили количественно-весовым методом в соответствии с «Методическим пособием...» [1974].

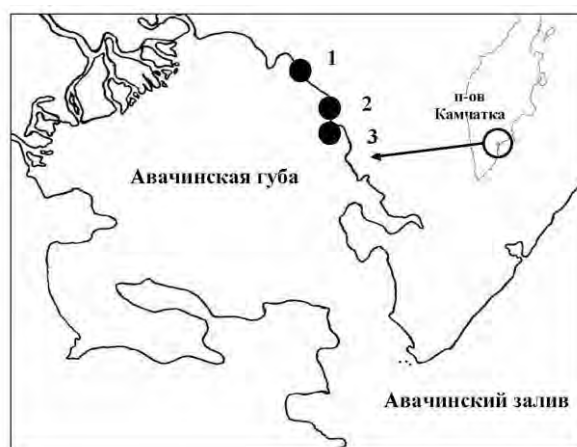


Рис. 1. Участки литорали Авачинской губы, на которых в 2014-2023 гг. проводили обловы рыб: 1 – вблизи микрорайона Сероглазка, 2 – у сопки Никольской, 3 – у м. Сигнального

При анализе пищевых взаимоотношений разновозрастных особей бурого морского петушка с помощью индекса пищевого сходства А.А. Шорыгина (СП-коэффициента), все они были разделены на четыре группы – сеголеток (0+), двухлеток (1+), трёх-пятилеток (2+ - 4+) и шести-восьмилеток (5+ - 7+), представители которых различаются размерами, численностью, сроками нахождения в приливно-отливной зоне и держатся преимущественно в разных её горизонтах [Токранов, Железняк, 2023]. Статистическую обработку полученных результатов осуществляли по общепринятой методике [Лакин, 1980].

### Результаты исследований

В период с апреля по сентябрь 2014-2023 гг. во время проведения обловов на трёх обследованных участках приливно-отливной зоны северо-восточной части Авачинской губы зарегистрировано всего 7 видов рыб, среди которых абсолютно доминировал бурый морской петушок, составлявший около 99,48% по численности. Мраморный керчак, длиннобрюхий маслюк и трёхзубый липарис попадались, как правило, единично, в связи с чем, доля каждого из них в уловах на всех трех участках суммарно не превышала 0,11-0,25% по численности. Ещё три вида (глазчатый опистоцентр *Opisthocentrus ocellatus*, полосатый маслюк *Pholis fasciata*, круглонерый липарис *Liparis cyclopus* и рыба-лягушка *Aptocyclus ventricosus*) встречались крайне редко, к тому же последний из них - исключительно в виде личинок.

Анализ состава пищи доминирующего в галечно-валунных биотопах обследованных участков литорали Авачинской губы бурого морского петушка длиной 16-143 мм в возрасте от сеголетка (0+) до восьмилетка (7+) и трёх других, чаще всего попадавшихся в приливно-отливной зоне представителей ихтиофауны – сеголеток мраморного керчака размером 32-103 мм, разновозрастных особей длиннобрюхого маслюка (52-201 мм) и трёхзубого липариса (28-91 мм), свидетельствует, что все они здесь питаются преимущественно (бурый морской петушок и трёхзубый липарис) или исключительно (мраморный керчак и длиннобрюхий маслюк) довольно многочисленными бокоплавами (табл. 1), среди которых доминирует *Anisogammarus tiuschovi*. Однако, размеры этих ракообразных, используемых в пищу каждым из 4 видов, несколько различаются. Наиболее многочисленный бурый морской петушок

потребляет бокоплавов длиной в основном 2-15 мм (93,2 % от общего числа), мраморный керчак – 3-16 мм (92,1 %), длиннобрюхий маслюк - 6-7 мм (80 %), трёхзубый липарис – 11-13 мм (60 %), что, по-видимому, обусловлено величиной раскрытия рта, а также размерами и подвижностью самих рыб.

Согласно литературным данным [Мурашева, Токранов, 2019], бурый морской петушок в Авачинской губе является мезобентофагом, использующим в пищу различных мелких донных беспозвоночных. Несмотря на довольно широкий спектр питания, включающий представителей 10 систематических групп животных и водорослей, главными кормовыми объектами этому виду стихеевых рыб в приливно-отливной зоне Авачинской губы, как и в других районах обитания, служат бокоплавы, доля которых в период с апреля по сентябрь варьирует от 65,9 до 89,1 % по массе, составляя в среднем за десятилетний период наблюдений 81,7% (табл. 1).

Таблица 1. Состав пищи (в % по массе) четырёх видов рыб, наиболее часто встречавшихся на обследованных галечно-валунных участках приливно-отливной зоны северо-восточной части Авачинской губы в апреле-сентябре 2014-2023 гг.

Кормовой организм	Вид			
	Бурый морской петушок	Трёхзубый липарис	Мраморный керчак	Длиннобрюхий маслюк
Polychaeta	6,0	2,0	-	-
Amphipoda	81,7	98,0	100	100
Bivalvia	9,4	-	-	-
Chironomidae, larvae	1,1	-	-	-
Pisces, juv	0,9	-	-	-
Прочие	0,9	-	-	-
Количество, экз.	1531	19	48	21

Хотя особи всех возрастных групп бурого морского петушка от сеголеток до восьмилеток обитают с конца июня до октября в одном и том же биотопе, а основными пищевыми объектами им служат бокоплавы, результаты наших исследований свидетельствуют, что размеры этих ракообразных в составе пищи сеголеток, двухлеток и трёх-восьмилеток данного вида существенно различаются. По-видимому, это связано с большими линейными размерами и шириной раскрытия рта рыб старшего возраста, а также с возрастающей подвижностью крупных особей бурого морского петушка, позволяющей им захватывать добычу значительной величины, в отличие от двухлеток, а тем более сеголеток.

По материалам, собранным в 2014-2023 гг. и включающим бурого морского петушка всех возрастных групп от сеголеток до восьмилеток, мы проанализировали пищевые взаимоотношения его особей разного возраста в приливно-отливной зоне Авачинской губы. Наибольшее сходство в составе пищи у рыб всех возрастных групп обусловлено за счёт потребления ими бокоплавов, которое между сеголетками и двухлетками составляет около 82%, а между сеголетками-двухлетками и более старшими особями - почти 55% по массе, тогда как сходство по всем остальным кормовым организмам между сеголетками и двухлетками не превышает 3,4%, а между двухлетками и трёх-восьмилетками – 14,3% по массе. Однако, анализ размерного состава бокоплавов, используемых в пищу бурым морским петушком разного возраста, свидетельствует, что его сеголетки, двухлетки, трёх-пятiletки и шести-восьмилетки питаются особями этих ракообразных в значительной степени разной величины. Рассчитав относительную долю по массе бокоплавов каждой размерной группы через 1 мм в пище особей бурого морского петушка разного возраста, мы оценили степень сходства потребляемых ими кормовых организмов с учётом данного показателя. Как

оказалось, рассчитанная таким образом величина сходства состава пищи трёх-пятилеток и шести-восьмилеток этого вида составляет 58%, двухлеток и трёх-восьмилеток – чуть более 34%, а всех их вместе и сеголеток – всего 13,7% по массе (рис. 2). С учётом того, что разновозрастные особи бурого морского петушка в летние месяцы держатся преимущественно в различных горизонтах литорали [Токранов, Железняк, 2023], а также возможно большего разнообразия видового состава используемых в пищу бокоплавов, в действительности степень сходства состава пищи его разновозрастных особей, по всей видимости, ещё ниже полученных нами расчётных величин. На основании этого можно сделать вывод, что, несмотря на обитание в летние месяцы в одном и том же биотопе, некоторая пространственная разобщённость и потребление кормовых организмов (главным образом, бокоплавов) разного размера, позволяет особям бурого морского петушка избегать пищевой конкуренции и более эффективно использовать кормовые ресурсы приливно-отливной зоны.

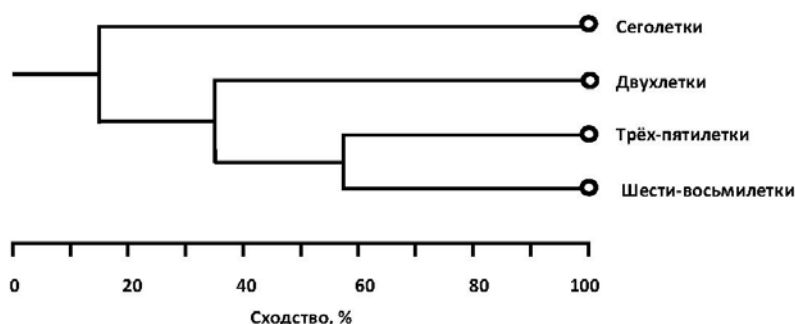


Рис. 2. Дендрограмма сходства состава пищи (в % по массе) разновозрастных особей бурого морского петушка на обследованных галечно-валунных участках Авачинской губы в апреле-сентябре 2014-2023 гг.

### Заключение

Результаты анализа материалов, собранных в процессе десятилетнего мониторинга в апреле-сентябре 2014-2023 гг. в приливно-отливной зоне северо-восточной части Авачинской губы (юго-восточная Камчатка), позволяют сделать вывод, что все четыре исследованных представителя ихтиофауны – бурый морской петушок, трёхзубый липарис, мраморный керчак и длиннобрюхий маслюк, которые встречаются в галечно-валунных биотопах приливно-отливной зоны этого водоёма, питаются здесь преимущественно (два первых вида) или исключительно (два последних) довольно многочисленными бокоплавами, среди которых доминирует *Anisogammarus tiuschovi*. Анализ пищевых отношений разновозрастных особей (от сеголеток до восьмилеток) бурого морского петушка - наиболее массового в период с апреля по сентябрь на галечно-валунных участках приливно-отливной зоны Авачинской губы представителя литоральной ихтиофауны, свидетельствует, что, несмотря на обитание в эти месяцы в одном и том же биотопе, некоторая пространственная разобщённость (сеголетки держатся на удалении не более 0,5 м, двухлетки – до 1 м, а трёх-семилетки – почти до 2 м от уровня максимального отлива) и потребление объектов питания (прежде всего бокоплавов) разного размера, позволяют им избегать напряжённых пищевых отношений, эффективно используя кормовые ресурсы литорали.

### Список литературы:

1. Лакин Г.Ф. Биометрия. - М.: Высшая школа, 1980. - 292 с.
2. Методическое пособие по изучению питания и пищевых отношений рыб в естественных условиях. - М.: Наука, 1974. - 254 с.

3. Мурашева М.Ю., Токранов А.М. Особенности питания бурого морского петушка *Alectrias alectrolophus* (Stichaeidae) в Авачинской губе (Восточная Камчатка) // Вопросы ихтиологии. – 2019. – Т. 59. - № 1. – С. 54-59. DOI: 10.1134/S0042875219010089
4. Токранов А.М., Железняк М.Ю. Питание и внутривидовые пищевые взаимоотношения бурого морского петушка *Alectrias alectrolophus* (Stichaeidae) в приливно-отливной зоне Авачинской губы (Юго-Восточная Камчатка) // Вестник КамчатГТУ. - 2023. - Вып. 64. - С. 76-89. DOI: 10.17217/2079-0333-2023-64-76-89
5. Токранов А.М., Мурашева М.Ю. Изменение ихтиофауны Авачинской губы (Юго-Восточная Камчатка) в результате антропогенного воздействия и трансформации прибрежных ландшафтов // Трёшниковские чтения-2018: Современная географ. картина мира и технологии географ. образования: Матер. всерос. науч.-практ. конф. (Ульяновск, 29-30 марта 2018 г.). - Ульяновск: ФГБОУ ВО «УлГПУ им. И.Н. Ульянова», 2018. – С.207-208.

УДК 51-76

Рубрика 34.03.23

## МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА БИООБРАСТАНИЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО ПЛАСТИКОВОГО ФРАГМЕНТА В УСЛОВИЯХ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ

## SIMULATION OF BIOFOULING OF A CYLINDRICAL PLASTIC FRAGMENT IN THE BALTIC SEA

**Соколов Андрей Николаевич**

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва; Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта, Калининград*

**Sokolov Andrei Nikolaevich**

*Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow; Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad*

### **Введение**

Загрязнение окружающей среды пластиком является одной из главных проблем нашего времени. Поскольку пластиковые фрагменты входят в состав большинства берегозащитных сооружений, полное или частичное разрушение последних может приводить к попаданию пластиковых фрагментов в прибрежные воды. Дальнейшая судьба пластиковых фрагментов, попавших в морскую среду зависит от множества факторов, одним из которых может быть биообрастание. Поскольку материал пластика и постепенно образующийся биослой имеют разную плотность, биообрастание вызывает изменение плавучести пластиковых фрагментов в результате чего вероятность удаления последних от источника зарождения в результате переноса волнами и течениями может существенно меняться.

Первым этапом на пути исследования влияния биообрастания на поведение пластиковых фрагментов в разных гидродинамических условиях является оценка скорости образования биослоя на их поверхности. В данной работе такая оценка делается на примере пластиковой оболочки габионной сетки, широко используемой в берегозащитных сооружениях Калининградской области. Скорость и характер изменения толщины биопленки зависит, очевидно, от видового состава микро- и макро-организмов и концентрации их в морской воде. Кроме того, важны такие характеристики, как скорость роста и отмирания биоматериала, которые, в свою очередь, зависят от температуры, солености, освещенности и других параметрах окружающей среды и могут меняться на несколько порядков.

### **Материалы и методы**

Простейшая модель биообрастания любого свободно плавающего предмета в морской среде должна учитывать возможность образования первичного биослоя на предмете, определяемую частотой столкновений его с микроводорослями и последующую колонизацию предмета биотой. В работе [1] была рассмотрена простейшая модель, когда рост колонии микроорганизмов, осевших на предмете проходил по экспоненциальному закону. Поскольку в реальности внешние факторы и внутривидовая конкуренция всегда со временем ограничивают экспоненциальный рост, логичным продолжением и приближением к истине

кажется замена этого простейшего экспоненциального приближения широко известной моделью Ферхюльста.

Коротко говоря, для описания процесса биообрастания, свободно плавающего в морской среде цилиндрического фрагмента с длиной  $L$ , которая считается постоянной, предлагается использовать систему уравнений:

$$\begin{cases} \frac{dA(t)}{dt} = \frac{\beta_A C_A}{S(t)} + (\mu - m)A(t) - \frac{(\mu - m)}{K} (A(t))^2 \\ S(t) = \pi \cdot L \cdot D(t) \end{cases} \quad (1)$$

Здесь,  $(A(t), \text{шт./м}^2)$  – количество микроводорослей на единице площади поверхности фрагмента в произвольный момент времени;  $(\beta_A, \text{м}^3/\text{с})$  – коэффициент, характеризующий частоту столкновений частиц микроводорослей с фрагментом;  $(S(t), \text{м}^2)$  – площадь внешней поверхности фрагмента с учетом биообрастания;  $(C_A, \text{шт./м}^3)$  – количество микроводорослей в одном кубометре водной среды;  $\mu$  и  $m$  – коэффициенты, характеризующие скорости роста и отмирания водорослей соответственно ( $1/\text{с}$ );  $(K, \text{шт./м}^2)$  – емкость экологической ниши модели Ферхюльста;  $(D(t), \text{м})$  – толщина слоя биообрастания.

Первое слагаемое правой части уравнения (1) определяет рост толщины слоя за счет столкновений фрагмента с плавающими микроводорослями [2], второе описывает экспоненциальный рост колонии, а последнее ограничивает возможности роста в соответствии с моделью Ферхюльста.

Решение системы (1) производится численно, по явной схеме метода Эйлера. Предполагается, что в начальный момент времени микроводоросли на субстрате отсутствуют:  $A(0)=0$ , а затем колония растет послойно, т.е. на каждом шаге по времени толщина биослоя возрастает на какую-то величину. Соответственно увеличивается эффективный диаметр  $D(t)$  и, площадь поверхности фрагмента  $S(t)$ . Предполагается, что видовой состав колонии не меняется. Соответственно, все числовые параметры системы (1) являются константами. Кроме значений параметров, явно фигурирующих в системе (1), для вычисления количества микроводорослей на следующем шаге по времени мы должны знать численные значения параметров, скрытых в толщине слоя биообрастания  $D(t)$ . Можно показать [1], что для цилиндрического фрагмента постоянной длины  $D(t) = 2A(t) \cdot V_A + \sqrt{(2A(t) \cdot V_A)^2 + D_p^2}$ , где  $V_A$  – объем одной микроводоросли, а  $D_p$  – исходный диаметр цилиндрического фрагмента.

Очевидно, что для начала процесса формирования колонии микроорганизмов на свободно плавающем фрагменте, эти микроорганизмы должны присутствовать в воде, причем желательно в достаточно большом количестве. Для Балтийского моря характерны два периода "цветения", весенний и летний, когда концентрация потенциальных "колонизаторов" субстрата достаточно высока. В работе [3] отмечается, что в прибрежной зоне моря в мае интенсивное цветение воды вызывают динофитовые водоросли, главным образом *Peridiniella catenata*; в июле–августе – синезеленые, в основном *Aphanizomenon flos-aquae* и *Nodularia spumigena*. Типичное содержание биомассы ( $V$ ) в кубометре морской воды в период весеннего цветения составляет порядка  $100 \text{ мм}^3$ , а в период летнего – порядка  $200 \text{ мм}^3$  [4].

Для оценки числовых параметров и последующего решения системы (1) ограничим рассмотрение двумя случаями: 1) весеннее цветение *Peridiniella catenata* и 2) летнее цветение *Aphanizomenon flos-aquae*. В таблице 1 сведены параметры (осредненные значения), необходимые для выполнения расчетов со ссылками на литературу, откуда они получены.

Следует отметить, что рекомендуемые численные значения для  $K$  в литературе найти не удалось и представленные в таблице 1 значения были выбраны такими, чтобы рост колонии к 20-му существенно замедлился, обеспечивая удовлетворительное совпадение с данными натуральных экспериментов [7].



Табл. 1. Значения параметров, использованные при выполнении расчетов

Таксон	<i>Peridiniella catenata</i>	<i>Aphanizomenon flos-aquae</i>
Биообъем, $V_A$ , м <sup>3</sup> [5]	$5 \cdot 10^{-15}$	$1 \cdot 10^{-15}$
Концентрация, $C_A = V / V_A$ , шт./м <sup>3</sup> [4]	$2 \cdot 10^7$	$2 \cdot 10^8$
Учет столкновений, $\beta_A / S(t)$ м/с, [2]	$\sim D(t)$	$\sim D(t)$
Макс. скорость роста, $\mu - m$ , 1/с [6]	$2 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-6}$
Емкость эко-ниши, $K$ , шт./м <sup>2</sup> [7]	$1 \cdot 10^{11}$	$1 \cdot 10^{12}$

## Результаты

Все расчеты проводились в предположении, что биообрастанию подвергается свободно плавающий в морской среде цилиндрический пластиковый фрагмент длиной 70 мм и диаметром 2 мм. Результаты расчетов толщины биослоя от времени по рассматриваемой модели для динофитов представлены на рис. 1а, а цианобактерий – на рис. 1б. При внешнем сходстве графиков видно, что предельно достижимая толщина биослоя существенно различается: если для динофитовых водорослей она составляет менее 1 мм (т.е. меньше половины исходного диаметра пластикового фрагмента), то для синезеленых водорослей она превышает 2 мм. Следовательно, диаметр пластикового фрагмента с учетом обрастания цианобактериями может увеличиться более, чем в три раза.

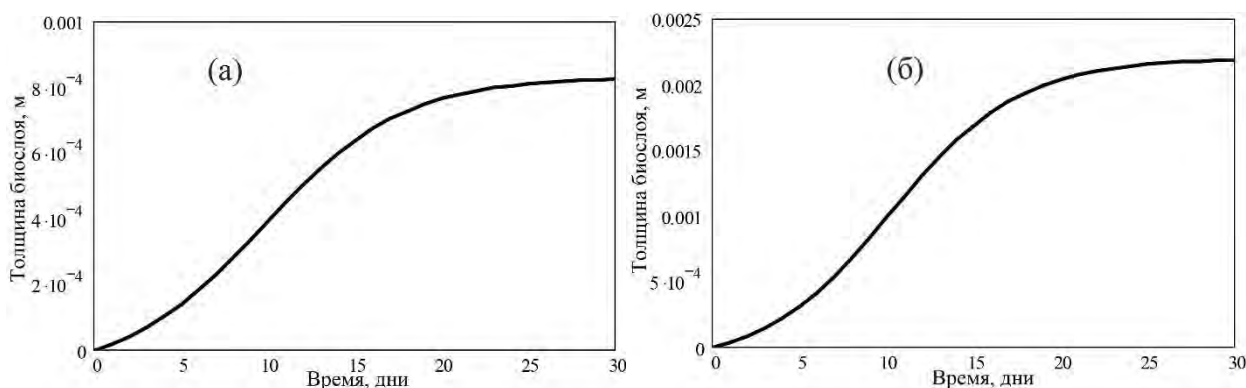


Рис. 1. Зависимость толщины биослоя от времени. (а) – в случае биообрастания динофитовыми водорослями; (б) – в случае биообрастания синезелеными водорослями.

Степень возможного потенциального увеличения диаметра очень важна с точки зрения оценки возможного поведения "биообросшего" объекта в морской среде. А именно, с точки зрения изменения его плавучести. Исходный пластиковый фрагмент имеет плотность чуть меньшую плотности воды Балтийского моря и, следовательно, обладает положительной плавучестью. Если плотность биослоя больше исходной плотности пластика, при определенной степени биообрастания положительная плавучесть сменится отрицательной, фрагмент утонет и, следовательно, перестанет транспортироваться волнами и течениями по акватории моря. Какая именно должна быть толщина биослоя для качественного изменения плавучести фрагмента, должно являться предметом последующих исследований. Однако, можно предположить, что весеннее биообрастание динофитами не приведет к изменению плавучести фрагмента с положительной на отрицательную, а летнее биообрастание цианобактериями может привести к такому кардинальному изменению свойств.

## Выводы

- 1) Применение модели Ферхюльста вместо простейшей модели экспоненциального роста дает инструмент, учитывающий целый комплекс факторов, влияющих на скорость роста биослоя на субстрате и дающий возможность после калибровки модельных параметров приблизиться к результатам, наблюдаемых в натуральных условиях.
- 2) Рассматриваемая модель позволяет оценить потенциально достижимые в тех или иных условиях толщины биослоя и, как следствие, оценить возможность качественного изменения гидродинамического поведения субстрата в водной среде.

## Финансирование

Работа выполнена в рамках государственного задания ИО РАН (тема FMWE-2021-0012).

## Список литературы:

1. Соколов А.Н., Чубаренко Б.В. Упрощенное представление процесса биообрастания для моделирования транспорта геосинтетических фрагментов в условиях Балтийского моря. // Наука юга России. – 2022. – Т. 18. – № 3. С. 35–42. doi: 10.7868/S25000640220305
2. Kooi M., Nes V., Scheffer M., Koelmans A. Ups and Downs in the Ocean: Effects of Biofouling on Vertical Transport of Microplastics. // Environmental Science and Technology. – 2017. – 51(14). – P. 7963–7971. doi: 10.1021/acs.est.6b04702
3. Оленина И.А. Результаты многолетних исследований фитопланктона юго-восточной Балтики и Куршского залива. // Ученые записки Казанского университета. Серия Естественные науки. – 2007. – Том 149. – кн. 3. – С. 237–241.
4. Olofsson M., Suikkanen S., Kobos J., Wasmund N., Karlson B. Basin-specific changes in filamentous cyanobacteria community composition across four decades in the Baltic Sea. // Harmful Algae. – 2020. – 91. – 101685. doi: 10.1016/j.hal.2019.101685
5. Olenina I., Hajdu S., Edler L., Andersson A., Wasmund N., Busch S., Göbel J., Gromisz S., Huseby S., Huttunen M., Jaanus A., Kokkonen P., Ledaine I., Niemkiewicz E. Biovolumes and size-classes of phytoplankton in the Baltic Sea. // HELCOM. Baltic Sea Environment Proceedings. – 2006. – 106. – 56 p.
6. Munkes B., Löptien U., Dietze H. Cyanobacteria blooms in the Baltic Sea: a review of models and facts. // Biogeosciences. – 2021. – 18. – P. 2347–2378. doi: 10.5194/bg-18-2347-2021
7. Grzegorzczak M., Pogorzelski S. J., Pospiech A., Boniewicz-Szmyt K. Monitoring of Marine Biofilm Formation Dynamics at Submerged Solid Surfaces with Multitechnique Sensors. // Frontiers in Marine Science. – 2018. – 5. – 363. doi: 10.3389/fmars.2018.00363

УДК 574.36

Рубрика 34.35.17

О СТАТИСТИЧЕСКОМ СРАВНЕНИИ ХАРАКТЕРА РОСТА ДВУСТВОРЧАТЫХ МОЛЛЮСКОВ

ABOUT STATISTICAL COMPARISON OF THE BIVALVE GROWTH CHARACTER

**Герасимова Александра Владимировна<sup>1</sup>, Максимович Николай Владимирович<sup>1</sup>, Филиппова Надежда Андреевна<sup>1</sup>, Иванова Татьяна Сослановна<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> – Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург

**Gerasimova Alexandra Vladimirovna<sup>1</sup>, Maximovich Nikolai Vladimirovich<sup>1</sup>, Filippova Nadezhda Andreevna<sup>1</sup>, Ivanova Tatyana Soslanovna<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> - St. Petersburg State University, St. Petersburg

### Введение

Сравнение ростовых характеристик двустворчатых моллюсков (и не только) – традиционная задача в классических гидробиологических исследованиях. Обычной практикой является использование для этих целей результатов реконструкции роста организмов с помощью различных моделей. Применяемые в подобных случаях критерии (положение кривых роста на графиках, значения параметров уравнений роста и т.п.) часто неполно отражают разброс эмпирических данных, дают лишь относительную оценку, и, соответственно, мало информативны при сопоставлении слабо различающихся возрастных рядов (последовательные изменения размеров животных с возрастом) (Максимович, 1989). Наиболее объективными в этом плане представляются способы, позволяющие проводить сравнение ростовых характеристик моллюсков с учетом разброса исходных данных. Уже более тридцати лет сотрудники кафедры ихтиологии и гидробиологии СПбГУ для подобных целей используют специально разработанный метод попарного статистического сравнения (классификации) возрастных рядов (Максимович, 1989). Однако предложенный алгоритм до сих пор не получил широкого распространения. Цель настоящего сообщения – подробное рассмотрение процедуры статистического сравнения ростовых показателей на примере анализа гетерогенности поселений беломорских *Macoma balthica* (Linnaeus, 1758) по характеру группового роста.

### Методы

Материал собран на Учебно-Научной Базе «Беломорская» Санкт-Петербургского Государственного университета, расположенной в устье губы Чупа (Кандалакшский залив, Белое море). Изучены показатели группового линейного роста *Macoma balthica* на двух участках в акваториях Керетского архипелага (Кандалакшский залив Белого моря), различающихся по прибойности и характеру донных отложений: 1 – илисто-песчаный пляж в неприбойной зоне полузамкнутой акватории в проливе Сухая Салма; 2 - песчаный пляж в прибойной зоне открытой акватории в бухте Ключиха. Основу грунта на обоих участках составил мелкий песок (от 62 % (1) до 90 % (2)). При этом мелкодисперсные фракции (алеuritы и пелиты) полностью отсутствовали в донных отложениях участка 2, а на участке

1 их доля была более 30 %. Наблюдения начаты в восьмидесятых годах прошлого века. Материал собирали отдельно в среднем (СГЛ) и нижнем (НГЛ) горизонтах литорали и в верхней (гл. 0,5 м) сублиторали (ВСЛ). Возраст и характер линейного роста маком определяли по результатам анализа внешней морфологии раковин. По данным разных лет наблюдений в каждом поселении (вертикальный горизонт) были определены средние размеры моллюсков в периоды первых шести годовых остановок роста. Всего было измерено 6758 особей.

Предлагаемый способ представляет попарное статистическое сравнение возрастных рядов, выровненных с использованием теоретических моделей, и объединение рядов в группы с применением классификационной процедуры. Для аппроксимации возрастных рядов в рассматриваемом алгоритме предложены две модели:

1. линейная модификация уравнения Берталанфи:

$$L_t = L_\infty (1 - \exp^{-k(t-t_0)})$$

где  $L_t$  - длина раковины особей в возрасте  $t$ , мм;  $L_\infty$ ,  $k$  и  $t_0$  - коэффициенты.

2. уравнение прямой линии.

Уравнение Берталанфи наиболее часто используется для реконструкции ростовых показателей моллюсков на протяжении жизненного цикла. Однако его применение накладывает на возрастные ряды определенные ограничения. Данная модель не подходит для аппроксимации эмпирических данных, в которых отсутствует информация о скорости роста на поздних этапах онтогенеза, т.е. не соблюдается условие экспоненциального снижения темпа роста с возрастом. В этом случае (моллюски растут практически линейно), для аппроксимации возрастных рядов вполне адекватным представляется использование линейной регрессии.

Собственно метод состоит в сопоставлении величин остаточной дисперсии, получаемых при описании каждого из двух сравниваемых возрастных рядов собственной регрессионной моделью ( $S_1^2 = (SS_1 + SS_2)/(n_1 - 3 + n_2 - 3)$ ) и при проведении аналогичных расчетов по общему уравнению ( $S_2^2 = SS/n_1 + n_2 - 3$ ). Значимость различий между дисперсиями определяется по критерию Фишера  $F = S_2^2/S_1^2 > F_{кр}$ . В качестве меры расстояния между сравниваемыми возрастными рядами используется частное от деления  $F$ -критерия на его критическое значение ( $F_{кр}$ ). Результаты сравнения каждой пары рядов представляются в виде матрицы, исследование которой осуществляется с помощью кластерного анализа. В матрице значения  $F/F_{кр}$  меньше 1 свидетельствуют о том, что на выбранном уровне значимости (в данной работе -  $\alpha < 0,05$ ) различия между рядами случайны. Объединение элементов матрицы можно осуществить двумя способами: на основе взвешенного и невзвешенного парногрупповых методов с определением в каждом конкретном случае параметров общего уравнения, суммы квадратов отклонений всех входящих в данный кластер рядов от общей теоретической линии и остаточной дисперсии. Результаты кластерного анализа для наглядности представляют в виде дендрограмм. Для проведения всех расчетов авторами сообщения разработана специальная компьютерная программа.

## Результаты и обсуждение

В изученном районе Белом моря максимальные размеры и продолжительность жизни маком были 14-19 мм и 7-8 лет соответственно. Однако скорость группового роста в разных поселениях не отличалась однородностью. Так, средние размеры моллюсков в пятую годовую остановку роста в отдельных местообитаниях варьировали почти в полтора раза –

от 8 мм (СГЛ Участка 5) до 12,4 мм (ВСЛ участка 2). Для статистического сравнения групповых возрастных рядов последние были аппроксимированы с помощью уравнения прямой линии. Для каждого ряда определены параметры модели и суммы квадратов отклонений эмпирических данных от линии регрессии.

Сравнение остаточной дисперсии всего статистического комплекса относительно общей модели роста (табл. 1) с остаточной дисперсией, рассчитанной при описании характера роста макров в поселениях отдельными уравнениями, показало неслучайность расхождения между возрастными рядами ( $F/F_{кр}=4.2$ ). Для выявления причин такой неоднородности проведено попарное сравнение возрастных рядов, результаты которого представлены в виде матрицы индексов  $F/F_{кр}$  (табл. 2). При объединении элементов матрицы использован взвешенный парногрупповой метод, по итогам которого построена дендрограмма (рис. 1).

Таблица. 1. Оценка достоверности различий остаточных дисперсий относительно моделей роста

источник вариации	$\nu$	$SS$	$s^2$	$F$	$F_{кр.}$	$F/F_{кр.}$
Общее уравнение	33	45.5	1.4	8.1	1.9	4.2
Отдельные уравнения	23	3.9	0.2			

Примечание:  $\nu$  – число степеней свободы ( $\nu = \sum n_i - 2$ , где  $n_i$  – количество вариантов, использованных при расчете параметров  $i$ -го уравнения);  $SS$  - сумма квадратов отклонений;  $s^2$  - остаточная дисперсия;  $F$  - статистика;  $F_{кр.}$  - критическое значение критерия Фишера ( $\alpha < 0,05$ )

Таблица 2. Матрица индексов  $F/F_{кр.}$

Возрастной ряд:	СГЛ_1	НГЛ_1	ВСЛ_1	СГЛ_2	НГЛ_2
НГЛ_1	0.25				
ВСЛ_1	1.19	1.04			
СГЛ_2	6.40	4.67	3.74		
НГЛ_2	1.03	0.98	1.95	1.64	
ВСЛ_2	0.53	0.57	1.52	2.42	0.34

Обозначения возрастных рядов: горизонт литорали\_номер участка.

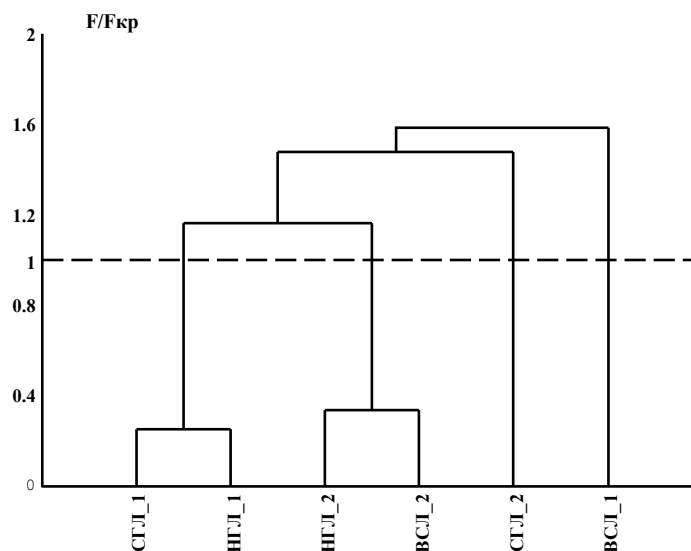


Рис. 1. Дендрограмма сходства групповых возрастных рядов *Macoma balthica* в изученных поселениях. По оси ординат - отношение  $F/F_{кр}$ .; обозначения поселений: горизонт литорали\_участок.

В результате выделены две группы рядов, объединяющие особей с достоверно не различающимися ростовыми показателями, и два ряда, не вошедшие ни в одно объединение. Последние характеризовали групповой рост как наиболее быстрорастущих макром - из сублиторальной зоны илисто-песчаного пляжа (участок 2), так и самых медленно растущих моллюсков - из средней литорали песчаного пляжа (участок 5) (рис. 2). Статистически значимые различия выявлены в характере роста *Macoma balthica* из осушной зоны илисто-песчаного участка и из НГЛ и ВСЛ песчаного пляжа (см. рис. 1).

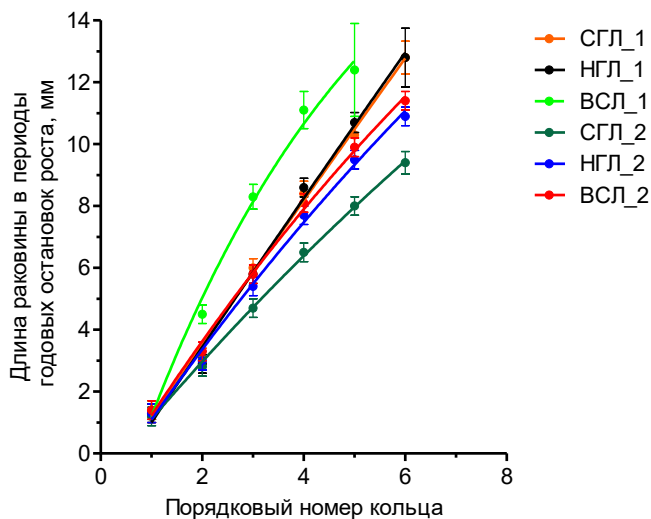


Рис. 2. Реконструкция группового линейного роста *Macoma balthica* в анализируемых поселениях. Точки – средние длины раковины в периоды годовых остановок роста; вертикальные линии – границы 95 % доверительного интервала; обозначения поселений: горизонт литорали\_номер участка.



По итогам анализа прослеживается влияние на рост маком как состава донных отложений, так и продолжительности осушения. В целом, средняя скорость роста моллюсков с песчаного пляжа во всех вертикальных горизонтах была ниже соответствующих аналогичных показателей моллюсков из илисто-песчаного биотопа (см. рис. 1), что вполне согласуется с известными литературными данными (Wenne, Klusek, 1985). В качестве наиболее вероятной причины вариабельности характера роста маком в разных местообитаниях одной и той же акватории многие исследователи называли условия питания (Beukema et al., 1977; Kube et al., 1996). Косвенной характеристикой обилия детрита (основной пищи маком) может служить гранулометрический состав донных отложений. Описана положительная корреляция скорости роста маком и доли мелкозернистой фракции в грунте (Kube et al., 1996). Негативное влияние на рост *Macoma balthica* продолжительного осушения (ограниченное время для питания, резкие колебания условий среды) также известно из литературы (Harvey, Vincent, 1990).

### **Заключение**

Таким образом, вполне очевидны преимущества представленного алгоритма статистического сравнения характера роста двустворчатых моллюсков:

1. Основой сравнительного анализа являются эмпирические данные;
2. Результаты сравнения относительно легко трактовать с экологической точки зрения;
3. Существенно облегчается процедура сравнения индивидуальных ростовых характеристик моллюсков, когда сопоставление нескольких десятков возрастных рядов удается свести к рассмотрению нескольких (как правило, трех-четырех) моделей роста (Gerasimova et al., 2016; Gerasimova et al., 2018).

### **Благодарность**

Авторы благодарят руководство Учебно-научной базы «Беломорская» за предоставленную возможность выполнения данной работы.

### **Финансирование**

Исследование выполнено при поддержке гранта РФФИ № 23-24-00204, <https://rscf.ru/project/23-24-00204/>

### **Список литературы**

1. Максимович, Н.В. Статистическое сравнение кривых роста // Вестник Ленинградского университета. Серия 3. 1989. Вып. 4. № 24. С. 18-25.
2. Beukema, J.J., Cadee, G.C., Jansen, J.J. Variability of growth rate of *Macoma balthica* (L.) in the Wadden Sea in relation availability of food // Biology of Benthic Organisms. 11<sup>th</sup> Eur. Symp. Mar. Biol. Oxford: Pergamon Press, 1977. P. 69-77.
3. Gerasimova, A.V., Martynov, F.M., Filippova, N.A., Maximovich, N.V. Growth of *Mya arenaria* L. at the northern edge of the range: heterogeneity of soft-shell clam growth characteristics in the White Sea // Helgoland Marine Research. 2016. Vol. 70. N 6. P. 1-14.

4. Gerasimova, A.V., Ushanova, E.V., Filippov, A.A., Filippova, N.A., Stogov, I.A., Maximovich, N.V. Long-term changes in cohort structure of the soft-shell clam *Mya arenaria* in the White Sea: growth rate affects lifespan and mortality // Marine Biology Research. 2018. Vol. 14. N 1. P. 51-64.
5. Harvey, M., Vincent, B. Density, size distribution, energy allocation and seasonal variations in shell and soft tissue growth at two tidal levels of a *Macoma balthica* (L.) population // Journal of Experimental Marine Biology and Ecology. 1990. Vol. 142. N 3. P. 151-168.
6. Kube, J., Peters, C., Powilleit, M. Spatial variation in growth of *Macoma balthica* and *Mya arenaria* (Mollusca, Bivalvia) in relation to environmental gradients in the Pomeranian Bay (southern Baltic Sea) // Archive of fishery and marine research. 1996. Vol. 44. N 1-2. P. 81-93.
7. Wenne, R., Klusek, Z. Longevity, growth and parasites of *Macoma balthica* (L.) in the Gdansk Bay (South Baltic) // Polskie Archiwum Hydrobiologii/Polish Archives of Hydrobiology. 1985. Vol. 32. N 1. P. 31-45.

УДК 574.583

Рубрика 34.35.33

СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА СТРУКТУРЫ ФИТОПЛАНКТОНА МЕРОМИКТИЧЕСКОГО ОЗЕРА ЕЛОВОЕ, ОТДЕЛЕННОГО ОТ БЕЛОГО МОРЯ, В 2021 Г.

SEASONAL DYNAMICS OF PHYTOPLANKTON STRUCTURE IN MEROMICTIC LAKE ELOVOE, SEPARATED FROM THE WHITE SEA, IN 2021

**Иванова Дарья Андреевна<sup>1,2</sup>, Краснова Елена Дмитриевна<sup>3</sup>, Воронов Дмитрий Анатольевич<sup>4</sup>, Радченко Ирина Георгиевна<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> МГУ им. М. В. Ломоносова, г. Москва

<sup>2</sup> Институт микробиологии им. С. Н. Виноградского ФИЦ Биотехнологии РАН, г. Москва

<sup>3</sup> ББС им. Н. А. Перцова МГУ им. М. В. Ломоносова, пос. Приморский, респ. Карелия

<sup>4</sup> ИППИ РАН им. А. А. Харкевича, г. Москва

**Ivanova Daria Andreevna<sup>1,2</sup>, Krasnova Elena Dmitrievna<sup>3</sup>, Voronov Dmitry Anatolyevich<sup>4</sup>, Radchenko Irina Georgievna<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Lomonosov MSU, Moscow

<sup>2</sup> Winogradsky Institute of Microbiology, Research Centre of Biotechnology RAS, Moscow

<sup>3</sup> Pertsov WSBS, Lomonosov MSU, Primorsky, Karelia

<sup>4</sup> Kharkevich IITP RAS, Moscow

## Введение

На побережье Белого моря в результате послеледникового поднятия земной коры (Романенко, Шилова, 2012) многие заливы отделяются от моря и превращаются в меромиктические озера (Краснова и др., 2016) с развитием отдельных сообществ фитопланктона в разных слоях. Один из таких водоемов – озеро Еловое (66°28'53" с.ш., 33°16'50" в.д.), которое располагается в 15 км от ББС МГУ им. Н. А. Перцова и является нижним в системе проточных озер, соединенных пресным ручьем. Длина озера составляет порядка 1000 м, ширина – 400 м, максимальная глубина – 5 м. Озеро полностью отделено от моря каменистым барьером, состоит из пресного поверхностного слоя (0,1-0,4‰) толщиной 0,5 м и соленой водной массы (16-25‰) в небольшой по площади яме глубиной 5,5 м. В соленой водной массе на горизонте 3-3,5 м находится хемоклин, выше которого условия аэробные, а ниже появляется сероводород. Эти слои сохраняются в течение нескольких лет, в силу чего озеро может считаться меромиктическим (Фролова и др., 2019). Сведений по развитию и распределению фитопланктона меромиктических озер мало, что определило изучение сезонной динамики структуры фитопланктона оз. Еловое в 2021 г.

## Материалы и методы

Для исследования фитопланктона отбирали пробы воды объемом до 1 л с помощью погружного насоса Whale Premium Submersible Pump GP1352 с разных горизонтов до границы с сероводородной зоной. Пробы фиксировали формалином с конечной концентрацией 2% и концентрировали методом обратной фильтрации. Клетки водорослей просчитывали в камере Нажотта на микроскопе МИКМЕД-6 при увеличении  $\times 200$  и  $\times 400$  в трех повторностях. Для расчета углеродной биомассы объемы клеток определяли методом геометрического подобия (Hillebrand et al., 1999) с последующим переводом в единицы углерода (Menden-Deuer, Lessard, 2000). Современную классификацию водорослей приводили по электронной базе данных <https://www.algaebase.org/>.

## Результаты

В период исследований с 20 марта по 2 октября 2021 г. в оз. Еловое было обнаружено 70 таксонов и групп таксонов водорослей, как морских, так и пресноводных, из которых 67 были определены до вида или рода, принадлежащих 11 классам: Bacillariophyceae (16), Coscinodiscophyceae (6), Mediophyceae (1), Dinophyceae (14), Oxyrrhodophyceae (1), Cyanophyceae (10), Chlorophyceae (9), Trebouxiophyceae (2), Zygnematoophyceae (5), Chrysophyceae (2), Dictyochophyceae (1). Остальные водоросли были отнесены к Euglenophyceae и Cryptophyceae.

Биомасса фитопланктона в столбе воды варьировала от 1,9 мг С/м<sup>2</sup> в конце марта до 57,4 мг С/м<sup>2</sup> в конце августа (рис. 1). Тип питания фитопланктона с преимущественно гетеротрофного в начале сезона наблюдений сменился в начале лета на преимущественно автотрофный и в конце лета – обратно на гетеротрофный; кроме того, осенью некоторый вклад вносили миксотрофные водоросли.

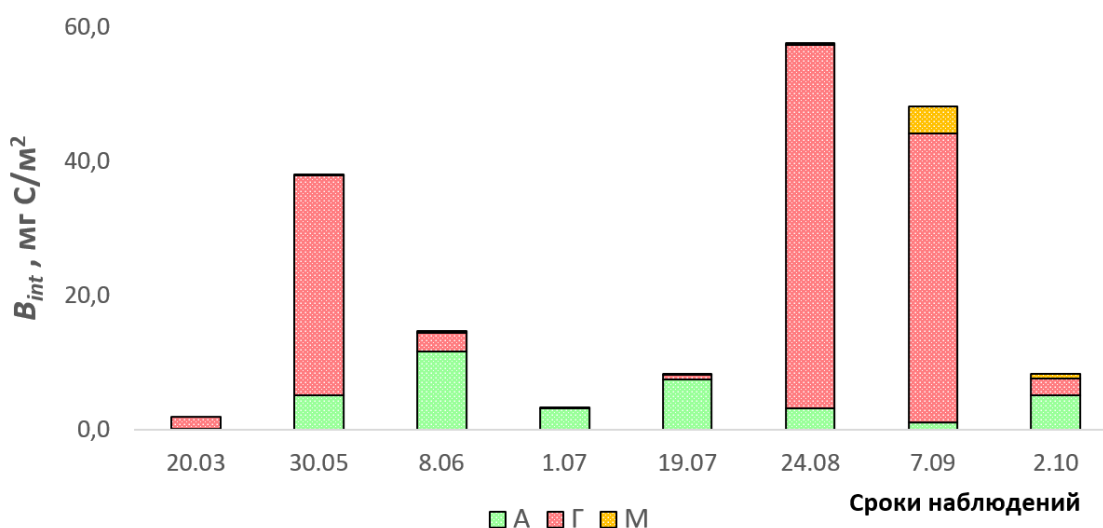


Рис. 1. Сезонная динамика биомассы фитопланктона в столбе воды ( $B_{int}$ ) в оз. Еловое и вклад в нее водорослей с разным типом питания в 2021 г. А – автотрофный, Г – гетеротрофный, М – миксотрофный

Наибольший вклад в биомассу вносили динофлагелляты, кроме июня-июля, когда преобладали диатомовые водоросли (рис. 2). Осенью в массе развивались также золотистые водоросли. Зеленые и зигнемофициевые водоросли, цианобактерии, криптомонады и

эвгленовые водоросли были минорными группами, чье присутствие в фитопланктоне варьировало в течение вегетационного сезона.

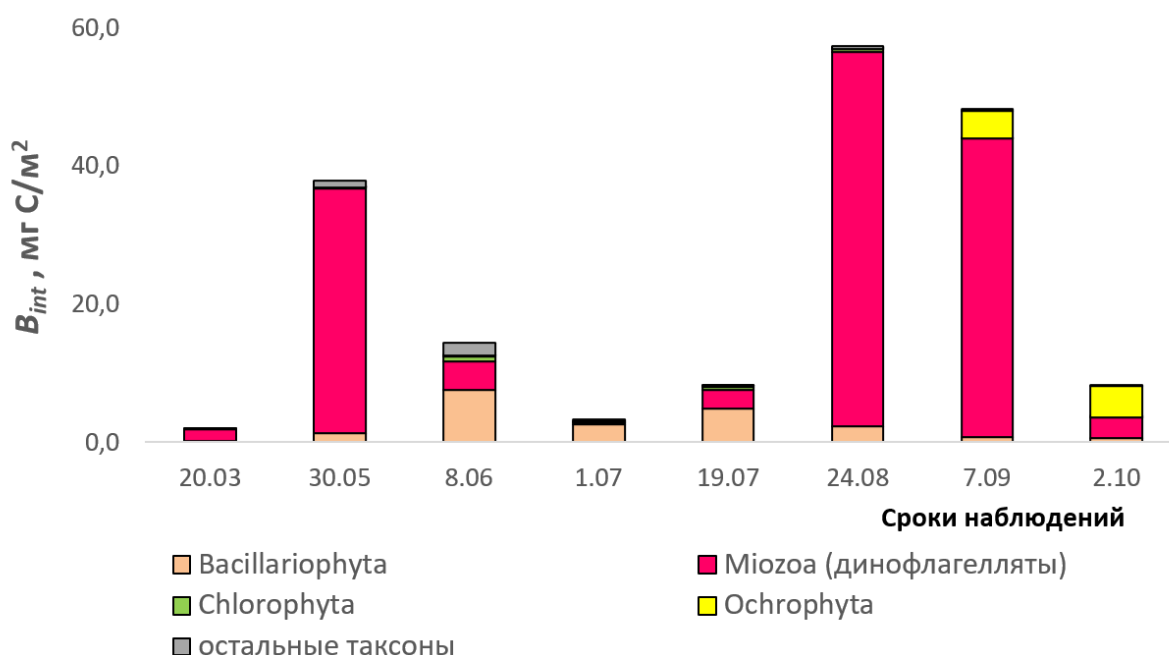


Рис. 2. Сезонная динамика биомассы фитопланктона в столбе воды ( $B_{int}$ ) в оз. Еловое и вклад в нее отдельных таксонов в 2021 г. Остальные таксоны: Cryptophyta, Euglenozoa, Charophyta, Cyanobacteria

Сезонная динамика биомассы имела три пика, которые приходились на конец мая, конец августа и начало сентября (рис. 1, 2). Доминантом во всех случаях выступала хищная динофлагеллята *Oxurhis marina*.

Обилие фитопланктона в оз. Еловое изменялось также и с глубиной. В период ледового покрытия и первое время после схода льда, наибольшие значения биомассы определяли водоросли хемоклина. При этом как в конце марта, так и в конце мая в этом слое преобладал *O. marina*, а в начале июня – уже эвгленовые водоросли и диатомея *Gyrosigma obscurum*.

В начале июля наибольшие значения биомассы фитопланктона отмечались в верхнем горизонте, где преобладали диатомовые водоросли *Tabellaria fenestrata* и *Melosira nummuloides*.

В середине июля биомасса фитопланктона концентрировалась как в верхнем слое, где доминировали диатомеи *T. fenestrata*, *Leptocylindrus minimus* и динофлагелляты *Gymnodinium aureolum*, *Parvodinium umbonatum*, так и в хемоклине, где в массе развивались динофлагелляты *Amphidinium crassum* и диатомея *M. nummuloides*.

С конца августа по октябрь наибольших значений биомасса фитопланктона достигала в хемоклине, где в августе-сентябре преобладал *O. marina*, который в октябре стал субдоминантом при массовой золотистой водоросли рода *Mallomonas*.

Таким образом, вертикальное распределение фитопланктона в оз. Еловое в 2021 г. имело выраженную слоистую структуру, а сезонная динамика биомассы характеризовалась весенним, летним и осенним увеличением, связанным с развитием *O. marina* над границей с сероводородной зоной.

## Финансирование

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (грант № 23-24-00208, Иванова Д.А. – исследование таксономического состава фитопланктона оз. Еловое, 2023 г.).

## Список литературы:

1. Краснова Е.Д., Воронов Д.А., Демиденко Н.А., Кокрятская Н.М., Пантюлин А.Н., Рогатых Т.А., Самсонов Т.Е., Фролова Н.Л., Шапоренко С.И. К инвентаризации реликтовых водоемов, отделяющихся от Белого моря // Комплексные исследования Бабьего моря, полуизолированной беломорской лагуны: геология, гидрология, биота – изменения на фоне трансгрессии берегов (Труды Беломорской биостанции МГУ). – 2016. – Т. 12. – С. 211–241.
2. Романенко Ф.А., Шилова О.С. Последледниковое поднятие Карельского берега Белого моря по данным радиоуглеродного и диатомового анализов озерно-болотных отложений п-ова Киндо // Доклады Академии наук. – 2012. – Т. 442. – № 4. – С. 544–548.
3. Фролова Н.Л., Краснова Е.Д., Ефимова Л.Е. Комплексные исследования водных объектов побережья Белого моря в период летних практик и зимних экспедиций НСО // Труды VII Международной научно-практической конференции “Морские исследования и образование (MARESEDU-2018)”. – 2019. – Т. 4. – С. 168–172.
4. Hillebrand H., Dürselen C.D., Kirschtel D., Pollinger U., Zohary T. Biovolume calculation for pelagic and benthic microalgae // Journal of phycology. – 1999. – Vol. 35. – № 2. – P. 403–424.
5. Menden-Deuer S., Lessard E.J. Carbon to volume relationships for dinoflagellates, diatoms, and other protist plankton // Limnology and oceanography. – 2000. – Vol. 45. – №3. – P. 569–579.



УДК 574.587-15(268.45)

Рубрика 34.35.33

ИЗМЕНЕНИЯ В СООБЩЕСТВАХ МЕГАБЕНТОСА БАРЕНЦЕВА МОРЯ ПОД  
ВЛИЯНИЕМ КАМЧАТСКОГО КРАБА И КРАБА-СТРИГУНА ОПИЛИО  
CHANGES IN BARENTS SEA MEGABENTHIC COMMUNITIES UNDER IMPACT OF  
RED KING CRAB AND SNOW CRAB

**Захаров Денис Васильевич<sup>1</sup>, Манушин Игорь Евгеньевич<sup>2</sup>, Йоргенсен Лиз Линдал<sup>3</sup>,  
Стрелкова Наталья Александровна<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург

<sup>2</sup> Полярный филиал ФГБНУ ВНИРО (ПИПРО им. А.М. Книповича), Мурманск

<sup>3</sup> Институт морских исследований, г. Тромсё

**Zakharov Denis Vasylevich<sup>1</sup>, Manushin Igor Evgenyevich<sup>2</sup>, Jørgensen Lis Lindal<sup>3</sup>,  
Strelkova Natalya Alexandrovna<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Zoological Institute of Russian Academy of Sciences, St. Petersburg

<sup>2</sup> Polar branch of the FSBSI VNIRO ("PINRO" named after N.M. Knipovich), Murmansk

<sup>3</sup> Institute of Marine Research, Bergen, Norway

### Введение

Появление новых видов в пределах баренцевоморского шельфа в последнее время – довольно частое явление. Как правило, это единичные находки, и влияние этих вселенцев на нативные сообщества носит преимущественно локальный и ограниченный характер. Исключение составляют камчатский краб (*Paralithodes camtschaticus* (Tilesius, 1815)) и краб-стригун опилио (*Chionoecetes opilio* (Fabricius, 1788)). В силу своих размеров они могут быть отнесены к категории мегабентоса, поэтому исследование их приловов в составе тралового бентоса представляет огромный интерес как в рамках изучения процесса их акклиматизации, так и связанной с ним динамикой бентосных сообществ в Баренцевом море.

Исследование основано на результатах количественно-таксономического анализа прилова беспозвоночных в 6010 тралениях стандартным учетным тралом «Campelen-1800», выполненных на акватории Баренцева моря в 2006-2020 гг. в ходе проведения совместной российско-норвежской экосистемной съемки на судах Полярного филиала ФГБНУ «ВНИРО» и Бергенского института морских исследований (Норвегия). Для анализа изменений, произошедших в сообществах мегабентоса за 15 лет, исследованный период разделен на три части 2006-2010, 2011-2015 и 2016-2020 гг. Станции, выполненные в каждый из указанных периодов и находящиеся на расстоянии не более 35 морских миль от узлов стандартной сетки станций, объединялись для последующего анализа. Станции, расположенные на большем расстоянии и не входившие в стандартную сетку тралений, были исключены из анализа.

### Результаты

Мониторинг, начатый в 2004-2005 гг., показал, что встречаемость краба-стригуна опилио и камчатского краба на акватории съемки находилась на уровне 1 % станций, далее их

встречаемость показала разную динамику. У краба-стригуна опилю она начала резко расти и к 2020 г. увеличилась практически в 30 раз. У камчатского краба она оставалась практически на прежнем уровне – 2 % до 2013 г. В 2004 г. площадь распространения видов составила у краба-стригуна опилю 20 тыс. км<sup>2</sup> и у камчатского краба 28 тыс. км<sup>2</sup> соответственно. К 2020 г. ареал краба-стригуна опилю достиг 831 тыс. км<sup>2</sup> (увеличившись более чем в 40 раз), в то время как площадь распространения камчатского краба выросла лишь в 6 раз, составив 176,1 тыс. км<sup>2</sup>.

По результатам K-means кластерного анализа было выделено 11 кластеров в первом, и по 12 кластеров во втором и в третьем анализируемых периодах (рис. 1 и табл. 1). В период 2006-2010 гг. краб-стригун опилю стремительно увеличивал свою численность в юго-восточной части Баренцева моря, достигнув субдоминирования (на фоне доминирования морской звезды *Stenodiscus crispatus*) в сообществах мягких грунтов в районе Гусиной банки (№6). К 2010 г. краб-стригун опилю уже локально преобладал по биомассе в уловах мегабентоса в этом районе.

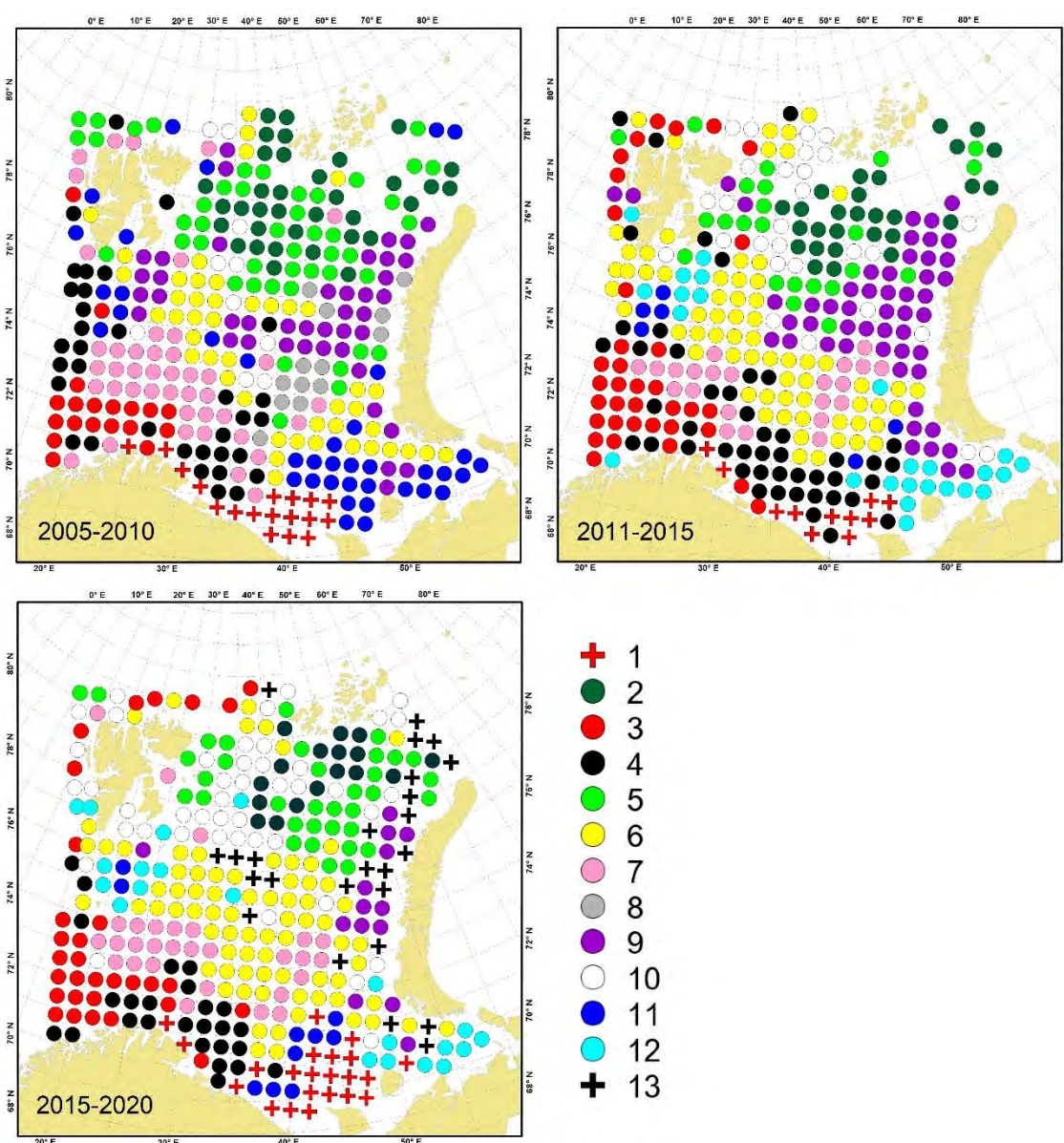





Рис. 1. Сообщества мегабентоса, выделенные в Баренцевом море и прилегающих водах по результатам исследований 2006-2010, 2011-2015 и 2016-2020 гг. Обозначения и описания сообществ приведены в табл. 1.

В 2011-2015 гг. краб-стригун опилио выходит на позиции субдоминанта в районе Новоземельского мелководья (№9) и к северу от Центральной банки (№5). В это время он присутствует в качестве субдоминанта практически во всех сообществах, развивающихся у архипелага Новая Земля. Площадь некоторых сообществ изменяется, например, морских ежей уменьшается (№9), морской звезды *Ctenodiscus crispatus* (№6) наоборот увеличивается. Поселения краба-стригуна опилио не постоянны, например, плотное скопление у Гусиной банки сильно уменьшилось, что связано с перераспределением скоплений. А перешедшие в районы Центральной возвышенности и южной части Новоземельского мелководья скопления краба-стригуна опилио наращивают свою долю в сообществах с 2006 г., а в северной части Новоземельского мелководья с 2009 г.

Таблица 1. Сообщества мегабентоса, выделенные в Баренцевом море в 2006-2010, 2011-2015 и 2016-2020 гг. Обозначение сообществ как на рис. 1. Приведены доминанты и субдоминанты с указанием доли от общей биомассы сообщества (%)

2006-2010 гг.		2011-2015 гг.		2016-2020 гг.	
Сообщества	Доминанты и субдоминанты	Сообщества	Доминанты и субдоминанты	Сообщества	Доминанты и субдоминанты
1 +	<i>Paralithodes camtschaticus</i> (55,0) Geodiidae (1,9) <i>Hippasteria phrygiana</i> (1,7)	1 +	<i>Paralithodes camtschaticus</i> (41,7) Suberitidae (1,8)	1 +	<i>Paralithodes camtschaticus</i> (61,2)
2 ●	<i>Gorgonocephalus</i> (14,8) <i>Ophiopleura borealis</i> (9,7) <i>Umbellula encrinus</i> (7,6) <i>Heliogetra glacialis</i> (7,3) <i>Ophiacantha bidentata</i> (5,8)	2 ●	<i>Ophiopleura borealis</i> (21,0) <i>Gorgonocephalus</i> (12,9) <i>Molpadia</i> (6,6) <i>Ophiacantha bidentata</i> (5,6) <i>Ophioscolex glacialis</i> (4,5)	2 ●	<i>Ophiopleura borealis</i> (24,3) <b><i>Chionoecetes opilio</i></b> (4,9) <i>Molpadia</i> (4,0) <i>Gorgonocephalus</i> (3,7)
3 ●	Geodiidae (75,4) <i>Parastichopus tremulus</i> (1,4)	3 ●	Geodiidae (67,2) Ancorinidae (4,9)	3 ●	Geodiidae (70,2) Ancorinidae (4,9)
4 ●	Actiniaria (57,4) Alcyonacea (7,0) Hormathiidae (5,1) <i>Hippasteria phrygiana</i> (3,5)	4 ●	Hormathiidae (8,7) Actiniaria (6,5) <i>Urasterias lincki</i> (6,2) <i>Ctenodiscus crispatus</i> (5,0)	4 ●	<i>Bolocera tuediae</i> (10,1) <i>Hippasteria phrygiana</i> (10,1) <i>Parastichopus tremulus</i> (8,2) Hormathiidae (5,0) <i>Molpadia</i> (4,5)
5 ●	<i>Gorgonocephalus</i> (48,8) Actiniaria (2,9) <i>Heliogetra glacialis</i> (2,8) <i>Ctenodiscus crispatus</i> (2,5)	5 ●	<i>Gorgonocephalus</i> (45,9) <i>Ctenodiscus crispatus</i> (4,2) <i>Sabinea septemcarinata</i> (3,1) <b><i>Chionoecetes opilio</i></b> (2,1)	5 ●	<i>Gorgonocephalus</i> (37,6) <b><i>Chionoecetes opilio</i></b> (13,0) <i>Ophiopleura borealis</i> (4,2) <i>Ophioscolex glacialis</i> (4,1)
6 ●	<i>Ctenodiscus crispatus</i> (23,7) <b><i>Chionoecetes opilio</i></b> (7,7) <i>Urasterias lincki</i> (7,0) <i>Icasterias panopla</i> (6,7)	6 ●	<i>Ctenodiscus crispatus</i> (39,6) <i>Icasterias panopla</i> (18,6) <i>Urasterias lincki</i> (10,0) <i>Sabinea septemcarinata</i> (8,7) Hormathiidae (5,8)	6 ●	<i>Ctenodiscus crispatus</i> (23,1) <i>Urasterias lincki</i> (9,6) <i>Icasterias panopla</i> (6,9) Polymastiidae (5,0) <b><i>Chionoecetes opilio</i></b> (4,4)
7 ●	Polymastiidae (10,6) Actiniaria (8,3) <i>Molpadia</i> (7,5) <i>Ctenodiscus crispatus</i> (6,2) Theneidae (4,1)	7 ●	<i>Molpadia</i> (24,8) <i>Ctenodiscus crispatus</i> (11,2) Polymastiidae (3,6) Theneidae (3,6)	7 ●	<i>Molpadia</i> (22,9) <i>Ctenodiscus crispatus</i> (12,3) <i>Batharca glacialis</i> (7,6) Polymastiidae (7,1)
8 ●	<i>Ciona intestinalis</i> (13,7) <i>Molpadia</i> (11,5) <i>Ctenodiscus crispatus</i> (4,3) <i>Strongylocentrotus</i> (4,3)				
9 ●	<i>Strongylocentrotus</i> (35,1) <i>Sabinea septemcarinata</i> (5,7) <i>Gorgonocephalus</i> (5,5) <i>Ctenodiscus crispatus</i> (3,6)	9 ●	<i>Strongylocentrotus</i> (34,4) <b><i>Chionoecetes opilio</i></b> (18,0) <i>Ctenodiscus crispatus</i> (9,2) <i>Urasterias lincki</i> (4,6) <i>Gorgonocephalus</i> (3,6)	9 ●	<i>Strongylocentrotus</i> (37,9) <b><i>Chionoecetes opilio</i></b> (9,9) <i>Gorgonocephalus</i> (1,7)
10 ○	<i>Heliogetra glacialis</i> (27,6) Actiniaria (6,0) <i>Sabinea septemcarinata</i> (3,7)	10 ○	<i>Gorgonocephalus</i> (7,9) <i>Sabinea septemcarinata</i> (6,4) <i>Heliogetra glacialis</i> (6,1) <i>Ophiacantha bidentata</i> (5,0) <i>Strongylocentrotus</i> (4,4) <i>Ctenodiscus crispatus</i> (4,1)	10 ○	<i>Heliogetra glacialis</i> (7,6) <i>Sabinea septemcarinata</i> (6) <i>Ctenodiscus crispatus</i> (5,6) <i>Chlamys islandica</i> (5,0) <i>Ophiacantha bidentata</i> (4,7) <i>Gorgonocephalus</i> (4,5)
11 ●	<i>Sabinea septemcarinata</i> (15,4) <i>Cucumaria frondosa</i> (12,7) <i>Sclerocrangon boreas</i> (7) <i>Hyas araneus</i> (6,4) <i>Balanus</i> (5,8)	11 ●	<i>Cucumaria frondosa</i> (32,0) <i>Microcosmus glacialis</i> (4,7) <i>Balanus</i> (1,9)	11 ●	<i>Cucumaria frondosa</i> (21,2) <b><i>Paralithodes camtschaticus</i></b> (13,8) Suberitidae (7,0) Hormathiidae (2,3)
		12	<i>Strongylocentrotus</i> (13,8)	12	<i>Strongylocentrotus</i> (16,2)



	<i>Strongylocentrotus</i> (5,4)		<i>Balanus</i> (10,4) <i>Chlamys islandica</i> (6,9) <i>Alcyonidium gelatinosum</i> (5,6) <i>Hyas araneus</i> (4,7)		<i>Balanus</i> (9,1) <i>Chlamys islandica</i> (6,9)
				13 	<i>Chionoecetes opilio</i> (35,3) <i>Ctenodiscus crispatus</i> (4,1) <i>Gorgonocephalus</i> (3,3)

В третий период (2016-2020 гг.) краб-стригун опилио уже доминирует в сообществах (№13) между архипелагами Новая Земля и Земля Франца-Иосифа на границе с Карским морем, на склонах Новоземельского мелководья и у Центральной банки и в Южно-Новоземельском желобе. Площадь сообществ с субдоминированием возросла и охватила акваторию от архипелагов Земля Франца-Иосифа и Новая Земля до возвышенности Персея, северную часть Печорского моря (№2, 5, 9). К югу от архипелага Земля Франца-Иосифа краб-стригун опилио выступает субдоминантом в сообществе офиуры *Ophiopleura borealis* (№2). На Новоземельском мелководье в сообществе морских ежей рода *Strongylocentrotus* (№9) (главным образом, *S. pallidus*) краб-стригун опилио выступает вторым по доминированию видом. В восточной части моря в сообществе офиур рода *Gorgonocephalus* (№5) и *Ophiopleura borealis* (№2), краб-стригун опилио занимает второе положение.

В период 2006-2010 гг. камчатский краб доминирует среди мегабентосных организмов в прибрежных водах Кольского п-ова, в районе Мурманского мелководья, и в водах, примыкающих к п-ову Канин (сообщество 1 на рис. 1 и в табл. 1). В сообществе губок (№3) у Восточного Мурмана и тепловодных видов (№4) у Западного Мурмана он выступает в качестве субдоминанта.

В период 2011-2015 гг. он все также доминировал в районе мыса Нордкап и водах Восточного Мурмана, но стал реже встречаться в прилогах в прибрежной области Западного Мурмана и Мурманского мелководья. Плотные скопления камчатского краба в районе южного склона Канинской банки расширились на восток к п-ову Канин.

В период 2016-2020 гг. область доминирования камчатского краба значительно расширилась в северо-восточном направлении, он уже доминировал в сообществах вокруг всего п-ова Канин, к северу и западу от о. Колгуев, вокруг Канинской банки и у Гусиной банки. В сообществе голотурии *Cicumaria frondosa* (№11) камчатский краб выступает в качестве первого субдоминанта в районах на юге Мурманской банки, на склонах Канинской банки и на юге Гусиной банки. Также он встречается, в ограниченном количестве, в сообществах губок рода *Geodia* (№3), тепловодных видов (№4), мелководных видов (№12) в Печорском море и даже в сообществе краба-стригуна опилио (№13) у южной оконечности архипелага Новая Земля (рис. 1 и табл. 1).

## Заключение

Полученные результаты показывают, что камчатский краб будет и дальше входить в состав сообществ юго-восточной части Баренцева моря. Краб-стригун опилио продолжит миграцию с востока в западную часть Баренцева моря вплоть до архипелага Шпицберген, где существуют сходные сообщества бентоса, в случае похолодания миграция пойдет более быстрыми темпами. Возможным сценарием может быть то, что мелководье архипелага Шпицберген станет новым центром воспроизводства популяции краба-стригуна в Баренцевом море вместе с нынешним центром у архипелага Новая Земля. Взаимная конкуренция между вселенцами, скорее всего, будет минимальной и наблюдаться лишь на стыке ареалов. При климатических флуктуациях ареалы крабов будут изменять в противофазе, при потеплении ареал камчатского краба будет расширяться, а краба-стригуна уменьшаться и наоборот.

## **Финансирование**

Материал для данной работы был собран в рамках Госзадания Полярного филиала ФГБНУ «ВНИРО» и Бергенского института морских исследований. Публикация подготовлена в рамках Госзадания ЗИН РАН № 122031100275-4.

УДК 574.589

Рубрика 34.33.15

РАЗНООБРАЗИЕ ЛЕДОВОЙ ФАУНЫ В ЗОНЕ КРОМКИ ЛЬДА КАРСКОГО МОРЯ  
ICE FAUNA DIVERSITY IN THE KARA SEA MARGINAL ICE ZONE

**Процюк Ярослава Петровна<sup>1</sup>, Тимченко Анна Игоревна<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> ААНИИ, Санкт-Петербург

<sup>2</sup> ИО имени П. П. Ширшова РАН, Москва

**Protsyuk Yaroslava Petrovna<sup>1</sup>, Timchenko Anna Igorevna<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> AARI, Saint-Petersburg

<sup>2</sup> Shirshov IO of the RAS, Moscow

### **Введение**

Карское море является краевым сибирским арктическим бассейном. Оно принимает в себя крупные пресноводные речные стоки и относительно теплые баренцевоморские и атлантические воды [Флинт, 2010]. В Карском море выделяют три ледяных массива: Новоземельский, Североземельский и Карский Северный. Новоземельский и Североземельский ледяные массивы формируются в основном локальными однолетними дрейфующими и припайными льдами, тогда как Карский Северный представлен однолетними льдами, за исключением северной части, где наблюдаются двухлетние и многолетние льды [Карклин и др., 2017].

Границу между ледяным покровом и открытой водной поверхностью называют зоной кромки льда. Зона кромки льда является очень динамичной областью и обычно состоит из пояса льдов сплоченностью от 15–80% и шириной в несколько десятков километров. В течение относительно короткого и интенсивного периода летом, вследствие цветения ледовых водорослей и фитопланктона в прикромочной зоне создается кормовая база для пелагических, ледовых и бентосных организмов [Краткий отчет Норвежского полярного института, 2018]. В толще и на нижней поверхности льда существуют полости, заполненные рассолом, в которых обитают различные группы организмов. Среди многоклеточных животных в арктических льдах чаще встречаются круглые и плоские черви, коловратки, ракообразные и кишечнополостные [Bluhm et al., 2017].

Наиболее подробно сведения о сообществах в зоне кромки льда в Баренцевом море и проливе Фрама представлены в работе [Краткий отчет Норвежского полярного института, 2018]. По сравнению с детальным исследованием фотосинтетических пигментов, фитопланктона, ледовых водорослей и подледной фауны в Баренцевом море [Nor et al., 2000; Engelsen et al., 2002; Макаревич и Олейник, 2017], изучение фауны льда в прикромочной зоне в арктических морях России проводится крайне редко [Тимченко и Портнова, 2023].

Целью данной работы является продолжение изучения разнообразия ледовой фауны в прикромочной зоне Карского моря в летний период.



## Материалы и методы

Пробы морского льда были отобраны в зоне кромки льда в рамках научно-образовательной программы «Плавающий университет» в ходе рейса НИС «Дальние Зеленцы» в июле 2023 года. Исследование было проведено в западной части Карского моря и в районе между архипелагами Земля Франца-Иосифа и Новая Земля (рис. 1).

Сбор морского льда проводился с борта судна при помощи ихтиологической сети. Затем пробы льда перемещали на горизонтальную поверхность и разделяли с помощью пилы на части – нижние 5 см. и последующие 10 см. Далее каждый сегмент перемещали в чистые пластиковые емкости и растапливали в темном помещении при температуре +1...+4 °С. Во время таяния льда добавляли, предварительно профильтрованную на сите с ячейей 2 мкм, морскую воду. После чего талую воду концентрировали на сите с ячейей 26 мкм и фиксировали DESS (диметилсульфоксид с хлоридом натрия и EDTA-Na<sub>2</sub>), или в 4% нейтральном формалине или 96% этанолом. Полученный материал просматривали в лаборатории под стереоскопическим микроскопом (OLYMPUS SZX9, Япония) и производили количественный учет всех многоклеточных организмов с дальнейшей классификацией по таксонам высокого ранга.

Гидрологические параметры (глубина, температура и соленость поверхностного слоя воды) были измерены на всех станциях. Температура и соленость были измерены с помощью зонда CTD (Sea&Sun Technology GmbH, Германия).

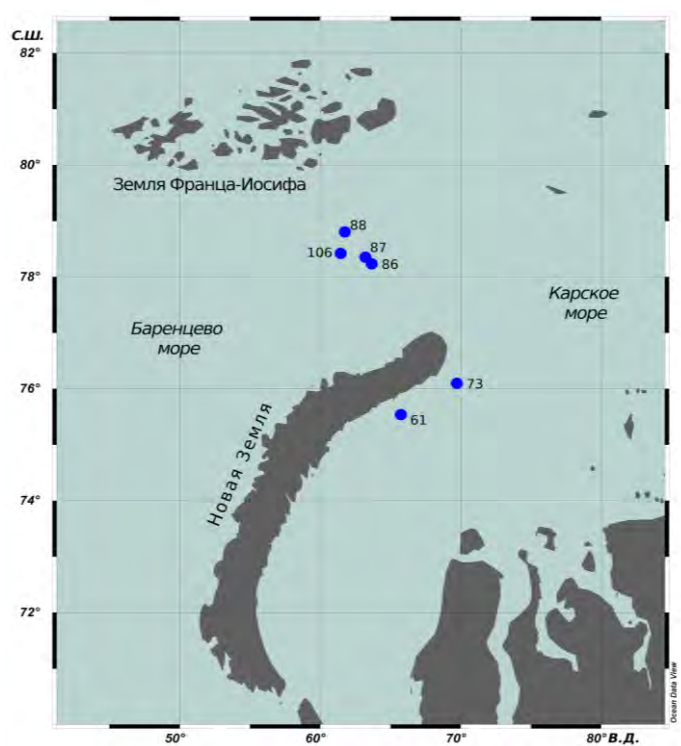


Рис 1. Карта станций отбора проб льда.

## Результаты

Температура поверхностного слоя воды в западной части Карского моря (ЗКМ) составила +1.1 °С; между архипелагами Земля Франца-Иосифа (ЗФИ) и Новая Земля (НЗ) варьировалась от -0.5 °С до +1.4 °С. Солёность в ЗКМ изменялась от 14 до 24.5, тогда как в районе между ЗФИ и НЗ составила 30.1–31.9. Глубины изменились от 226 до 351 м. Толщина дрейфующих льдов в прикромочной зоне в районе ЗКМ изменялась от 8 до 34 см, а между ЗФИ и НЗ — от 5 до 32

см. В целом, морской лед на акватории был представлен молодым и однолетним дрейфующим льдом, который сформировался в зимний период за 2022–2023 год (Aqua/MODIS).

В исследованном регионе было выделено два района, которые различались по гидрофизическим условиям: более опресненный, западная часть Карского моря, возле арх. Новая Земля (станции 61 и 73); и более соленый, между арх. Земля Франца-Иосифа и Новая Земля (станции 86, 87, 88 и 106).

В составе криофауны дрейфующего морского льда в прикромочной зоне всего было выявлено 8 таксономических групп: Rotifera, Nematoda, Cyclopoida, Calanoida, Harpacticoida, науплии копепод, Bivalvia, Amphipoda и Ostracoda. На всех станциях отмечалось обильное присутствие простейших. Однако в этом исследовании одноклеточные не учитывались в составе криофауны.

В первом районе обнаружено 4 таксона: Rotifera, Harpacticoida, Nematoda, Cyclopoida и науплии копепод. Общая численность криофауны изменялась от 4892 (ст. 61) экз/м<sup>2</sup> до 12844 экз/м<sup>2</sup> (ст. 73). По численности преобладали коловратки, на долю которых приходилось более 70% всей криофауны на каждой станции, второй группой по обилию были гарпактикоиды, составляя 19%. Остальные таксоны давали незначительный вклад в общую численность.

Во втором районе, между ЗФИ и НЗ, зарегистрировано 7 таксонов: Rotifera, Nematoda, Harpacticoida, Calanoida, науплии копепод, Ostracoda, Bivalvia и Amphipoda. Общая численность фауны льда составила 16220.5 экз/м<sup>2</sup> (ст. 87). По численности также доминировали коловратки (82.5% от общего обилия) и нематоды, составляя 7.8% от общего обилия криофауны. Гарпактикоиды, каляноиды и их науплии, а также остракоды, молодь моллюсков представлены единичными экземплярами. На станции 88 были найдены только ювенильные особи амфипод, тогда как на станции 106 были встречены единичные экземпляры коловраток. На станции 86 в составе ледовой фауны не удалось обнаружить многоклеточных организмов.

В июле 2019 г. и июне 2021 г. численность криофауны была ниже и изменялась в диапазоне от 94 и до 9678 экз/м<sup>2</sup> [Тимченко и Портнова, 2023]. По численности за два года (2019 и 2021) исследования нематоды были доминирующим таксоном в дрейфующих льдах прикромочной зоны Карского моря, тогда как в июле 2023 г. нематоды встречались значительно реже. Всего в составе криофауны были найдены представители от 1 (2019 г.) до 7 (2021 г.) и 9 (2023 г.) крупных таксонов. Среди таксонов, зарегистрированных в 2021 году, добавились остракоды. По составу криофауна зоны кромки льда Карского моря более разнообразна и отличается от однолетних льдов в канадской Арктике и северной части Баренцева моря [Bluhm et al., 2018], однако схожа на ледовую и подледную фауну из пролива Фрама в районе арх. Шпицберген, за исключением нематод, которых в последнее время не удается обнаружить в зоне выноса многолетних льдов [Ehrlich et al., 2020].

## Заключение

За исследуемый период в зоне кромки льда Карского моря в составе ледового сообщества отмечалось выраженное доминирование коловраток и гарпактикоидных копепод. Полученные нами результаты подтверждают более высокое разнообразие криофауны по сравнению с 2019 и 2021 гг. Ледовое сообщество является важным компонентом однолетних и многолетних льдов, и в том числе зоны кромки льда. Изменения в составе фауны и пространственно-временном распространении льда могут сильно влиять на следующие трофической уровни особенно при переносе в другие районы Арктики.

## Благодарности

Авторы выражают глубокую признательность начальнику экспедиции А.В. Зимину за поддержку и всестороннюю помощь при отборе проб льда и экипажу НИС «Дальние Зеленцы».

## Финансирование

Работа выполнена в рамках научно-образовательной программы «Плавучий университет» (соглашение № 075-01593-23-06) и Госзадания ИО РАН FMWE-2021-0008.

## Список литературы:

1. Карклин В.П., Юлин А.В., Шаратунова М.В., Мочнова Л.П. Климатическая изменчивость ледяных массивов Карского моря // Проблемы Арктики и Антарктики. – 2017. – №. 4. – С. 37-46.
2. Макаревич П.Р., Олейник А.А. Фитопланктон Баренцева моря в весенний период: состав и структура в районе ледовой кромки // Труды Кольского научного центра РАН. – 2017. – №. 2-4 (44). – С. 50-58.
3. Тимченко А.И., Портнова Д.А. Фауна сезонных морских льдов в Карском и Восточно-Сибирском морях // Комплексные исследования Мирового океана. – 2023. – С. 274-276.
4. Флинт М.В. 54-й экспедиционный рейс научно-исследовательского судна «Академик Мстислав Келдыш» в Карское море // Океанология. – 2010. – Т. 50. – №. 5. – С. 677-682.
5. Экологическая ценность и уязвимость зоны кромки льда / Ред. Сесилие Х. фон-Квильфельт // Краткий отчет Норвежского полярного института № 47. 2018. 286 с. URL: [https://www.barentsportal.com/documents/MIZ\\_RU.pdf](https://www.barentsportal.com/documents/MIZ_RU.pdf) (дата обращения: 01.09.2023).
6. Bluhm B. A. et al. Sea ice meiofauna distribution on local to pan-Arctic scales // Ecology and evolution. – 2018. – Т. 8. – №. 4. – P. 2350-2364.
7. Bluhm B. A., Swadling K. M., Gradinger R. Sea ice as a habitat for macrograzers // Sea ice. – 2017. – P. 394-414.
8. Ehrlich J., Schaafsma F.L., Bluhm B.A., Peeken I., Castellani G., Brandt A., Flores H. et al. Sympagic fauna in and under Arctic pack ice in the annual sea-ice system of the new Arctic // Frontiers in Marine Science. – 2020. – Т. 7. – P. 452.
9. Engelsen O. Hegseth, E.N. Hop H., Hansen E., Falk-Petersen S. Spatial variability of chlorophyll-a in the Marginal Ice Zone of the Barents Sea, with relations to sea ice and oceanographic conditions // Journal of Marine Systems. – 2002. – Т. 35. – №. 1-2. – P. 79-97.
10. Hop H., Poltermann M., Lonne O.J., Falk-Petersen S., Korsnes R., Budgell W.P. Ice amphipod distribution relative to ice density and under-ice topography in the northern Barents Sea // Polar Biology. – 2000. – Т. 23. – P. 357-367.

УДК 574.0000

Рубрика 34.35.01

СТРУКТУРА БИОСФЕРЫ: БИОЦЕНОЗ, БИОМ, ЭКОСИСТЕМА, БИОГЕОЦЕНОЗ

STRUCTURE OF THE BIOSPHERE: BIOCENOSIS, BIOM, ECOSYSTEM, BIOGEOCENOSIS

**Жирков Игорь Александрович**<sup>1</sup>

<sup>1</sup> МГУ, Москва

**Jirkov Igor Alexandrovich**<sup>1</sup>

<sup>1</sup> MSU, Moscow

Принято считать, что биосфера состоит из множества экосистем. Это представление перекочевало в массовую культуру и по сей день сбивает людей с толку. На самом деле всё совсем не так просто. А точнее: во-первых, совсем не просто, и во-вторых, всё совсем не так. Прежде, чем ответить на вопрос как устроена биосфера, посмотрим, как устроены другие уровни организации живой материи, например клеточный

Клетка состоит из органелл: ядра и цитоплазмы, митохондрий, рибосом и т.д. (Быков, 2002; 5). А из чего состоит биосфера?

С удивлением мы обнаруживаем, что она состоит из разного вещества (6). А не из структур. Конечно, и клетка состоит из воды, солей, белков, нуклеиновых кислот и т.п., но для понимания её функционирования гораздо важнее, что в ней есть ядро и митохондрии, мембраны и рибосомы. Если пропустить клетки через миксер, то в них останутся те же вода, соли, белки и нуклеиновые кислоты, но функционировать они не будут. Биосфера же выглядит как что-то совсем бесструктурное, как клетка, пропущенная через миксер

Понимание структуры биосферы важно, потому что если такой структуры нет, то нет и экосистемного уровня организации живой материи, условия внешней среды непосредственно определяют биоту любого участка и нет объективных критериев «нормы». Ничто не мешает объявить «нормальным» любое состоянием природы. Если нет нормы, то и нет смысла говорить о нарушении или восстановлении, поскольку на любой территории будет жизнь. Если нет никакого объекта, который надо восстанавливать, то открывается огромное поле для принципиально непроверяемых спекуляций.

Если структур нет, то что такое экология? Что она должна изучать? А.М. Гиляров (1990) отвечает на это просто: «...экологией мы будем называть то, чем занимаются экологи» (Гиляров, 1990: 6). Н.Ф. Реймерс справедливо писал: «Все стали "экологами". Такого взрыва профанации знания не было в истории человечества» (Реймерс, 1994: 13).

Если же у биосферы есть структура, то границы структурных элементов позволяют понять пределы экстраполяции полученных в природе данных и выявленных закономерностей, можно говорить о нарушении и восстановлении этих элементов. Понятие «норма» приобретает смысл.

Как следует выделять структурный элемент биосферы? Какие критерии надо использовать? Биология — это наука о жизни во всех её проявлениях, поэтому естественно, что биолога в первую очередь интересует именно биота, изучение неоднородности в распространении биоты, выявление более или менее однородных с биологических позиций участков. Иными словами, выделы биолога должны быть населены однородной биотой. Критерии однородности биоты могут варьировать в зависимости от задач и представлений исследователя, но, коль скоро мы имеем дело с биологическим объектом — биосферой — это должны быть характеристики биоты, остальные факторы в пределах этого выдела могут быть сколь угодно неоднородными, такую неоднородность в дальнейшем можно отметить в характеристике биотопа.

Обсуждение вопроса о наличии или отсутствии у биосферы структуры требует отдельного разговора. Допустим, что биосфера имеет структурные элементы. И сейчас обсудим только то, как их назвать? В русскоязычной биологической литературе наибольшее распространение получили четыре термина в порядке их предложения: биоценоз (Möbius, 1877), биом (Clements, 1916), экосистема (Tansley, 1935) и биогеоценоз (Сукачѳв, 1942).

Рассмотрим, как понимали эти термины авторы, их предложившие. Почему так? Почему именно в первоначальном смысле, а не в том, что называют «современное понимание»? Поясню. В 1774 г английский химик Джозеф Пристли открыл элемент, который он назвал кислород. Предположим, что 1789 год, немецкий химик Клапрот, открыв уран сказал себе: прекрасное слово «кислород»! Назову как я так открытый мной металл. А английский астроном Локьер решил так называть открытый им гелий. При этом остались и те, кто кислородом называет кислород Джозефа Пристли. И что делать? Логичнее использовать термин в первоначальном смысле. Нельзя просто его забыть, на основании того, что кто-то потом использовал то же слово в другом смысле, порой прямо противоположном тому, который вкладывал в него автор термина. Несогласным следует предложить свой термин. Поскольку изначальное, авторское понимание термина никуда не денется. Что ещё более запутает и без того не простую проблему.

Кроме терминов биоценоз, биом, экосистема, биогеоценоз многие, возможно, от безысходности или от непонимания используют для частей биосферы термин географии — ландшафт.

## Биоценоз

«Каждая устричная банка в определённой степени представляет собой сообщество живых существ, подборку видов и определённое количество индивидуумов, которые как раз на этом месте находят все условия для своего проявления и жизни, т.е. соответствующую почву, достаточное питание, надлежащее содержание солей и подходящую, благоприятную для своего развития температуру... Я предлагаю название «Biocenosis» для такого сообщества... Если какое-либо из внешних условий обитания продолжительное время отклоняется от своего предыдущего среднего значения, то преобразуется весь биоценоз» (Möbius, 1877, цит. по Кафанов, 2005: 27–28). Это определение Мёбиуса. В конце XIX в. многие вопросы ещё не были поставлены, поэтому из этого определения не ясно, какой смысл Мёбиус вкладывал в свой термин, но скорее это подборка видов, находящая все условия в данном месте, а не функциональное единство, хотя идею сообщества Мёбиус не отрицает. Очевидно, что биоценоз — не самостоятельный объект, поскольку устричная банка быстро исчезает в



результате своей жизнедеятельности (заиления). Но, возможно, биоценоз — стадия развития такого объекта.

Американский геоботаник Клементс разработал концепцию **биома**, согласно которой биосфера состоит из биомов, т.е. обладает эндогенной структурой. Он же предложил термины климакс и экотон. Согласно Клементсу биом это «basic biotic unit» (Clements, 1920: 34), «community of both plants and animals» (Clements, 1920: 29). «Term biome has been applied only to those communities in which studies have established something of the processes of development and the character of the final stage or climax» (Clements, Shelford, 1939: v–vi). «Each climax community is able to reproduce itself, repeating with essential fidelity the stages of its development» (Clements (1963: 3).

Не все ученые считали, что в биосфере есть какие-то структуры. Одним из оппонентов Клементса был английский геоботаник Тэнсли. Они были знакомы, есть даже фотография беседующих Клементса и Тэнсли.

Тэнсли был не согласен с Клементсом, считавшем, что животные и растения образуют «basic biotic unit». Он предложил термин «**экосистема**» фактически как антоним термина «биом». Если биом — это сообщество и растений, и животных, то Тэнсли считал, что «animals and plants are not common members of anything except the organic world» (Tansley, 1935: 296). «The concept of the «biotic community» is unnatural because animals and plants are too different in nature to be considered as members of the same community...» (Tansley, 1935: 306). Т.е. экосистема по определению — это население произвольной территории, связанное только самим фактом совместного обитания вместе и не образующее никакого объекта. Поскольку «система (от греч. — целое, составленное из частей; соединение), совокупность элементов, находящихся в отношениях и связях друг с другом, которая образует определённую целостность, единство» (Система, 2003), то очевидно, что экосистема Tansley — это вообще не система.

Поэтому вполне логично, что А.М. Гиляров называл экосистемой любую совокупность организмов, которую изучает экология: «Под экологической системой мы будем понимать не только «экосистему» в собственном смысле этого слова, но и популяции, гильдии, сообщества, т. е. любые надорганизменные объекты, изучаемые экологией» (Гиляров, 1988: 204). Напоминаю: он также писал: «...экологией мы будем называть то, чем занимаются экологи» (Гиляров, 1990: 6). Отсюда операциональное определение: экосистема — это то, что изучают экологи, если они не утверждают обратного.

В итоге: «экосистема» — красивое слово. Оно близко по значению термину «биоценоз». В обоих случаях авторы терминов понимали под ними население какой-то территории, взаимодействующее как между собой, так и со своим местообитанием. Однако Тэнсли, в противоположность Мёбиусу, прямо утверждал, что идея сообщества противостоит природе. Поэтому биоценоз — это реальность, а экосистема — абстракция по определению. В природе нет такого объекта — экосистема. Ситуация противоположна той, о которой говорила великая русская актриса Фаина Раневская. Слово есть, а экосистемы нет. И пока это помнят, проблем нет. Проблемы начинаются, если начинают совершать какие-либо действия с экосистемами в природе, например, управлять ими, сохранять или восстанавливать. Экосистемой нельзя управлять, экосистему нельзя разрушить и тем более восстановить. Ничего этого нельзя делать с тем, что не существует. Но можно затратить огромные ресурсы и деньги, например, на восстановление экосистем. Я не призываю отказаться от охраны природы. Но на мой взгляд очевидно, что сначала надо определить объект и лишь затем проводить с ним какие-то действия. Иначе открываются широчайшие возможности для произвола. Если нет понимания



конечной цели, то затраченные усилия становятся бессмысленными. Поэтому понятие «экосистема» применительно к природным объектам биосферы следует считать не неправильно применяемым, а весьма вредным.

## Ландшафт

Приведу два определения ландшафта. Первое дано крупнейшими российскими ландшафтоведами: «Ландшафт понимается как геосистема с единым происхождением, общей историей развития, формирующаяся в условиях однородного геологического фундамента, одного преобладающего типа рельефа (например, холмисто-моренного, пластового эрозионного, высокогорного древнеледникового и др.), одинакового климата, с характерным сочетанием почв, растительных сообществ и геосистем локального уровня. Следовательно, ландшафт — это территориальная интеграция локальных геосистем, создающих его характерный внутренний узор, или морфологию» (Исаченко, Шляпников, 1989: 6).

Для понимания сущности ландшафта важен порядок критериев для его выделения. Сначала геология, потом рельеф, потом климат, потом почвы и лишь пятым зайчиком в последнем ряду биота. Причём из всей биоты использована только часть — растительное сообщество. Это понятно, поскольку его авторы всю жизнь занимались наземными ландшафтами. Но, поскольку растительность имеется только на примерно 1/3 поверхности Земли (на суше и на мелководьях) и отсутствует за пределами фотической зоны, становится очевидным, что биота для географии не очень существенна, а лишь один из компонентов природных комплексов и ландшафтов. Это неудивительно, поскольку ландшафты выделяют и на Луне, и на планетах, где жизнь отсутствует. Примечательно, что почвы поставлены перед растительностью, хотя они — результат функционирования растительности. Растительность и почвы в представлении географов — это не причина и следствие, а равнозначные компоненты геосистемы.

Автор второго определения, всю жизнь занимается морем и знает, что на морском дне растительности обычно нет. И как же он модифицирует определение ландшафта, данное наземными исследователями? «Ландшафт морского дна обособляется на участке земной коры, имеющем одинаковое геологическое строение: как правило, он связан с развитием одной морфоструктуры, переход на участок другой морфоструктуры знаменует переход в другой ландшафт» (Петров, 2004: 53). Он о биоте вовсе не вспоминает.

В обоих определениях основной критерий выделения ландшафтов — геологический.

География и биология — разные науки с разными методами. Районирование географа и биолога не только может, но и должно быть различно: различия, которые географ считает существенными, могут быть несущественными для биоты, и географ разделит данный участок поверхности Земли на несколько, а биолог же посчитает его за один. И наоборот, участок, однородный для географа, может быть населён разными биотами, поэтому биолог, следуя этим различиям, разделит его на несколько. Очевидно, что нельзя для биологических объектов использовать географические термины. Гетерогенность биосферы география учитывает лишь как весьма второстепенный фактор, а то и вовсе игнорирует.

Последний термин — **биогеоценоз**. Предложен В.Н. Сукачевым: «Участок земной поверхности, на известном протяжении однородный по горным породам, по влаге, по атмосферным явлениям, по почве, по растительности и животному миру и характеризующемуся одинаковой на этом протяжении формой взаимодействия между этими

элементами географического комплекса... нередко называют малоудачным термином — элементарным ландшафтом... целесообразно, мне кажется, применить... к этому элементарному участку земной поверхности выражение «геоценоз»... По аналогии с выражением биологов: «биоценоз», «фитоценоз» и «зооценоз». Для того чтобы подчеркнуть роль биоценоза в жизни этого целого комплекса, еще лучше назвать его биогеоценозом» (Сукачев, 1942, цит. по 1972: 203–204). Существенно: Участок *земной поверхности* (не биосферы), *географического* комплекса (не биологического), как у биологов (т.е. себя Сукачев биологом не считал). Критерии выделения биогеоценоза: горные породы, влага, атмосферные явления, почва. Биота — пятый зайчик в последнем ряду. Очевидно, что биогеоценоз — не биологический термин. Это синоним ландшафта. Что не отрицал и сам Сукачев. Он и предложил термин «биогеоценоз» как синоним термина «ландшафт», в котором хоть как-то, пятым зайчиком в последнем ряду, но всё же учтена биота.

Очевидно, что биогеоценология = ландшафтоведение. Это не часть биологии.

Итак, из 5 терминов, которые используют для частей биосферы ландшафт, как термин географии не может быть названием структурного элемента биосферы, как и его синоним — биогеоценоз, тоже не имеющий отношения к биологии. Не может быть им и экосистема, поскольку автор этого термина, Тэнсли, прямо отрицал существование какой-либо структуры, считая понятие сообщества противоестественным. Конечно, слово «экосистема» не следует считать обценной лексикой. Оно слишком глубоко и широко проникло в научный лексикон, да и не только в него, чтобы полностью от него отказаться. Но надо помнить, что любой, кто говорит «экосистема» о частях природной биосферы, не понимает ничего конкретного. Это просто виньетка для придания тексту наукообразности. Обычно это слово можно выкинуть или заменить на более осмысленные термины «население» или «биота».

Что у нас осталось? Биом. Биом — вполне подходит для названия структурного элемента биосферы. Биоценоз же можно считать стадией развития биома

## Выводы

Учебники экологии, как любые учебники, например, физики или химии должны начинаться с определения объекта экологии, которым никак нельзя считать экосистему.

Объектом экологии должны быть структурно-функциональные единицы биосферы — биомы. Основным содержанием учебников экологии должно быть описание функционирования, возникновения и эволюции биомов, а не аутэкологические характеристики, такие как экологическая ниша, взаимоотношения хищник-жертва и конкуренция, и не абстрактные понятия типа биоразнообразия и потоки энергии в экосистемах.

Также надо изучать распределение биомов по Земле и взаимодействие.

Экология, которой учат в школе и вузе — это наука, не имеющая объекта.

## Финансирование

Исследование выполнено при поддержке Междисциплинарной научно-образовательной школы Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова «Будущее планеты и глобальные изменения окружающей среды» и в рамках Государственной

исследовательской программы "Изучение закономерностей структурно-функциональной организации биологических сообществ" 121032300124-1

### Список литературы:

1. Clements F. E. The development and structure of biotic communities // Ecological Society of America, New York Meeting, December 27–29, 1916 – 1916. – P. 5.
2. Clements F.E. Plant indicators // Carnegie Inst. – 1920. – Wash. Pub., 290 p.
3. Clements F.E. Plant succession and indicators // New York, London: Hafner – 1963. – XVI+453p.
4. Clements F.E., Shelford V.E. Bio–Ecology // New York: J. Wiley & Sons, Inc. – 1939. – VI+425p.
5. [https://en.wikipedia.org/wiki/Cell\\_\(biology\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Cell_(biology)) Access 21.08.2023
6. <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D0%B8%D0%BE%D1%81%D1%84%D0%B5%D1%80%D0%B0> Access 21.08.2023
7. Möbius K. Die Auster und die Austernwirtschaft // Berlin: Wiegand, Hempel und Parey – 1877. – 126 S.
8. Tansley A. The use and abuse of vegetational concepts and terms // Ecology. – 1935. – Vol. 16. N 4. – P. 284–307.
9. Быков В.Л. Цитология и общая гистология // Санкт-Петербург: СОТИС – 2002. – 520 с.
10. Гиляров А.М. Соотношение органицизма и редуционизма как основных методологических подходов в экологии // Журн. общ. биол. – 1988. – Т.49. №2. С. 202–217.
11. Гиляров А. М. Популяционная экология: Учеб. пособие // М.: Изд-во МГУ – 1990. – 191 с.
12. Исаченко А.Г., Шляпников А.А. Ландшафты // М.: Мысль. – 1989. – 504 с.
13. Кафанов А.И. Историко–методологические аспекты общей и морской биогеографии // Владивосток: Изд–во Дальневосточн. ун–та. – 2005. – 208 с.
14. Петров К.М. Биономия океана // СПб.: изд–во СПб. ун–та. – 2004. – 242 с.
15. Реймерс Н. Ф. Экология (теории, законы, правила принципы и гипотезы) // М.: Журнал «Россия Молодая» – 1994. – 367 с.
16. Система // Большой Российский энциклопедический словарь. – М.: БРЭ. – 2003. – С. 1437.
17. Сукачёв В.Н. Идея развития в фитоценологии // Советская ботаника – 1942. – 1–3 – С. 5–17 цит. по Сукачёв В.Н. Избранные труды. Т.1. Основы лесной типологии и биогеоценологии. – Ленинград: Наука – 1972 – С. 201–213.

УДК 574.583  
Рубрика 34.33.15

РЕЗИДЕНТЫ И ЭКСПАТРИАНТЫ В ПЛАНКТОНЕ АРКТИЧЕСКОГО БАССЕЙНА:  
РОЛЬ В СТРУКТУРЕ СООБЩЕСТВ, ВКЛАД В БИОМАССУ И ПРОДУКТИВНОСТЬ  
ЗООПЛАНКТОНА

RESIDENTS AND EXPATRIATES IN THE PLANKTON OF THE ARCTIC BASIN: ROLE  
IN COMMUNITY STRUCTURE AND CONTRIBUTION TO BIOMASS AND  
PRODUCTIVITY

**Кособокова Ксения Николаевна, Осипова Дарья Дмитриевна**  
*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва, e-mail:*  
[skosobokova@ocean.ru](mailto:skosobokova@ocean.ru))

**Kosobokova Ksenia Nikolaevna, Osipova Daria Dmitrievna**  
*Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow*

### **Введение**

Северный Ледовитый или Арктический океан (АО) является одним из самых экстремальных местообитаний морских организмов и одним из самых быстро меняющихся океанических районов на Земле. В последние два десятилетия Арктика переживает сильнейшее потепление за всю историю нашей планеты и беспрецедентную потерю морского льда. Усиление притока Атлантических и тихоокеанских вод и повышение их температуры вызывает изменение гидрофизической структуры вод АО, сдвиги границ водных масс и изменения в распределении связанных с ними сообществ зоопланктона. До начала современных климатических изменений основу планктонных сообществ АО составляли виды-резиденты, приспособленные к условиям арктической пелагиали, за счет местного размножения поддерживающие свою численность на уровне, обеспечивающем их стабильное воспроизводство. В последнее время, однако, появились свидетельства того, что наблюдающиеся климатические изменения приводят к изменению равновесия между резидентами Арктики и приносными видами, поступающими в АО из соседних акваторий и до последнего времени не имевшими в Арктике самостоятельных популяций (экспатриантами). Вытеснение обычных для Арктики, крупных и богатых липидами планктонных видов-резидентов более мелкими бореальными экспатриантами может иметь необратимые последствия для всей арктической экосистемы. Перестройка этого нижнего звена пищевой цепи может отразиться на более высоких трофических звеньях: рыбах, птицах и морских млекопитающих Арктики и привести к серьезным перестройкам арктической морской экосистемы. Целью представленной работы является систематизация данных, необходимых для оценки зоогеографического и экологического статуса представителей зоопланктона Северного Ледовитого океана и выявления среди них видов-резидентов (ВР) и экспатриантов (ВЭ), оценка численности и биомассы массовых ВР и ВЭ, их пространственного распределения в Арктике по современным и историческим данным 1990-х годов для изучения возможного изменения их роли в экосистеме на фоне происходящих климатических изменений.

### **Материалы и методы**

В ходе работы был проведен анализ данных, позволяющих оценить зоогеографический и экологический статус представителей зоопланктона Северного Ледовитого океана для выявления среди них видов-резидентов (ВР) и экспатриантов (ВЭ).

Были проанализированы данные о видовом составе, численности, возрастном/размерном составе и биомассе представителей зоопланктона по материалам, полученным в АО в 1990-х гг. и 2000-х гг. В работе использовались результаты обработки планктонных проб из 4-х экспедиций научно-исследовательского ледокола “Polarstern”: ARK IX/4 (1993 г.), ARK XI/1 (1995 г.), ARK XXVI/3 (2011 г.), PS101 (2015 г.) и ледокола морской береговой охраны США “Healy”: OE-05 (2005 г.). Пробы зоопланктона в этих экспедициях были собраны замыкающимися сетями Multinet Midi и Maxi (ячейка 150 мкм) путем послыного облова всей водной толщи по стандартным горизонтам от дна до поверхности (см. Кособокова, 2012). Всего было проанализировано более 200 проб с 25 станций, располагавшихся в акватории с глубинами от 3000 до 4800 м.

Качественную и количественную обработку зоопланктона проводили стандартными, принятыми в современной гидробиологии методами (Инструкция ВНИРО, 1971). Качественная обработка включала анализ видового состава представителей всех таксономических групп, их возрастного и размерного состава (см. напр., Кособокова, 2009). При количественной обработке все стадии развития крупных копепод, амфипод, гидро- и сцифомедуз, гребневиков, крылоногих моллюсков, щетинкочелюстных и других животных крупнее 1,5 мм просчитывали в пробах тотально. Более мелкие организмы были просчитаны в подпробах 1/20-1/10 от общего объема пробы. Для подсчета численности зоопланктона в единице объема воды были также применены стандартные методы (Инструкция ВНИРО, 1971). Расчет биомассы проведен с использованием эмпирических данных об индивидуальных весах животных и формул, связывающих массу тела с их размером (Richter, 2004; Kosobokova et al., 1998).

Для отнесения видов к категориям ВР или ВЭ проводился анализ возрастного (в случае копепод) или размерного (в случае амфипод, щетинкочелюстных и желетелых) состава их популяций, а также закономерностей их количественного распределения в акватории Арктического бассейна. Отнесение таксона к резидентной фауне (Табл. 1) основывалось на двух критериях: 1) круглогодичное или сезонное присутствие в популяциях вида молоди и 2) встречаемость вида в пределах всей акватории АО. К видам-экспатриантам относили виды, представленные в АО не всеми стадиями развития, и виды, которые отсутствовали на части акватории (например, в одном из глубоководных бассейнов).

### **Результаты и обсуждение**

Результаты исследования показали, что в планктонной фауне АО представлены виды разного зоогеографического происхождения. В ее состав входят эндемики (виды, встречающиеся только в АО) и более широко распространенные океанические виды, например, общие с Северной Атлантикой, Северной Пацификой, циркумполярные, биполярные виды и виды-космополиты (Кособокова, 2012).

Разделение этих видов на категории ВР или ВЭ показало, что ВР составляют 85% фауны (Рис. 1), причем среди них есть представители всех перечисленных выше зоогеографических категорий. К фауне экспатриантов относятся 15% видов, среди которых выделяются океанические и неритические (шельфовые) экспатрианты (Табл.). К первым относятся океанические виды, попадающие в Арктику из Северной Атлантики и Северной Пацифики через связывающие эти океаны проливы – пролив Фрама и Берингов пролив. Шельфовые экспатрианты проникают в Арктический Бассейн (АБ) с поверхностными водами из краевых арктических морей и не распространяются севернее области над континентальным склоном. Молодь в популяциях и океанических, и шельфовых экспатриантов в глубоководных бассейнах АО не встречается, что подтверждает их стерильную экспатриацию в этих районах (Ekman, 1953; Беклемишев, 1969).



В количественном отношении доминирующую роль среди видов-резидентов и в 1990-х, и в 2000-х гг. играли относительно крупные арктические рачки-резиденты копеподы *Calanus glacialis*, *C. hyperboreus*, *Metridia longa*, *Paraeuchaeta glacialis*, преобладавшие в планктоне по биомассе, а также более мелкие рачки *Oithona similis*, *Oncaea borealis*, *Microcalanus pygmaeus*, преобладавшие по численности. Характерной особенностью представителей р. *Calanus*, доминирующих среди резидентов по биомассе, является то, что арктическим летом, в период наиболее высокого обилия фитопланктона, они создают липидные запасы. Эти рачки являются в морских пищевых цепях основными посредниками между микробной системой, фитопланктоном и высшими трофическими уровнями – рыбами, птицами и млекопитающими. До начала 2000-х гг. они доминировали в планктоне АБ почти повсеместно, составляя >80% суммарной биомассы зоопланктона и основу местной вторичной продукции - как в центральных районах, так и на его периферии (Рис. 1). Так, вклад *Calanus glacialis* в суммарную биомассу зоопланктона в Арктическом Бассейне колебался от 10 до 60%, а *C. hyperboreus* от 20 до 70%.

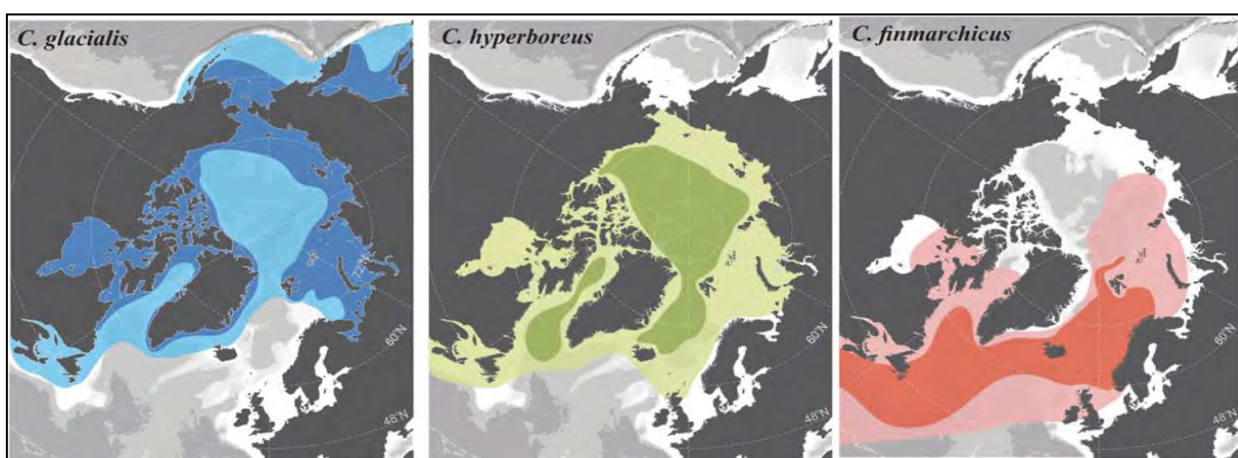


Рис. 1. Распространение двух копепод-резидентов (*Calanus glacialis* и *C. hyperboreus*) и Атлантического экспатрианта *C. finmarchicus* в Арктическом Бассейне

Помимо перечисленных копепод к числу ВР принадлежат и многие представители других таксономических групп: прочие ракообразные (бокоплавы, остракоды, декаподы), щетинкочелюстные и желетелье (медузы, гребневики и аппендикулярии), составляющие в арктических планктонных экосистемах основную массу хищного и всеядного зоопланктона (Кособокова, 2012).

Широта распространения океанических экспатриантов, имеющих центры ареалов в бореальных областях за пределами Арктики или более широкое распространение, определяется их толерантностью к условиям АБ, возрастом, на котором они в него попадают, продолжительностью их жизни и особенностями циркуляции водных масс. Большинство океанических ВЭ в 1990-е гг. не были способны адаптироваться к условиям АБ. Часть видов погибала почти сразу после попадания в АБ (*Rhincalanus nasutus*, *Pleuromamma robusta*, *Metridia lucens*), другие распространялись на более широкие акватории (*Paraeuchaeta norvegica*, *Oithona atlantica*, *Meganyctiphanes norvegica*, *Neocalanus cristatus*, *Eucalanus bungii bungii*, *Metridia pacifica*). Характерно, что по мере дрейфа ВЭ с атлантическими и тихоокеанскими водами и удаления от источника (акватории) их происхождения, их обилие постепенно снижается за счет выедания хищниками и естественной смертности, что, в конце концов, приводит к полному отмиранию их популяций. По этой причине их распространение в АБ обычно ограничено определёнными акваториями.



Таблица. Список океанических и шельфовых планктонных видов-экспатриантов, обнаруженных в Арктическом Бассейне

Океанические		Шельфовые	
Атлантические	Тихоокеанские	Из Евразийских арктических морей	Из Берингова моря
<i>Calanus finmarchicus</i>	<i>Neocalanus cristatus</i>	<i>Acartia longiremis</i>	<i>Acartia longiremis</i>
<i>Metridia lucens</i>	<i>Eucalanus bungii</i>	<i>Drepanopus bungei</i>	<i>Pseudocalanus newmani</i>
<i>Oithona atlantica</i>	<i>Metridia pacifica</i>	<i>Pseudocalanus minutus</i>	<i>Aglantha digitale</i>
<i>Aetideopsis? armata</i>	<i>Calanus marshallae</i>	<i>Pseudocalanus acuspes</i>	<i>Aeginopsis laurentii</i>
<i>Rhincalanus nasutus</i>		<i>Pseudocalanus major</i>	<i>Chrysaora melanaster</i>
<i>Pleuromamma robusta</i>		<i>Bradyidius similis</i>	
<i>Paraeuchaeta norvegica</i>		<i>Monstrilla sp.</i>	
<i>Meganyctiphanes norvegica</i>		<i>Aglantha digitale</i>	
<i>Thysanoessa longicaudata</i>		<i>Aeginopsis laurentii</i>	
<i>Tomopteris septentrionalis</i>			

Стерильные виды-экспатрианты в АО представляют собой аллохтонный компонент зоопланктона (Кособокова, 2012), доля которого в отдельных районах может быть весьма заметной (Кособокова, 2012; Wassmann et al., 2015, 2020). Наибольший вклад Атлантических экспатриантов, и самого массового из них, *Calanus finmarchicus*, в биомассу характерен для районов, ближайших к району «входных ворот» Арктики (пролив Фрама, желоб Св. Анны), а также районов распространения ядра атлантических вод (приконтинентальная часть Евразийского Бассейна - Кособокова, 2012; Wassmann et al., 2015). В районах «входных ворот» Арктики *C. finmarchicus* может составлять до 60% суммарной биомассы зоопланктона (Рис. 2). Постоянный приток этого атлантического экспатрианта дает существенный вклад в трофодинамические процессы в пелагиали и поставку органического вещества на дно, обеспечивая важный источник пищи и энергии для бентосных организмов (Wiedmann et al., 2020) в районах его обилия. Примечательно, что *C. finmarchicus* наиболее широко распространен в АО среди остальных атлантических экспатриантов, но практически не встречается в Канадском Бассейне (Рис. 2). (Кособокова, 2012; Wassmann et al., 2015). Приток неритических видов в океаническую часть Евразийского бассейна, в отличие от океанических, невелик и несущественно влияет на объем аллохтонной биомассы.

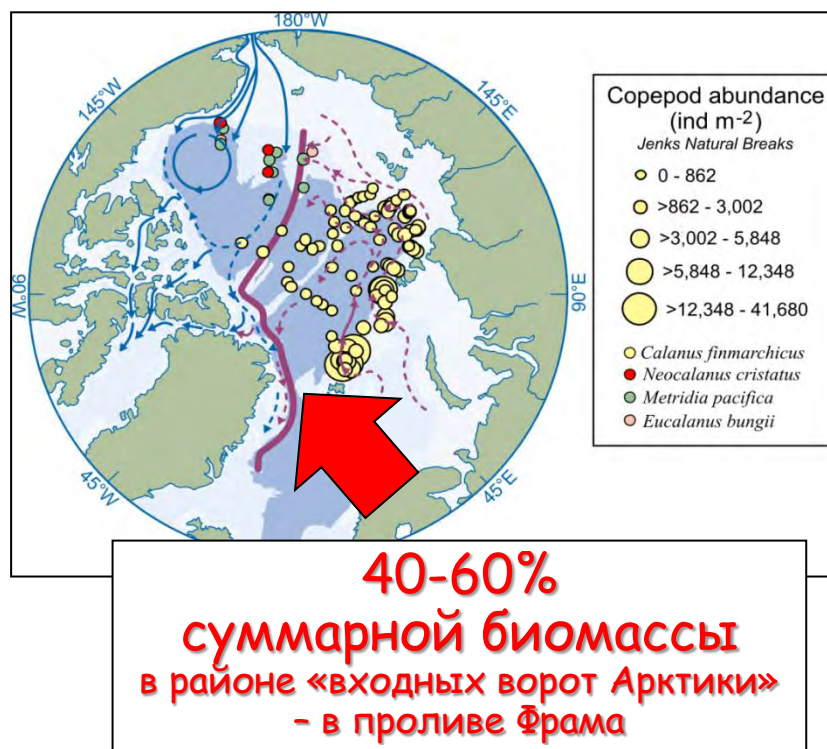


Рис. 2. Численность (ind m<sup>-2</sup>) Атлантического экспатрианта *Calanus finmarchicus* и трех тихоокеанских экспатриантов *Neocalanus cristatus*, *Eucalanus bungii*, *Metridia pacifica* в Евразийском и Канадском бассейнах Арктики

Вклад тихоокеанских океанических экспатриантов в численность и биомассу зоопланктона в глубоководных бассейнах невелик и не сравним с численностью и биомассой *C. finmarchicus* в Евразийском бассейне. Большинство особей тихоокеанских океанических видов погибает во время транзита через мелководный шельф Чукотского моря (Кособокова, 2012; Nelson et al., 2014) из-за разницы в температурном режиме и глубинах. Наряду с этим, неритический тихоокеанский планктон, представляет собой существенный компонент аллохтонной биомассы в Чукотском море, также не выдерживающий разницы температур между Беринговым и Чукотским морем. Большинство тихоокеанских неритических видов погибает в пределах чукотского шельфа, становясь источником пищи для других организмов в толще вод (планктонных хищников или нектона) или осаждаясь на дно и становясь источником органики для донного населения (Wassmann et al., 2020; Ershova et al., 2015, 2017).

### Заключение

Полученные нами данные показали, что планктонные виды-экспатрианты, несмотря на их невысокую долю в фаунистическом составе зоопланктона Арктики, представляют собой важный аллохтонный компонент зоопланктона, играющий в отдельных районах Арктического Бассейна существенную роль в биомассе и продуктивности его морских экосистем. Распространение экспатриантов определяется особенностями циркуляции атлантических, тихоокеанских вод и вод краевых арктических морей, а широта их распространения зависит от их толерантности к абиотическим условиям в АБ, продолжительности их жизни и системы господствующих течений. Различный вклад видов-экспатриантов в биомассу зоопланктона в Евразийском и Канадском бассейнах определяет разную продуктивность этих бассейнов.

### Финансирование

Работа выполнена в рамках темы Госзадания ИОРАН № FMWE-2021-0007 и при финансовой поддержке Российского Научного Фонда (проект № 19-17-00121).

### Список литературы:

1. Беклемишев К.В. Экология и биогеография пелагиали / М.: Наука, 1969. 291 с.
2. Инструкция по сбору и обработке планктона // М.: Изд. ВНИРО. – 1971. – 82 с.
3. Кособокова К.Н. Планктонные сообщества Евразийского сектора Арктического бассейна: видовая структура и количественное распределение зоопланктона в середине 1990-х / Система моря Лаптевых и прилегающих морей Арктики: Современное состояние и история развития. Х. Кассенс, А.П. Лисицын, Й. Тиде, Е.И. Полякова, Л.А. Тимохов (Ред.). Москва: Изд-во МГУ. – 2009. – С. 245-264.
4. Кособокова К.Н. Зоопланктон Арктического бассейна: структура сообществ, экология, закономерности пространственного распределения. М.: ГЕОС. – 2012. – 272 с.
5. Kosobokova K., Hanssen H., Hirche H.-J., Knickmeier K. Composition and distribution of zooplankton in the Laptev Sea and adjacent Nansen Basin during summer, 1993 // Polar. Biology. – 1998. – Vol. 19. – P. 63–76.
6. Ekman S. Zoogeography of the Sea / Fox H.M. (ed). Sidgwick and Jackson Limited London. – 1953. – 417 pp.
7. Ershova E.A., Hopcroft R.R. and Kosobokova K.N. Interannual variability of summer mesozooplankton communities of the western Chukchi Sea: 2004–2012 // Polar Biology. – 2015. – Vol. 38. – P. 1461–1481.
8. Ershova E.A., Questel J.M., Kosobokova K., Hopcroft R.R. Population structure and production of four sibling species of *Pseudocalanus* spp. in the Chukchi Sea // Journal of Plankton Research. – 2017. – Vol. 39. P. 48–64. doi: 10.1093/plankt/fbw078.
9. Richter C. Regional and seasonal variability in the vertical distribution of mesozooplankton in the Greenland Sea: Thesis. University of Kiel. – 1994. – 101 p.
10. Wassmann P., Carmack E., Kosobokova K.N. et al. The contiguous domains of Arctic Ocean advection: trails of life and death // Progress in Oceanography. – 2015. – Vol. 139. – P. 42–65. doi: 10.1016/j.pcean.2015.06.011
11. Wassmann P., Carmack E.C., Bluhm B., Duarte C., Berge J., Brown K., Grebmeier J.M., Holding J., Kosobokova K., Kwok R., Matrai P., Agusti S.R., Babin M., Bhatt U., Eicken H., Polyakov I., Rysgaard S., Huntington H. Towards a unifying pan-Arctic perspective: A conceptual modelling toolkit // Progress in Oceanography. – 2020. – Vol. 187. P. 102455.

УДК 574.52 (574.583)

Рубрика 34.35.33

ДИНОФЛАГЕЛЛЯТЫ КОМПЛЕКСА "ВРЕДОНОСНОГО" ЦВЕТЕНИЯ ВОДЫ В  
АВАЧИНСКОЙ ГУБЕ (ВОСТОЧНАЯ КАМЧАТКА)

DINOFLAGELLATES OF HARMFUL ALGAE BLOOM IN THE WATER OF  
AVACHINSKAYA BAY (EASTERN KAMCHATKA)

**Лепская Екатерина Викторовна, Тепнин Олег Борисович**

*Камчатский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (КамчатНИРО), Петропавловск-Камчатский*

**Lepskaya Ekaterina Viktorovna, Tepnin Oleg Borisovich**

*Kamchatka branch of Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (KamchatNIRO), Petropavlovsk-Kamchatskiy*

На Камчатке основное население, военные, промышленные и сельскохозяйственные объекты сосредоточены на берегах Авачинской губы и прилегающих берегах Авачинского залива. Здесь же активно развиваются рекреационные зоны, ведется любительский вылов крабов, морских ежей, тихоокеанских лососей. Авачинская губа представляет собой глубоко вдающийся в сушу водоем, соединенный узким проливом (горлом) с тихоокеанской акваторией, Авачинским заливом. Учитывая значимость Авачинской губы в хозяйственном, рыбохозяйственном и рекреационном отношении, мониторинг водорослей комплекса вредоносного "цветения" воды (ВЦВ) в ней актуален.

Исследования фитопланктона Авачинской губы, которые включали в себя изучение видового состава и количественную оценку водорослей ВЦВ были проведены Г.В. Коноваловой в 1980-е годы (Коновалова, 1995; 1998). В 2013 г. КамчатНИРО начало проведение экосистемного мониторинга Авачинской губы, в том числе, фитопланктона и водорослей ВЦВ.

В настоящей работе приведены некоторые результаты этих исследований, охватывающие период 2013–2022 гг.

Данные были получены обработкой проб фитопланктона, собранных в безледный период (май–октябрь) в центральной части Авачинской губы (рис. 1) сетью Джели (диаметр входного отверстия 0,18 м, размер ячеей фильтрующего конуса 90 мкм), обловом от дна до поверхности.

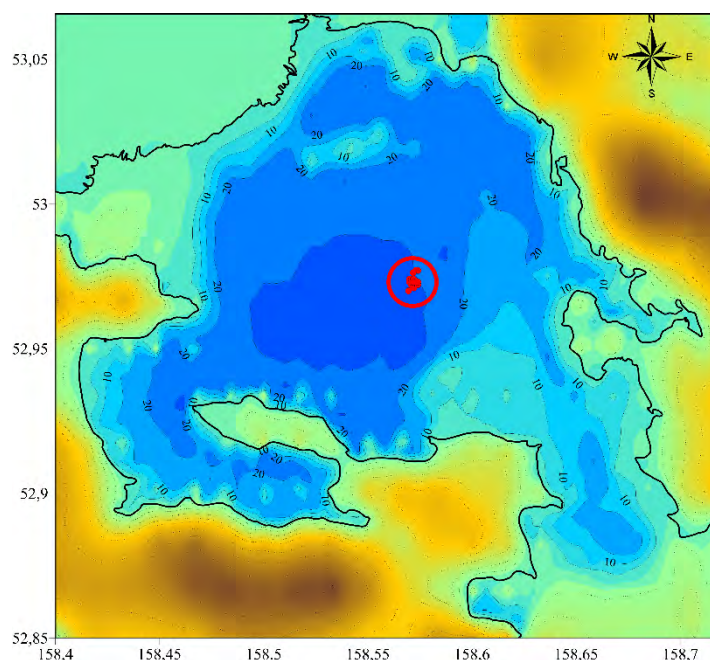


Рис. 1. Карта-схема расположения станции в центральной части Авачинской губы

Подсчет клеток каждого вида/таксона микроводорослей провели в камере Седжвик-Рафтера под микроскопом Olympus BX43 при 150 и 300 кратных увеличениях. Для таксономической идентификации пользовались Атласами (Коновалова, 1998; Коновалова, Селина, 2010).

За период исследований в центральной части Авачинской губы найдено 16 видов динофлагеллят комплекса ВЦВ: *Alexandrium affine*, *A. acatenella*, *A. tamarense*, *A. ostensfeldii*; *Dinophysis acuminata*, *D. acuta*, *D. fortii*, *D. islandica*, *D. norvegica*, *D. rotundata*, *D. rutgei*; *Gonyaulax digitalis*, *G. spinifera*, *G. turbynei*; *Protoceratium reticulatum*, *Protoperidinium crassipes*.

Виды рода *Alexandrium* известны как продуценты сакситоксина – нейropаралитический токсин. Виды рода *Dinophysis* продуцируют яды диарейного комплекса (окадаевая кислота, динофизистоксин-1, пектенотоксин-1, пектенотоксин-2), отравление которыми проявляется как острый гастроэнтерит. Виды рода *Gonyaulax*, как и *P. reticulatum* способны продуцировать ессотоксины – полиэферы кардиотоксического действия. *P. crassipes* может быть продуцентом азаспирацидов – токсинов, вызывающих симптомы гастроэнтерита, а также медленно прогрессирующий паралич (Протисты, 2011).

В Авачинской губе виды рода *Gonyaulax*, *P. reticulatum*, *P. crassipes* встречались редко. Поэтому основное внимание уделено обычным обитателям губы, видам *Alexandrium* и *Dinophysis*.

Для внутригодовой динамики численности *Alexandrium* (комплекс видов) характерно 2 пика (рис. 2А). Первый летний размыт и проявляется в зависимости от года в любой из летних месяцев. Осенний пик численности проявляется в сентябре. Размах значений составляет от 0 до более 4000 кл./л. При концентрации *Alexandrium* 500–1000 кл./л в странах с развитой аквакультурой вводятся ограничения или запрет промысла гидробионтов (Andersen, 1996).

Средние за сезон вегетации значения численности *Alexandrium* не превышали 1000 кл./л, за исключением 2017 г. (рис. 2Б). Возможно, это связано с особенностями гидрологии в данный конкретный год.

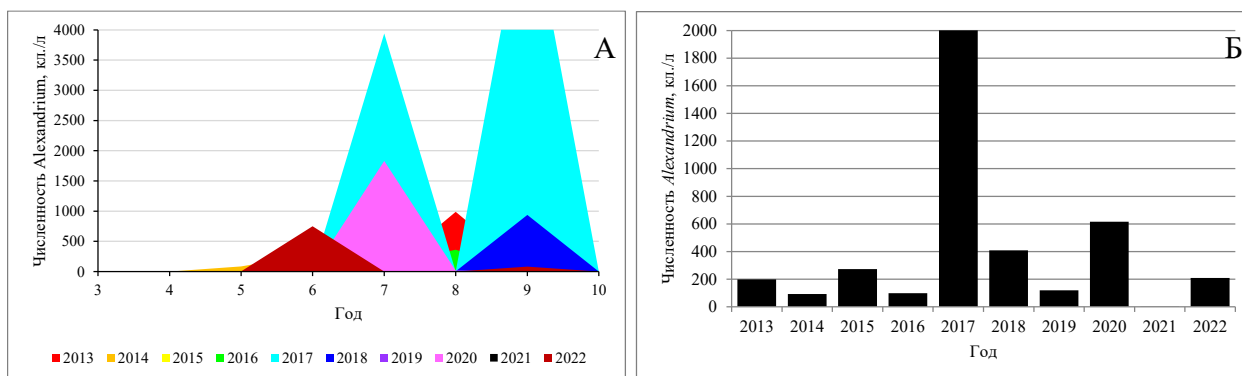


Рис. 2. Внутригодовая и межгодовая динамика численности *Alexandrium* в акватории центральной части Авачинской губы в 2013–2022 гг.

По нашим данным *Alexandrium* проявляет положительный фототаксис, поэтому его скопления приурочены к верхним горизонтам (Лепская и др., 2022а). Поэтому сопоставление гидрологических характеристик в поверхностном слое с концентрацией *Alexandrium* в сетных пробах репрезентативна. Поиски гидрологических факторов, которые могут влиять на численность *Alexandrium*, показали, что есть 2 зависимости численности динофлагеллят этого рода от температуры (рис. 3).

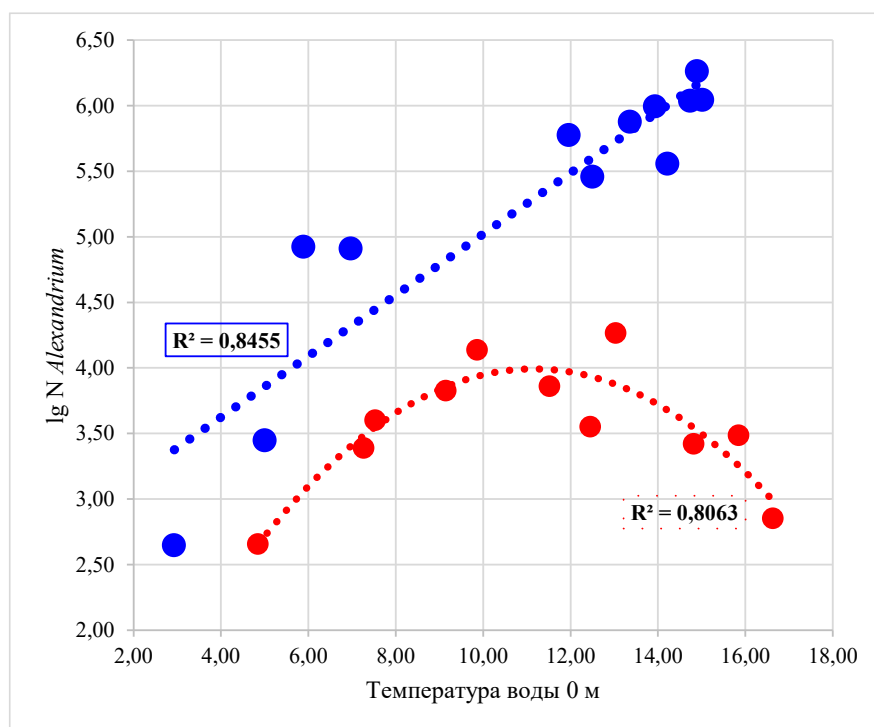


Рис. 3. Распределение численности *Alexandrium* в зависимости от температуры воды в центральной части Авачинской губы в 2013–2022 гг.

В Авачинской губе обитают предположительно 2 видовых комплекса рода *Alexandrium*, которые отличаются температурными оптимумами. Один из них (синие маркеры на рис. 3)



формирует максимум численности в интервале температур от 12°C до 15°C. Другой, "холодноводный", получает максимальное развитие при температуре 9–13°C.

Пик численности *Dinophysis*, как правило, приурочен к августу (рис. 4А). К гидрологическим особенностям этого календарного месяца в центральной части Авачинской губы можно отнести: прогрессирующий прогрев поверхности, увеличение солености из-за завершения паводка, увеличение концентрации органического вещества за счет рециклинга зоопланктоном и проходными тихоокеанскими лососями.

В межгодовой динамике численности *Dinophysis* какие-либо закономерности не выявлены (рис. 4Б). Значимые концентрации динофлагеллят этого рода отмечены в 2014 и 2020 гг. с максимумом в 2018 г. Отметим, что именно в 2018 г. в Авачинской губе впервые был найден *Dinophysis fortii*. С этого года он стал обычным видом не только для Авачинской губы, но и для Авачинского залива (Лепская и др., 2022б).

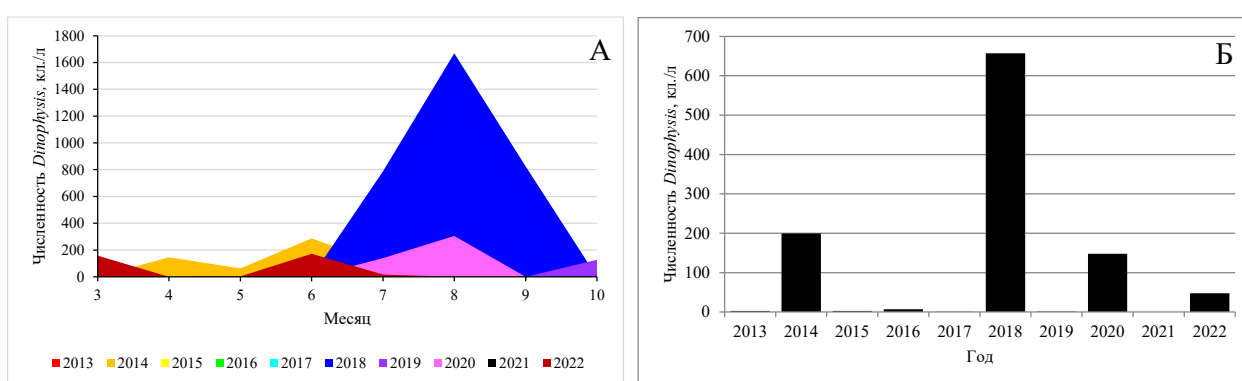


Рис. 4. Внутригодовая и межгодовая динамика численности *Dinophysis* в акватории центральной части Авачинской губы в 2013–2022 гг.

Таким образом, в центральной части акватории Авачинской губы в настоящее время обитают 16 видов динофлагеллят комплекса ВЦВ. Влияние на их обилие гидрологических факторов, например, температуры воды, неоднозначно и не всегда имеет прямую направленность. Одно ясно, для понимания механизмов развития ВЦВ требуется продолжение мониторинга.

### Благодарности

Авторы благодарят всех сотрудников КамчатНИРО, принимавших участие в сборе материала, а также команды научно-исследовательских судов КамчатНИРО МРТК-316 и "Инженер Мартынов", обеспечивших успешную работу.

### Список литературы:

1. Коновалова Г.В., Селина М.С. Динофитовые водоросли. Биота российских вод Японского моря. – 2010. – Т. 8. – 351 с.
2. Коновалова Г.В. Динофлагелляты (Dinophyta) дальневосточных морей России и сопредельных акваторий Тихого океана. – 1998. – Владивосток: Дальнаука. – 283 с.
3. Коновалова Г.В. "Красные приливы" у Восточной Камчатки (атлас-справочник). – 1995. – Петропавловск-Камчатский: Камчат. – 56 с.

4. Лепская Е.В., Коломейцев В.В., Блохин И.А., Морозов Т.Б. Вертикальное распределение динофлагеллят или о подходах к мониторингу ВЦВ в прикамчатских водах // Труды Международной научно-практической конференции. – 2022а. – Т. III. – С. 133–136.
5. Лепская Е.В., Тепнин О.Б., Коломейцев Ю.К., Блохин И.А., Русанова В.А. Результаты мониторинга микроводорослей комплекса вредоносного "цветения" (ВЦВ) в Авачинском заливе в 2022 г. // Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана. – 2022б. – Вып. 67. – С. 46–60.
6. Протисты: Руководство по зоологии. Часть 3. – СПб.; М.: Товарищество научных изданий КМК, 2011. – 474 с.
7. Andersen P. Design and implementation of some harmful algal monitoring systems. – 1996. – UNESCO. – 116 p.

УДК 581.526.325:574.52 (261.24)

Рубрика 34.35.33

СОСТАВ ПИГМЕНТОВ И ТАКСОНОМИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ФИТОПЛАНКТОНА  
КУРШСКОГО ЗАЛИВА (БАЛТИЙСКОЕ МОРЕ) ЛЕТОМ 2023 ГОДА

PIGMENT COMPOSITION AND TAXONOMIC STRUCTURE OF PHYTOPLANKTON IN  
THE CURONIAN LAGOON (BALTIC SEA) IN SUMMER 2023

**Щербаков Сергей Александрович<sup>1,2</sup>, Ланге Евгения Кирилловна<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Институт океанологии имени П. П. Ширшова РАН, Москва*

<sup>2</sup> *Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининград*

**Shcherbakov Sergey Alexandrovich<sup>1,2</sup>, Lange Evgeniia Kirillovna<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow*

<sup>2</sup> *Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad*

## **Введение**

Куршский залив – одна из лагун Балтийского моря, активно используемая в хозяйственной деятельности человека. Гиперэвтрофный залив характеризуется высоким таксономическим разнообразием и продуктивностью фитопланктона, частыми цветениями воды цианобактериями, что влияет на качество водной среды [Герб и др, 2019; Ланге и др, 2020]. Пигментные показатели микроводорослей активно используются в качестве чувствительных индикаторов состояния фитопланктонного сообщества [Минеева, 2019]. Состав, содержание и соотношение фотосинтетических пигментов в клетках видоспецифичны, находятся в тесной зависимости от стадии развития популяции соответствующего вида водорослей, абиогенных и биогенных факторов водной среды. Общим пигментом для всех таксономических групп фитопланктона является хлорофилл-а, по содержанию которого в водной среде можно оценить продуктивность фитопланктона в целом, рассчитать его биомассу, определить трофность водных объектов [Кириллова, Кириллов, 2010]. Другие пигментные показатели фитопланктона (хлорофиллы-*b* и *-c*, пигментные индексы E480/E664, E450/E480, E430/E664, каротиноиды, феопигменты, соотношение содержания каротиноидов и хлорофилла-а) связаны со структурными характеристиками фитопланктона и его стадией развития [Сиделев, Бабаназарова, 2008]. Цель данной работы – оценить состояние фитопланктона по его пигментным показателям в прибрежной зоне Куршского залива летом 2023 г.

## **Материалы и методы**

В ходе экспедиции в Куршском заливе в июле 2023 г. были отобраны пробы воды на определение фитопланктона и фотосинтетических пигментов (хлорофиллы-*a*, *-b*, *-c*, каротиноиды, феопигменты), а также на измерение активной флуоресценции хлорофилла-*a*. Отбор проб проведен батометром (горизонта 0-0,5 м) на трех стандартных станциях мониторинга АО ИО РАН (ст. 440, 439, 407), локализованных в западной части прибрежной

зоны залива. Пробы фитопланктона объемом 1 л фиксировали модифицированным раствором Люголя, концентрировали седиментационным методом и просчитывали в камере Нахотта объемом 0,05 мл под микроскопом Leica CME (400x) [Руководство..., 1992]. Пигментные пробы объемом 0,2 л фильтровали через мембранные фильтры «Владипор МФАС-М1», взвесь с фильтров гомогенизировали. Пигменты экстрагировали в течение 60 минут при температуре 5 °С, полученный экстракт центрифугировали с ускорением 4000g с целью удаления светорассеивающей взвеси. Концентрацию пигментов в очищенном от взвеси экстракте определяли стандартным спектрофотометрическим методом с использованием формул для фитопланктонного комплекса с преобладанием цианобактерий [UNESCO, 1966]. Пробы воды на флуоресценцию хлорофилла-а объемом 0,2 л были адаптированы к темноте в течение часа при температуре 5 °С. Измерения базовой (F0) и активной (Fm) флуоресценции в пробах выполнялись на флуориметре WALZ WATER-PAM II до и после фильтрации проб через стекловолоконные фильтры диаметром пор 0,22 мкм. На основе измеренных параметров была рассчитана относительная переменная флуоресценция (Fv/Fm), отражающая потенциальную способность фитопланктона к усвоению световой энергии.

## Результаты

В структуре количественных показателей фитопланктона на всех исследованных станциях цианобактерии занимали лидирующее положение. Повсеместно по численности доминировали мелкоклеточные колонии р. *Cyanodictyon* (<2 мкм), в результате чего суммарная численность фитопланктона достигала, например, на ст. 407 – 400 млн. кл./л. Вклад цианобактерий в биомассу фитопланктона был максимальным на ст. 407 (38 %) за счет вегетации потенциально токсичных видов р. *Microcystis*. Кроме цианобактерий на исследованных участках доминировали зеленые (на всех станциях), диатомовые (ст. 439, 407) и харовые (ст. 440, 439).

Содержание основного фотосинтетического пигмента хлорофилл-а (Хл-а) на ст. 439\* и 440 имел сходную величину, тогда как на ст. 407 она была в 2,5 раза выше (табл. 1).

Таблица 1. Пигментные показатели в западной прибрежной зоне Куршского залива в июле 2023 г.

Станция	Хла, мкг/л	Фа, мкг/л	Хлб, мкг/л	Хлс, мкг/л	К, мкг/л
440	25	8	3	4	15
439*	29	7	2	9	20
407	64	22	0	6	33

Содержащийся преимущественно в зеленых и эвгленовых водорослях хлорофилл-в (Хл-в) на ст. 440 и 439\* изменялся незначительно (2-3 мкг/л) в то время, как на ст. 407 этого пигмента в пробе не оказалось (табл. 1). В июльском фитопланктоне эвгленовые не развивались, и источником Хл-в могли быть только зеленые. При отмирании фитопланктона Хл-в быстро разрушается во внешней среде, поэтому его отсутствие косвенно свидетельствует о деградации фитопланктонного сообщества (зеленых) на ст. 407. Это подтверждалось изменением величины концентрации феофитина-а (Ф-а) – продукта деструкции хлорофилла-а на заключительном этапе жизненного цикла микроводорослей и/или в результате воздействия неблагоприятных условий, на ст. 407 по сравнению с двумя другими станциями, где содержание Фа было в 3 раза ниже (табл. 1). Содержание суммарного хлорофилла-с (Хл-с), который является вспомогательным фотосинтетическим пигментом диатомовых и золотистых водорослей (последние в планктоне не встретились), менялась по станциям незначительно (табл. 1). Концентрация самых устойчивых к разрушению пигментов – каротиноидов, была

наиболее низкой на ст. 407, вероятно, отмирание фитопланктона на этом участке акватории началось раньше, чем на других участках.

Удельное содержание Хл а в единице биомассы фитопланктона было одинаковым на ст. 440 и 439\* и повышалось на ст. 407 (табл. 2), что свидетельствовало о различиях размерных фракций в фитопланктоценозах указанных станций (на ст. 407 вегетировали более крупные формы из диатомовых). Удельное содержание Ф-а в единице биомассы фитопланктона было наибольшим на ст. 407, что также подтверждало наличие активного разрушения микроводорослей на данном участке прибрежной зоны.

Таблица 2. Удельное содержание пигментов в единице биомассы (В) в западной прибрежной зоне Куршского залива в июле 2023 г.

Станция	В, мг/м <sup>3</sup>	Хл-а/В, %	Ф-а/В, %	Хл-б/В, %	Хл-с/В, %	К/В, %
440	1447	1,71	0,55	0,22	0,24	1,02
439*	1676	1,73	0,40	0,12	0,52	1,22
407	3314	1,93	0,65	0,00	0,19	1,00

Величина показателя базовой флуоресценции (F<sub>0</sub>), отражающего относительное значение Хл-а, была схожей на ст. 440 и 439\*, на ст. 407 она возрастала более чем в 2 раза, что согласовалось с результатами Хл-а, полученными при помощи спектрофотометрического метода. Величина показателя переменной флуоресценции (F<sub>v</sub>/F<sub>m</sub>), отражающей потенциальную фотосинтетическую способность фитопланктона, на ст. 439\* и 440 свидетельствовала о сниженной способности фитопланктона к усвоению световой энергии, на ст. 407 (табл. 3). Это могло быть результатом ветрового нагона фитопланктонной биомассы на стадии деструкции в день пробоотбора. Более высокое отношение Ф-а к Хл-а и визуальный просмотр проб фитопланктона подтверждают эти наблюдения.

Таблица 3. Показатели базовой (F<sub>0</sub>), активной (F<sub>m</sub>) и переменной флуоресценции (F<sub>v</sub>/F<sub>m</sub>)

Станция	F <sub>0</sub> , отн. ед.	F <sub>m</sub> , отн. ед.	F <sub>v</sub> /F <sub>m</sub> , отн. ед.
440	1344	2341	0,426
439*	1507	2766	0,455
407	3371	4048	0,167

## Выводы

В работе проведен анализ таксономического состава и количественных показателей фитопланктона, дана оценка пространственного распределения Хл-а и таксонспецифичных пигментов в акватории западной прибрежной части Куршского залива. На основе анализа пигментных и флуоресцентных показателей дана оценка функционального состояния фитопланктонного сообщества высокоэвтрофного водоема.

## Финансирование

Отбор проб выполнялся при поддержке VI Международной летней школы "Береговая зона моря: исследования, управление и перспективы", обработка и анализ полученных данных выполнялись в рамках госзадания ИО РАН (тема №FMWE-2021-0012).

### Список литературы:

1. Герб М.А., Ежова Е. Е., Ланге Е.К., Володина А. А., Кочешкова О.В., Родионова Н.В., Смирнова М.М. Характеристика состояния биоты литоральной зоны Куршского залива на территории национального парка «Куршская коса» в 2018 году // Проблемы изучения и охраны природного и культурного наследия национального парка «Куршская коса»: сб. науч. статей / Сост. И.П. Жуковская. Калининград: Изд-во БФУ им. И. Канта. – 2019. – Вып. 15. – С. 82–109.
2. Ланге Е.К., Герб М.А., Ежова Е. Е., Володина А. А., Кочешкова О.В., Родионова Н.В., Королева Ю.В., Таран В.С. Результаты экологического мониторинга прибрежной зоны Куршского залива на территории национального парка «Куршская коса» в 2019 году // Проблемы изучения и охраны природного и культурного наследия национального парка «Куршская коса»: сб. науч. статей / Сост. И.П. Жуковская. Калининград: Изд-во БФУ им. И. Канта. – 2020. – Вып. 16. – С. 99–137.
3. Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем / Под ред. В.А. Абакумова. СПб.: Гидрометеиздат. – 1992. – 318 с.
4. Сиделев С.И., Бабаназарова О.В. Анализ связей пигментных и структурных характеристик фитопланктона высокоэвтрофного озера // Журнал СФУ. Биология. – 2008. – С.162–177.
5. Кириллова Т. В., Кириллов В. В. Соотношение хлорофилла и биомассы в фитопланктоне водотоков и водоемов бассейна верхнего Чулыма // МНКО. – 2010. – №4-2. –С. 280–285.
6. Минеева, Н.М. Растительные пигменты как показатель состояния экосистемы водохранилищ / Н.М. Минеева // Современная экологическая ситуация в Рыбинском и Горьковском водохранилищах: состояние биологических сообществ и перспективы рыбозаведения. – Ярославль. – 2000. – С.66–83.
7. SCOR-UNESCO Working group № 17. Determination of photosynthetic pigments in sea-water // Monographs on Oceanologic Methodology. Paris. UNESCO. – 1966. – P. 9–18.



УДК 574.5; (268.46)

Рубрика 34.35.33

КАРТЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ БЕРЕГОВ К РАЗЛИВАМ НЕФТИ. ВОПРОСЫ ПОСТРОЕНИЯ И СФЕРЫ ПРИМЕНЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ КОЛЬСКОГО ЗАЛИВА, БАРЕНЦЕВА МОРЯ

THE MAPS OF ENVIRONMENTAL SENSITIVITY TO OIL SPILLS. DEVELOPMENT AND APPLICATION ON THE EXAMPLE OF THE KOLA BAY

**Ващенко Павел Сергеевич<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Мурманский морской биологический институт РАН, Мурманск

**Vashchenko Pavel Sergeevich<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Murmansk Marine Biological Institute RAS, Murmansk

## **Введение**

В случае возникновения аварийной ситуации разлива нефти на море, прибрежная и береговая зоны являются наиболее значимыми с точки зрения масштабов экологических последствий. Участки побережья в зависимости от их структуры, могут значительно отличаться с точки зрения сложности уборки последствий разлива и степени его воздействия. Для решения задачи выявления наиболее ранимых или более устойчивых к загрязнению участков, в планах ЛРН, для побережья большого числа стран применяются карты чувствительности [РИЕСА, ИМО, OGP, 2012; РИЕСА, IOGP, 2016; Goto et al., 2006]. Определение чувствительности базируется на классификации разработанной Gundlach, Hayes, 1978. На сегодняшний день имеются рекомендации по разработке карт чувствительности [NOAA, 2008; Petersen et al., 2019]. Такие карты, в первую очередь содержат сведения о характеристиках береговой зоны включая: тип субстрата, уклон берега, наличие/отсутствие растительности и занимаемую ей площадь и т.д. Чувствительность береговой линии представляется в ранжированном виде, как правило в градациях 1-10 (с подтипами), где 10 максимально чувствительные участки, которые необходимо защитить от попадания нефти. Понятие чувствительность в данном подходе включает в себя степень экологических последствий разлива, способность к накоплению загрязнения на берегу, сложность уборки того или иного участка берега и т.д. При этом учитываемые параметры представлены в виде некоторых порядковых величин, т.е. не могут быть оценены количественно. В этой связи невозможно говорить о том, что участок с чувствительностью «2» в два раза чувствительнее чем «1».

## **Методы получения исходных данных для карт экологической чувствительности**

При подготовке карт наиболее трудоемкой и затратной задачей является сбор данных о чувствительности берега. Для построения карт чувствительности могут использоваться различные источники [Boak, Turner, 2005]: архивные источники (исторические фото, навигационные карты и планы), фото и видеоматериалы полученные, полевые наблюдения, дистанционные методы.

Основными источниками данных, как правило, являются фото видео съемка [Petersen et al., 2019] полученная одним из трех способов: с борта судна, летательного аппарата, либо непосредственно с берега. Каждый из этих способов имеет свои преимущества и недостатки.

В период с 2008 по настоящее время, нами выполнялась оценка и актуализация чувствительности побережья Кольского залива и построение соответствующих карт [Калинка и др. 2008; Ващенко, Калинка, 2013; Ващенко 2018; Vashchenko, Shavykin, 2021].

### **Особенности использования различных методов**

Определение чувствительности непосредственно с берега имеет среднюю эффективность. Такой подход позволяет выполнить не только визуальный осмотр береговой линии (см. рис. 1а), но и отбор проб макрофитов с целью определения биомассы, или выполнение гранулометрического анализа грунта, что невозможно при использовании иных рассматриваемых подходов. При этом, съемка с берега наиболее времязатратна (на единицу протяженности берега) и имеет ограничения с точки зрения возможности высадки на тот или иной участок или выполнения работ на нем. Такой подход стоит применять для картографирования районов с высокой чувствительностью выявленных более простыми в реализации методами.

Определение чувствительности путем съемки с борта судна дает неплохие результаты, однако требует много времени на обработку данных. Такие данные не могут быть нанесены на карту напрямую поскольку координаты съемки (с акватории) необходимо сопоставить с профилем берега на карте в ручном режиме. Кроме того, не во всех случаях движение судна возможно на достаточном для оценки чувствительности приближении к берегу (см. рис. 1б).

Съемка побережья с воздуха (см. рис. 1в), особенно с помощью беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) весьма эффективна. Использование аэрофотоснимков, позволяет точно определять границы участков с различной чувствительностью благодаря построению ортофотоплана. Основным ограничением применения данного метода являются запреты на полеты над рядом участков побережья и погодные условия. Материалы аэрофотосъемки также позволяют получить цифровую модель местности, что необходимо для оценки высот на отснятом участке. Эти сведения используются для оценки экологической чувствительности участков, которые имея одинаковый тип субстрата отличаются уклоном берега. Получаемые таким образом материалы, могут быть полезны не только при планировании действий при защите от разливов нефти, но и при изучении пространственного распределения литоральных сообществ.



Рис 1. Примеры снимков Кольского залива, Баренцева моря использованные для построения карты чувствительности к разливам нефти. а – снимок непосредственно с берега; б – снимок с борта судна; в – фрагмент ортофотоплана на основе снимков с БПЛА.

### Сферы применения карт экологической чувствительности

Основным направлением применения карт экологической чувствительности является приоритизация участков берега для защиты от разливов нефти. Высокая чувствительность предполагает, что на данном участке степень проникновения нефти в подстилающий слой почвы и время естественного удержания нефти на берегу высоки. По результатам [Калинка и др. 2008; Ващенко, Калинка, 2013; Ващенко 2018; Vashchenko, Shavykin, 2021] построения карт экологической чувствительности для Кольского залива можно отметить следующие типы берегов: участки с искусственными конструкциями и портовыми сооружениями – 23.6 % от общей протяженности; скалистые участки – 34.2 %; песчаные отмели – 26.1 %. Участки берега с иными типам чувствительности представлены в меньшей степени.

Материалы оценки чувствительности, кроме основной задачи, имеют потенциал применения при мониторинге пространственного распределения биоты в литоральной зоне. Они позволяют получить как описание условий обитаний (тип субстрата, уклон берега), а в случае применения аэрофотосъемки, и ряд параметров пространственного распределения макрофитов (площадь проективного покрытия, границы распределения видов).

### Заключение

В данной работе представлен опыт построения таких карт (с использованием широкого набора полевых методов – от пеших наблюдений до аэрофотосъемки), оценен потенциал их

применения, в том числе для мониторинга пространственного распределения и оценки запасов биоты в литоральной зоне.

### Финансирование

Работа выполнена в рамках темы НИР «Планктонные сообщества арктических морей в условиях современных климатических изменений и антропогенного воздействия» номер ЕГИСУ НИОКТР – 121091600105-4.

### Список литературы

1. *Ващенко П.С.* Картограммы экологической чувствительности берегов Кольского залива // Кольский залив и нефть: биота, карты уязвимости, загрязнение. – ММБИ КНЦ РАН. – СПб.: Реноме, 2018. С. 365-384.
2. *Ващенко П.С., Калинин О.П.* Применение ГИС технологий для оценки чувствительности побережья Кольского залива к разливам нефти // Вестник МГТУ. Том 16, №3. 2013. С. 542-549
3. *Калинин О.П., Шавыкин А.А., Ващенко П.С.* Оценка чувствительности берегов Кольского залива к нефтяному загрязнению. // Нефть и газ арктического шельфа – 2008: Материалы международной конференции. Мурманск, 12-14 ноября. Мурманск: ММБИ КНЦ РАН, 2008. С. 168-178.
4. *Калинин О.П., Шавыкин А.А., Ващенко П.С.* Оценка чувствительности берегов Кольского залива к нефтяному загрязнению. // Нефть и газ арктического шельфа – 2008: Материалы международной конференции. Мурманск, 12-14 ноября. Мурманск: ММБИ КНЦ РАН, 2008. С. 168-178.
5. *Boak E.H., Turner I.L.* Shoreline Definition and Detection: A Review // Journal of Coastal Research. Vol. 21. No. 4. 2005. P. 688–703.
6. *Goto S., Masumi Y., Seiichi H., Nobuhiro S., Kunihisa S. & Kazuko S.* Environment sensitivity analysis for near shore region using GIS based ESI map // The International Symposium on Disaster Prevention. Japan, Kochi. 2006. URL: [https://ssms.jp/wp-content/uploads/PDF/ssms2006/SMS06-112\\_Goto.pdf](https://ssms.jp/wp-content/uploads/PDF/ssms2006/SMS06-112_Goto.pdf).
7. *Gundlach E.R., Hayes M.O.* Vulnerability of coastal environments to oil spill impacts // Mar. Tech. Soc. V. 12, iss. 4. 1978. P. 18–27.
8. IPIECA, IMO, OGP (International Petroleum Industry Environmental Conservation Association, International Maritime Organization, International Association of Oil & Gas Producers) Sensitivity mapping for oil spill response. London. 2012. 39 p. URL: <http://www.ipieca.org/publication/sensitivitymapping-oil-spill-response-0>.
9. IPIECA, IOGP (International Petroleum Industry Environmental Conservation Association, International Association of Oil & Gas Producers) Contingency planning for oil spills on water Good practice guidelines for the development of an effective spill response capability. 2016. 60 p. URL: <https://www.ipieca.org/resources/good-practice/contingency-planning-for-oil-spills-on-water/>.
10. NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) Introduction to environmental sensitivity index maps. 2008. 56 p. URL: [http://response.restoration.noaa.gov/sites/default/files/ESI\\_Training\\_Manual.pdf](http://response.restoration.noaa.gov/sites/default/files/ESI_Training_Manual.pdf)
11. *Petersen J., Nelson D., Marcella T., Michel J., Atkinson M., White M., Boring C., Szathmary L., Weaver J.* Environmental Sensitivity Index Guidelines, Version 4.0. NOAA Technical

Memorandum NOS OR&R 52. 2019. 228 p. URL:  
[https://response.restoration.noaa.gov/sites/default/files/ESI\\_Guidelines.pdf](https://response.restoration.noaa.gov/sites/default/files/ESI_Guidelines.pdf).

12. *Vashchenko P.S., Shavykin A.A.* Aerial photography for assessing the sensitivity of the coast to oil spills (On the example of the Kola bay) // *Nat. Volatiles & Essent. Oils.* Vol.; 8(4). 2021. 5917-5930.



УДК 551.465.6:581.526.325

Рубрика 34.29.35

СЕЗОННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПЕРВИЧНОЙ ПРОДУКЦИИ И ХЛОРОФИЛЛА  
РАЗМЕРНЫХ ГРУПП ПОВЕРХНОСТНОГО ФИТОПЛАНКТОНА КАРСКОГО МОРЯ

SEASONAL VARIABILITY OF PRIMARY PRODUCTION AND CHLOROPHYLL OF  
SIZE-FRACTIONATED SURFACE PHYTOPLANKTON IN THE KARA SEA

**Тюрина Анастасия Сергеевна<sup>1,2</sup>, Демидов Андрей Борисович<sup>2</sup>, Белевич Татьяна  
Алексеевна<sup>3</sup>, Воробьева Ольга Владимировна<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> *Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева, Москва*

<sup>2</sup> *Институт океанологии имени П. П. Ширшова РАН, Москва*

<sup>3</sup> *Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, биологический факультет, Москва*

<sup>4</sup> *Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии, Москва*

**Tiurina Anastasia Sergeevna<sup>1,2</sup>, Demidov Andrey Borisovich<sup>2</sup>, Belevich Tatiana  
Alekseevna<sup>3</sup>, Vorobieva Olga Vladimirovna<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> *D. I. Mendeleev Russian University of Chemical Technology, Moscow*

<sup>2</sup> *Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow*

<sup>3</sup> *Lomonosov Moscow State University, Faculty of Biology, Moscow*

<sup>4</sup> *Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, Moscow*

## **Введение**

Одна из основных целей биоокеанологических исследований в Карском море - расширение знаний о размерной структуре сообществ фитопланктона. Это очень важно для понимания процессов первичного продуцирования, передачи вещества и энергии через пищевые цепи, биоседиментации и обмена углекислым газом между океаном и атмосферой. Изучение этих процессов имеет критически важное значение в Арктическом океане, так как его экосистемы быстро изменяются из-за повышения температуры и уменьшения площади льда. Изменения размерного состава фитопланктона и его вклада в суммарные величины первичной продукции (ПП) и хлорофилла "а" (Хл) являются индикатором климатических изменений в регионе.

И, наконец, фундаментальной задачей изучения продукционных процессов в Карском море, на решение которой направлен сбор многолетнего экспедиционного материала, является изучение закономерностей формирования первичной продукции. Особенно важно изучить, как различные абиотические факторы (такие как интенсивность солнечной радиации, концентрация биогенных элементов, температура, соленость) влияют на величину этого показателя для различных размерных групп фитопланктона.



## Данные и методы

Для определения Хл и ПП на станциях пробы воды отбирали с поверхности пластиковыми батометрами комплекса “Rosette”.

ПП измеряли при помощи радиоуглеродной модификации скляночного метода [Stemann Nielsen, 1952]. Концентрацию Хл измеряли при помощи флуориметрического метода [Holm-Hansen et al., 1965]. Пробы объемом 500 мл фильтровали через стекловолокнистые фильтры марки GF/F фирмы Whatman. Расчет концентрации хлорофилла “а” проводили согласно [Holm-Hansen, Riemann, 1978].

Концентрация Хл и ПП были определены для микрофитопланктона (> 20 мкм), нанофитопланктона (3 – 20 мкм) и пикофитопланктона (< 3 мкм). Для выделения этих размерных фракций пробы воды последовательно фильтровались на сито со средним диаметром ячеек ~ 20 мкм, аналитическую трековую мембрану (АТМ) с диаметром пор 3 мкм («Реатрак», Россия), фильтры «Millipore» (0.45 мкм) из нитроцеллюлозы (для фракционирования ПП) и стекловолокнистые фильтры GF/F (для фракционирования Хл). С этой целью использовались фильтровальные воронки фирмы «Sartorius».

В работе использовались данные 104 станций, полученные в экспедициях с 2017 по 2022 гг. в Карском море. Все результаты были распределены по месяцам (с июня по октябрь), после чего, по каждому отдельно взятому параметру были найдены медианы, по которым строились графики.

Для оценки степени взаимосвязи между переменными использовался корреляционный анализ.

### Результаты. Сравнение абсолютных величин Хл и ПП размерных групп и их вклада в суммарные значения

В июне концентрация Хл микрофитопланктона в 14,3; 9,6; 17,1; 13,3 превосходит результаты, полученные за июль, август, сентябрь и октябрь соответственно. В свою очередь, июньское значение ПП превышает показатели июля в 47,4 раза; августа в 22,4; сентября в 85,9 и октября в 143,3, что, в свою очередь, вносит наибольший вклад в суммарные величины этих показателей (рис. 1). Доля Хл и ПП изменяется с июня по октябрь от 84,9% до 25,6% и от 95,8% до 14,4%, соответственно. В течение исследуемого периода наблюдается сходство в графиках Хл и ПП. Однако, в июне вклад Хл (> 20 мкм) в общую концентрацию оказался меньше, чем вклад первичной продукции, в то время как в остальные месяцы ситуация была обратной.

По графикам, изображенным на рис. 2, можно сделать вывод, что доля Хл и ПП нанофитопланктона с июня по октябрь постоянно возрастает, так, %Хл изменяется от 11,3% до 37,9%, а %ПП от 3,4% до 38,1%. При этом, наибольшие абсолютные значения Хл и ПП приходится не на октябрь (месяц с их наибольшим процентным содержанием, относительно других размерных групп), а на июнь. За исследуемый период, Хл (3 - 20 мкм) достигает минимальных значений в августе, уменьшаясь в 2,5 раза относительно июня, а наименьшее значение ПП приходится на октябрь, к которому ее концентрация снижается в 2,2 раза.

Максимальные значения Хл и ПП пикофитопланктона (< 3 мкм) приходится на сентябрь и август (0,14 мг/м<sup>3</sup> и 3,03 мг/м<sup>3</sup> в день соответственно). Отношение максимальных значений к минимальным для Хл составляет 2,4 и 4,8 для ПП. Минимальное значение %Хл приходится на июнь – 5,6%, максимальное на сентябрь – 44,8%, у %ПП минимальная доля в июне - 1,8%, максимальная в августе – 55,8%. По графикам изменения их концентраций сопоставимы возрастанию и уменьшению вклада этой размерной группы в суммарные величины Хл и ПП. Интересно, что в июле наблюдается спад Хл, при этом его процентное содержание продолжает возрастать (рис. 3).

Таким образом, концентрация микрофитопланктона была наибольшей среди всех размерных групп, а его вклад уменьшался с июня по октябрь. Содержание нанофитопланктона было наименьшим, при этом, его доля, напротив, возрастала с каждым месяцем. Вклад пикофитопланктона возрастал к августу и снижался к октябрю.

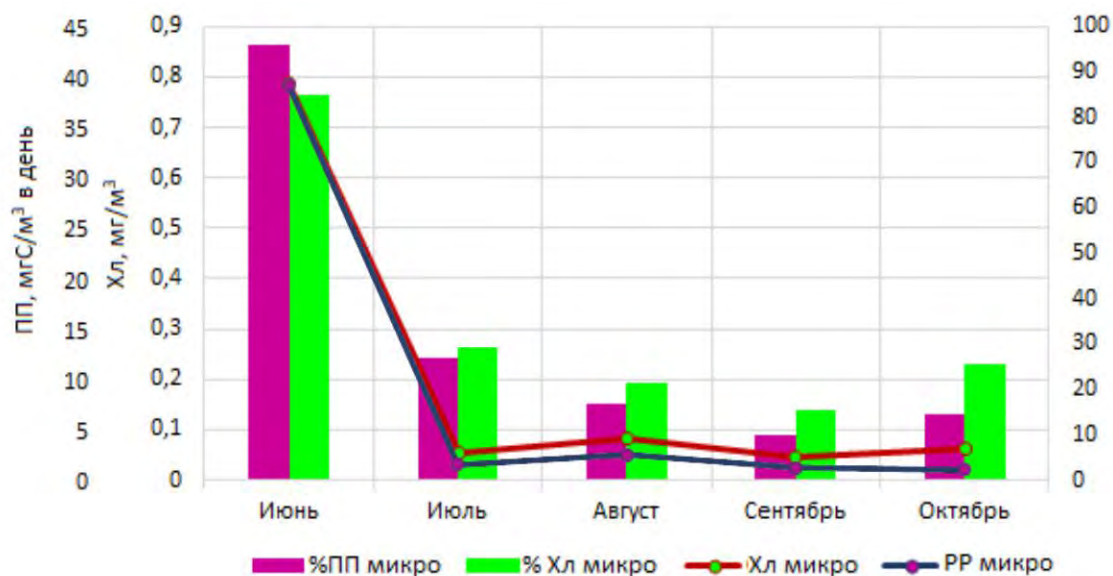


Рис 1. Абсолютные значения Хл и ПП микрофитопланктона (> 20 мкм) и их вклад в суммарные величины (%Хл) и (%ПП) Карского моря с июня по октябрь.

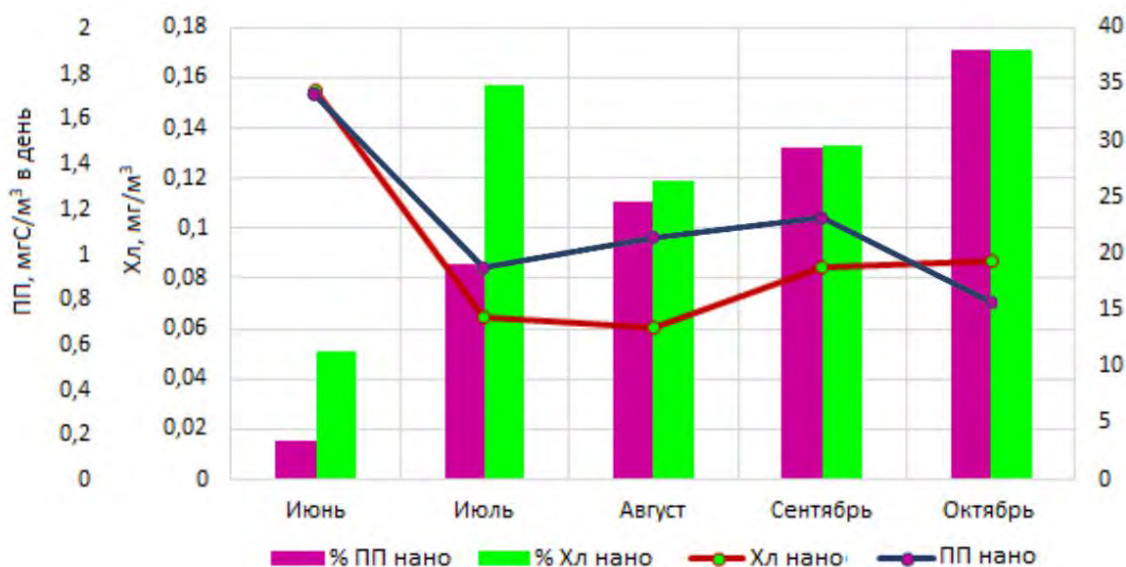


Рис 2. Абсолютные значения Хл и ПП нанофитопланктона (3 - 20 мкм) и их вклад в суммарные величины (%Хл) и (%ПП) Карского моря с июня по октябрь.



Рис 3. Абсолютные значения Хл и ПП пикофитопланктона (< 3 мкм) и их вклад в суммарные величины (%Хл) и (%ПП) Карского моря с июня по октябрь.

### Зависимость Хл и ПП размерных групп фитопланктона от факторов среды

По результатам корреляционного анализа выяснилось, что в течение исследованного периода на ПП микрофитопланктона в большей степени оказали влияние температура и фотосинтетически активная радиация (ФАР). На содержание Хл микрофитопланктона оказывали влияние также фосфаты и неорганический кремний (табл. 1).

Определенный интерес представляет то, что на ПП нанофитопланктона влияли многие факторы (такие как температура, соленость, фосфаты, неорганический кремний, неорганический азот, нитритный и нитратный азот), в то время как на процентное содержание повлиял один параметр – ФАР. Содержание Хл той же размерной группы оказалось зависимым от тех же параметров, за исключением температуры, которая не влияла на его содержание в суммарных величинах (табл. 1).

На ПП и Хл пикофитопланктона оказали влияние температура, соленость и неорганический кремний. На его вклад в суммарную величину ПП также повлияла температура, ФАР, нитритный и нитратный азот, а на вклад в суммарный Хл – фосфаты и неорганический кремний.

Таблица 1. Влияние абиотических факторов на Хл и ПП размерных групп фитопланктона Карского моря.

Параметр	Ст.	T	S	PO <sub>4</sub>	Si	NO <sub>2</sub> +NO <sub>3</sub>	NH <sub>4</sub>	DIN	E_0
ПП микро	R	<b>-0,3103</b>	-0,0858	0,0671	0,0621	0,0101	-0,1075	-0,0347	<b>0,4555</b>
	P	<b>0,0064</b>	0,4610	0,5646	0,5940	0,9312	0,4221	0,7959	<b>0,0002</b>
	N	76	76	76	76	76	58	58	64
% ПП микро	R	<b>-0,4753</b>	-0,0508	0,1708	0,1042	0,1038	-0,0032	0,0893	<b>0,6517</b>
	P	<b>1,432E-05</b>	0,6630	0,1401	0,3702	0,3721	0,9807	0,5048	<b>5,47E-09</b>
	N	76	76	76	76	76	58	58	64
ПП нано	R	<b>0,2871</b>	<b>-0,7606</b>	<b>0,2593</b>	<b>0,6653</b>	<b>0,4588</b>	<b>0,2981</b>	<b>0,4548</b>	0,0361
	P	<b>0,0119</b>	<b>1,57E-15</b>	<b>0,0237</b>	<b>5,524E-11</b>	<b>3,069E-05</b>	<b>0,0230</b>	<b>0,0003</b>	0,7769
	N	76	76	76	76	76	58	58	64
% ПП нано	R	0,0845	-0,1112	0,0359	0,1432	0,1838	0,1213	<b>0,2504</b>	<b>-0,3208</b>
	P	0,4678	0,3391	0,7584	0,2171	0,1120	0,3642	0,0580	<b>0,0098</b>
	N	76	76	76	76	76	58	58	64
ПП пико	R	<b>0,4158</b>	<b>-0,4969</b>	0,0281	0,2330	-0,0179	0,1114	-0,0151	-0,1753
	P	<b>0,0001</b>	<b>2,05E-06</b>	0,8032	<b>0,0364</b>	0,8741	0,3849	0,9063	0,1466
	N	82	81	81	81	81	63	63	70
% ПП пико	R	<b>0,4595</b>	0,1296	-0,2170	-0,2056	-0,2245	-0,0326	-0,2292	<b>-0,4598</b>
	P	<b>1,408E-05</b>	0,2458	0,0516	0,0655	<b>0,0439</b>	0,8000	0,0707	<b>6,22E-05</b>
	N	82	82	81	81	81	63	63	70
Хл микро	R	<b>-0,3296</b>	-0,0650	0,1000	0,0721	0,0474	-0,0962	0,0064	<b>0,4467</b>
	P	<b>0,0025</b>	0,5616	0,3713	0,5200	0,6724	0,4496	0,9598	<b>0,0001</b>
	N	82	82	82	82	82	64	64	69
% Хл микро	R	<b>-0,5276</b>	0,0947	0,0780	-0,0340	-0,0174	-0,0878	-0,0420	<b>0,6291</b>
	P	<b>3,524E-07</b>	0,3972	0,4862	0,7616	0,8767	0,4902	0,7418	<b>7,06E-09</b>
	N	82	82	82	82	82	64	64	69
Хл нано	R	0,1318	<b>-0,8342</b>	<b>0,5406</b>	<b>0,8268</b>	<b>0,6963</b>	<b>0,4708</b>	<b>0,7029</b>	0,1440
	P	0,2380	<b>2,24E-22</b>	<b>1,58E-07</b>	<b>1,089E-21</b>	<b>3,808E-13</b>	<b>8,648E-05</b>	<b>9,512E-11</b>	0,2379
	N	82	82	82	82	82	64	64	69
% Хл нано	R	0,1874	<b>-0,3357</b>	<b>0,2520</b>	<b>0,3606</b>	<b>0,3805</b>	<b>0,3178</b>	<b>0,4191</b>	-0,2447
	P	0,0918	<b>0,0020</b>	<b>0,0224</b>	<b>0,0009</b>	<b>0,0004</b>	<b>0,0105</b>	<b>0,0006</b>	<b>0,0427</b>
	N	82	82	82	82	82	64	64	69
Хл пико	R	<b>0,3958</b>	<b>-0,5820</b>	-0,0116	<b>0,3510</b>	0,0032	0,0564	0,0225	-0,2006
	P	<b>3,203E-05</b>	<b>9,16E-11</b>	0,9071	<b>0,0003</b>	0,9747	0,6451	0,8544	0,0566
	N	104	104	103	103	103	69	69	91
	R	<b>0,4743</b>	0,1575	<b>-0,2594</b>	<b>-0,2319</b>	<b>-0,2470</b>	-0,1016	-0,2345	<b>-0,4985</b>

% Хл пико	P	<b>3,653E-07</b>	0,1104	<b>0,0082</b>	<b>0,0184</b>	<b>0,0119</b>	0,4060	0,0525	<b>4,94E-07</b>
	N	104	104	103	103	103	69	69	91

**Пояснение к таблице:** T – температура, S – соленость, PO<sub>4</sub> – фосфаты, Si – растворенный неорганический кремний, NO<sub>2</sub>+NO<sub>3</sub> – нитритный и нитратный азот, NH<sub>4</sub> – аммоний, DIN – растворенный неорганический азот, E<sub>0</sub>– подповерхностная ФАР; R - коэффициент корреляции, P - достоверность корреляции.

\*Жирным шрифтом выделена достоверная корреляция при P < 0,05.

### Заключение

На основании результатов расчетов можно сделать вывод, что в Карском море за исследуемый период (июнь – октябрь) доля микрофитопланктона в суммарных величинах ПП и Хл снижается к концу вегетационного сезона, что связано с уменьшением ФАР и, в меньшей степени, увеличением температуры воды с июня по август. Вклад мелкоразмерных фракций (нано- и пикофитопланктона), напротив, имеет тенденцию к возрастанию с июня по август вслед за снижением ФАР и увеличением температуры воды на поверхности. Такая картина является отражением сезонной сукцессии фитопланктона. Главной ее чертой является доминирование микрофитопланктона в период весеннего “цветения” (июнь) и рост вклада мелкоразмерных групп в суммарные величины ПП и Хл в середине и конце вегетационного сезона.

### Финансирование

Исследование/проект выполнен при финансовой поддержке гранта РФФИ № 23-27-00061.

### Список литературы:

1. Steemann Nielsen E. The use of radioactive carbon (C14) for measuring organic production in the sea // J. Cons. Perm. Ins. Explor. Mer. 1952. № 18. – PP. 117–140.
2. Holm-Hansen O., Lorenzen C.J., Holmes R.W., Strickland J.D.H. Fluorometric determination of chlorophyll // J. Cons. Perm. Int. Explor. Mer. 1965. V. 30. – PP. 3–15.
3. Holm-Hansen O., Riemann B. Chlorophyll a determination: improvements in methodology // Oikos. 1978. V. 30. – PP. 438–447.

УДК 639.3.05

Рубрика 69.25.01

**ИХТИОЛОГИЧЕСКИЙ РЕЛИКТ *ARAPAIMA GIGAS* – УНИКАЛЬНЫЙ ОБЪЕКТ  
МИРОВОЙ АКВАКУЛЬТУРЫ**

**ICHTHYOLOGICAL RELICT *ARAPAIMA GIGAS* IS A UNIQUE OBJECT OF WORLD  
AQUACULTURE**

**Бобкова Арина Андреевна<sup>1</sup>, Никифоров Андрей Игоревич<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> НИУ ВШЭ, г. Москва

<sup>2</sup> ФГБНУ «ВНИРО», г. Москва

**Arina Andreevna Bobkova<sup>1</sup>, Andrey Igorevich Nikiforov<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> HSE University, Moscow

<sup>2</sup> VNIRO, Moscow

**Введение**

Гигантская арапаима (*Arapaima gigas*) – одна из наиболее крупных пресноводных рыб, достигающая в длину 3 м и массы до 200 кг. Изначальный ареал обитания арапаимы составлял бассейн реки Амазонки, за исключением боливийских и южных перуанских районов. Однако около 40 лет назад арапаима была намеренно или случайно занесена в бассейн Мадре-де-Диос в Перу и распространилась по всему северному боливийскому бассейну Амазонки. Сегодня вид также обитает на северо-востоке и юге Бразилии и в некоторых прибрежных районах Перу. Кроме этого, арапаима была завезена в другие страны Латинской Америки: Кубу и Мексику, а также в азиатские страны, среди которых: Китай, Филиппины, Сингапур и Таиланд. [2] Данный вид имеет высокую ценность на мировом рынке благодаря своему мясу, которое считается деликатесом. Также арапаима относительно легко разводится и выращивается в условиях аквакультуры.

**Результаты**

Арапаима помимо крупных размеров имеет несколько интересных особенностей, таких как способность дышать атмосферным воздухом и возможность переносить низкий уровень растворенного в воде кислорода, а также неприхотливость в еде: несмотря на плотоядность, данный вид может потреблять мертвую рыбу и кормовые гранулы. Примечательна и скорость роста: арапаима обладает наиболее высокой скоростью среди культивируемых видов амазонских рыб с показателем 10-15 кг/год. И наконец, важное качество арапаимы, которое делает данный вид перспективным гидробионтом для аквакультуры, – наличие мяса без внутримышечных костей.

Тем не менее, несмотря на очевидные преимущества арапаимы как объекта промышленного культивирования, существует серьезная проблема при выращивании её в неволе – высокая трудоёмкость получения мальков, требующая немалых затрат для фермеров. Это происходит



из-за того, что, во-первых, несмотря на размеры тела, плодовитость самок относительно невелика. Так, по данным исследования, проведенного в Перу, среднее количество мальков, полученное в итоге от одной самки в год, колебалось от 26 до 1063 в зависимости от самки и гидрохимических условий в водоёме (рыбоводном пруду) [7]. Во-вторых, существуют особенности репродуктивного поведения, выражающиеся в предпочтении создавать устойчивые брачные пары, привязанные к определенной территории и нуждающиеся в постройке гнезда, что также затрудняет массовое производство мальков [2].

Что касается технологической стороны выращивания арапаимы, то в ходе экспериментов были найдены наиболее оптимальные корма: зоопланктон, богатый дафниями и науплиями артемии из-за хорошей усвояемости мальками [2], а также определена оптимальная плотность посадки, равная 2000 личинок на 1 м<sup>3</sup>, при которой наблюдаются наилучшие темпы роста и более высокие показатели выживаемости (коэффициент выживаемости – 93,33%) при низких затратах на содержание [8].

Стоит также отметить важность аквакультуры как метода поддержания численности данного вида, имеющего большое экономическое и культурное значение и занесенного в приложение II “строго регулируемая и контролируемая торговля” Конвенции о международной торговле видами дикой фауны и флоры, находящимися под угрозой исчезновения, известной также как CITES II. Арапаиме в пределах естественного ареала по-прежнему угрожает опасность вследствие того, что в отношении неё ведется интенсивный браконьерский промысел. Так, по данным исследования Л. М. Каволе, К. Ч. Арантес и Л. Кастелло, было обнаружено, что 77% от общего вылова арапаимы были незаконными, при этом размер большинства выловленных особей был ниже минимального допустимого размера для лова, и значительная часть рыб была добыта после окончания разрешённого для ловли сезона [1].

На сегодняшний день выращивание арапаимы, несмотря на существенные биологические преимущества данного вида, недостаточно распространено, а статистику производства, как сообщает Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных Наций (далее – ФАО), очень трудно проверить. Тем не менее, по оценкам ФАО, общее производство арапаимы в районе Амазонки (в основном в Бразилии и Перу) составляет несколько сотен тонн [2]. Также, несмотря на отсутствие протокола культивирования данного вида у стран бассейна Амазонки, данный регион имеет большой потенциал для расширения объёмов разведения арапаимы. Так, на территории Бразилии, Перу и Колумбии существует несколько государственных рыбоводных предприятий, осуществляющих разведение арапаимы и выпуск подращенных мальков в природные водоёмы в бассейне Амазонки. Также в Бразилии находится рыбоводная компания Piexes da Amazônia, первая начавшая коммерческое выращивание арапаимы. Несколько попыток разведения этого вида были предприняты в Колумбии и Эквадоре [2].

Тем не менее, большинство бразильских фермеров не внедряют новые технологии и не проводят мониторинг параметров качества воды, несмотря на несомненную важность данных мероприятий при искусственном разведении арапаимы. Более того, применение таких практик, как наличие карантинных прудов, а также соблюдение известных биометрических показателей при формировании пар производителей, не находят должного распространения. Основная причина такого технического отставания – это функционирование рыбоводных ферм не как источников основного дохода, а как формы получения дополнительного заработка. Однако в долгосрочной перспективе развитие культивирования арапаимы требует внедрения передовых методов управления и применения технологий, адаптированных к небольшим фермерским хозяйствам, для повышения их конкурентоспособности, стандартов качества продукции и удовлетворения требований спроса [3].

Другие ограничения на развитие аквакультуры арапаимы заключаются в сложном получении молоди, высоких производственных затратах при содержании производителей, а также иных

проблемах экономического характера. Так, фермеры сообщают о трудностях с реализацией готовой продукции из-за высокой стоимости мяса арапаимы, что делает данный продукт неконкурентным на рынках развивающихся стран.

Следует отметить, что разведение арапаимы приводит к росту участия женщин в рыбоводстве, так как данный промысел распространен в районах, где преобладает женское население. Это, безусловно, повышает уровень гендерной справедливости в управлении природными ресурсами и территориями [4].

Что касается опыта азиатских стран, то в Таиланде существует крупная ферма, занимающаяся разведением арапаимы для продажи по всему миру – «Сириван Арапаима». Примечательно, что данная ферма единственная в стране, имеющая лицензию СИТЕС, позволяющую экспортировать мясо редкой рыбы. Основатель фермы, Кхун Сириван, начал разводить арапаим с 1992 года, после покупки всего трех мальков.

Изначально мужчина не предполагал вести разведение арапаим как бизнес, он приобрел животных, «потому что понравились форма, внешний вид и цвет рыб», однако по прошествии десятилетия ферма начала окупаться и стала крупным производителем деликатесного мяса.

Сегодня основной рынок сбыта для «Сириван Арапаима» – международный. Внутренний рынок не создает необходимый спрос из-за дороговизны рыбы. Однако для выхода на рынки Кореи, Японии, Китая, Нидерландов и Дубая потребовалась лицензия СИТЕС, которую Кхун Сириван запрашивал из Швейцарии. При этом директор «Сириван Арапаима» часто даёт интервью различным СМИ, в которых делится личным опытом в выращивании арапаим и некоторыми практическими рекомендациями [10].

Для другой азиатской страны, Индонезии, арапаима стала потенциально опасным инвазивным видом из-за схожего с Бразилией климата. В Индонезию арапаима изначально была завезена как разводимое в аквакультуре декоративное животное, но сегодня, как установили ученые под руководством Я. Марковой из Чешского университета, арапаима встречается в различных водоёмах на Яве и Суматре, где ее ловят местные жители. Основываясь на схожести климата, ученые пришли к выводу, что подавляющее большинство территории Индонезии вполне подходит для обитания данного вида, что создает существенную угрозу для местных гидрэкосистем [6А].

## **Выводы**

Исходя из представленных выше данных, арапаима может быть причислена к одним из наиболее перспективных объектов мировой аквакультуры благодаря целому ряду преимуществ, а её разведение становится все более распространенным, особенно в странах естественного и расширенного ареала в Южной Америке, где снижение численности арапаимы из-за браконьерства делает аквакультуру перспективным решением для сохранения этой ценной рыбы. В странах же Юго-Восточной Азии, куда арапаима была ввезена с целью искусственного культивирования, разведение данного вида требует чёткого соблюдения всех рыболовных регламентов, так как арапаима является инвазивным видом по отношению к нативным ихтиоценозам региона.

## **Список литературы:**

1. Cavole L. M., Arantes C. C., Castello L. How illegal are tropical small-scale fisheries? An estimate for arapaima in the Amazon // Fisheries Research. – 2015. – Т. 168. – С. 1-5.

2. FAO Cultured Aquatic Species Information Programme. *Arapaima gigas* [Электронный ресурс] URL: [http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Arapaima\\_gigas/en](http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Arapaima_gigas/en)
3. Flexa do Amaral M. C. et al. Management and technological practices in Amazonian fish farms: A case study in the Southeast of Para // *Aquaculture*. – 2019. – Т. 507. – С. 183-189.
4. Franco C. L. B. et al. Community-based environmental protection in the Brazilian Amazon: Recent history, legal landmarks and expansion across protected areas // *Journal of Environmental Management*. – 2021. – Т. 287. – С. 112314.
5. IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2020. Pesquisa da Pecuaria Municipal 2017, 2018 and 2019. [Электронный ресурс] URL: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/3940#resultado>
6. Marková J. et al. Conservation paradox of giant arapaima *Arapaima gigas* (Schinz, 1822)(Pisces: Arapaimidae): endangered in its native range in Brazil and invasive in Indonesia // *Knowl Manag Aquat Ecosyst*. – 2020. – Т. 421. – С. 47.
7. Núñez, J., Chu-Koo, F., Berland, M., Arévalo L., Ribeyro, O., Duponchelle, F. & Renno, J.F. 2011. Reproductive success and fry production of the paiche or pirarucu, *Arapaima gigas* (Schinz), in the region of Iquitos, Perú. *Aquaculture Research*, 42:815-822.
8. Santana T. M. et al. Stocking density for arapaima larviculture // *Aquaculture*. – 2020. – Т. 528. – С. 735565.
9. Valenti W. C. et al. Aquaculture in Brazil: past, present and future // *Aquaculture Reports*. – 2021. – Т. 19. – С. 100611.
10. WWW. TECHNOLOGYCHAOBAN.COM: «Сириван Арапайма» разводит «амазонскую змееголовую рыбу» для продажи по всему миру. Только одно место в стране. от 22 апреля 2019 г. Matichon Public Company Limited [Электронный ресурс] URL: [https://www.technologychaoban.com/pet/article\\_54255](https://www.technologychaoban.com/pet/article_54255)

УДК 574.9

Рубрика 34.35.33

ИЗУЧЕНИЕ ВИДОВОГО СОСТАВА ПОКОЯЩИХСЯ СТАДИЙ ДИНОФИТОВЫХ МИКРОВОДОРОСЛЕЙ В ПОВЕРХНОСТНЫХ ОСАДКАХ БЕРИНГОВА ПРОЛИВА И ЧУКОТСКОГО МОРЯ

STUDY OF THE SPECIES COMPOSITION OF RESTING STAGES OF DINOPHYTE MICROALGAE IN SURFACE SEDIMENTS OF THE BERING STRAIT AND THE CHUKCHI SEA

**Зверева Александра Юрьевна<sup>1,2</sup>, Орлова Татьяна Юрьевна<sup>1</sup>, Морозова Татьяна Владимировна<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *НИЦМБ ДВО РАН им. Жирмунского, Владивосток*

<sup>2</sup> *ДФУ, Владивосток*

**Zvereva Alexandra Yurievna<sup>1,2</sup>, Orlova Taiana Yurievna<sup>1</sup>, Morozova Taiana Vladimirovna<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *A.V. Zhirmunsky National Scientific Center of Marine Biology of Far Eastern Branch Russian Academy of Science, Vladivostok*

<sup>2</sup> *Eastern Federal University, Vladivostok, A.V. Zhirmunsky National Scientific Center of Marine Biology of Far Eastern Branch Russian Academy of Science, Vladivostok*

## **Введение**

Среди биотических компонентов морских экосистем микроводоросли – один из наиболее чувствительных элементов, реагирующих на изменения окружающей среды. Антропогенное загрязнение вод и изменение климата приводят к массовым вспышкам продуктивности фитопланктона («красным приливам») в различных частях Тихого океана.

Явление вредоносного цветения микроводорослей ВЦВ, ранее известное как «красный прилив», обусловлено массовой вспышкообразной вегетацией видов фитопланктона, как правило, токсичных динофлагеллят и приводит к разрушениям прибрежных экосистем, массовой гибели животных, включая млекопитающих и птиц, отравлениям людей (Коновалова, 1999; Anderson, 2017; Orlova et al, 2022).

Важную роль в распространении и инициации явления ВЦВ играют покоящиеся стадии фитопланктона, представленные цистами и спорами (Anderson, 1984). Эти стадии способны сохраняться в морских осадках длительное время до появления условий, подходящих для их прорастания в вегетативные (планктонные) клетки (Dale et al., 1978). Изучение цист позволяет заблаговременно получить информацию о наличии и обилии потенциально токсичных видов, а также объяснить механизмы появления токсичных “цветений” динофлагеллят. Поэтому покоящиеся стадии микроводорослей широко используются в качестве биоиндикаторов гидрологического режима, экологических особенностей среды обитания и уровня эвтрофикации морских акваторий (Sætre et al., 1997; Matsuoka, 2001).

Целью данной работы стало изучение видового состава покоящихся стадий (цист) динофитовых водорослей в современных поверхностных осадках Чукотского и Берингова морей.

### Данные и методы

Исследования проводились в юго-западных прибрежных зонах Чукотского моря и Берингова пролива. Отбор осадков произведен с борта НИС «Академик М.А. Лаврентьев» 10 сентября - 20 октября 2021 г. Латинские названия видов приводятся в соответствии с электронными базами данных AlgaeBase (AlgaeBase,2023). Микроскопические исследования проб проведены на приборной базе ЦКП «Морской биобанк» ННЦМБ ДВО РАН (ЦКП,2023).

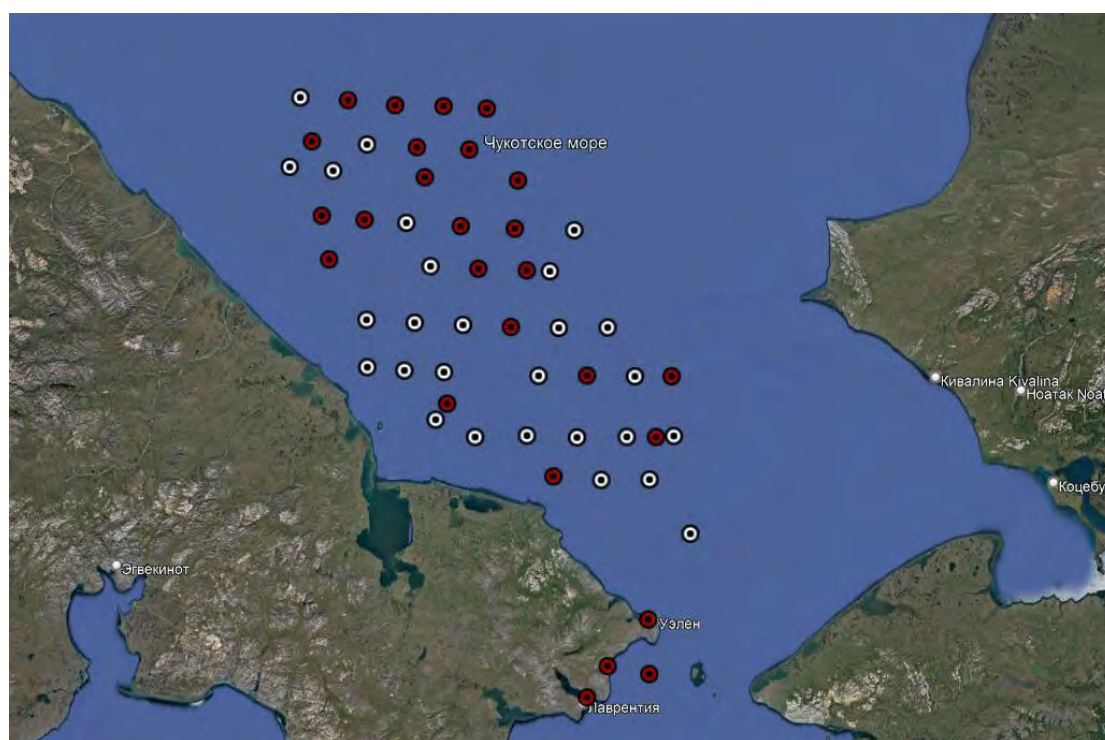


Рис 1. Карта – схема расположения станций в Чукотском море и Беринговом проливе (Морозова,2023 г.).

### Результаты. Видовой состав покоящихся стадий микроводорослей

В исследованных районах обнаружены 24 морфотипа цист динофлагеллят, из которых видовая принадлежность установлена для 11, остальные 10 определены до рода, 3 до порядка. Также были идентифицированы некоторые виды покоящихся стадий диатомей. Ниже приведен список видов (использованы их биологические названия) (Таблица 1):

Порядок *Gonyaulacales*: 1. *Alexandrium catenella* (Whedon & Kofoid) Balech 1985; 2. *Gonyaulax elongata* (Reid) Ellegaard, Daugbjerg, Rochon, J. Lewis & I. Harding 2003; 3. *Gonyaulax spinifera* (Claparède et Lachmann) Diesing 1866; 4. *Protoceratium reticulatum* (Claparède et Lachmann) Bütschli 1885;

Порядок *Gymnodiniales*: 1. *Polykrikos kofoidii* Chatton 1914; 2. *Polykrikos schwartzii* Bütschli 1873;



Порядок *Peridinales*: 1. *Pentapharsodinium dalei* Indelicato & A.R.Loeblich 1986 2. *Protopteridinium conicoides* (Paulsen) Balech 1973; 3. *Protopteridinium conicum* (Gran) Balech 1974; 4. *Protopteridinium leonis* (Pavillard) Balech 1974; 5. *Protopteridinium subinermis* (Paulsen) A.R.Loeblich III 1969.

Таблица 1. Морфотипы идентифицированные до вида с указанием типа питания.

Биологическое название вида	Палеонтологическое название вида	Тип питания
<i>Alexandrium catanella</i>	-	Автотрофный
<i>Gonyaulax elongata</i>	<i>Spiniferites elongatus</i>	Автотрофный
<i>Gonyaulax spinifera</i>	<i>Spiniferites ramosus</i>	Автотрофный
<i>Pentapharsodinium dalei</i>	-	Автотрофный
<i>Protoceratium reticulatum</i>	<i>Operculodinium centrocarpum</i>	Автотрофный
<i>Polykrikos kofoidii</i>	-	Гетеротрофный
<i>Polykrikos schwartzii</i>	-	Гетеротрофный
<i>Protopteridinium americanum</i>	-	Гетеротрофный
<i>Protopteridinium conicoides</i>	<i>Brigantedinium simplex</i>	Гетеротрофный
<i>Protopteridinium conicum</i>	<i>Selenipemphix quanta</i>	Гетеротрофный
<i>Protopteridinium leonis</i>	<i>Selenipemphix concerta</i>	Гетеротрофный
<i>Protopteridinium subinermis</i>	<i>Selenipemphix nephroides</i>	Гетеротрофный

Среди видов были обнаружены виды, вызывающие ВЦВ.

### Распределение видов в районе исследования

По количеству видов преобладающей группой являлся *Peridinales* (5 видов). Наиболее встречаемые на станциях представители рода *Protopteridinium*.

Распределение видов было неравномерным, на станциях северо-западной части района исследований в Чукотском море чаще отмечалось наибольшее количество морфотипов (от 6 до 11). Наименьшее количество морфотипов отмечалось, в основном, на станциях неподалеку от берега (от 2 до 5) (рисунок 2).

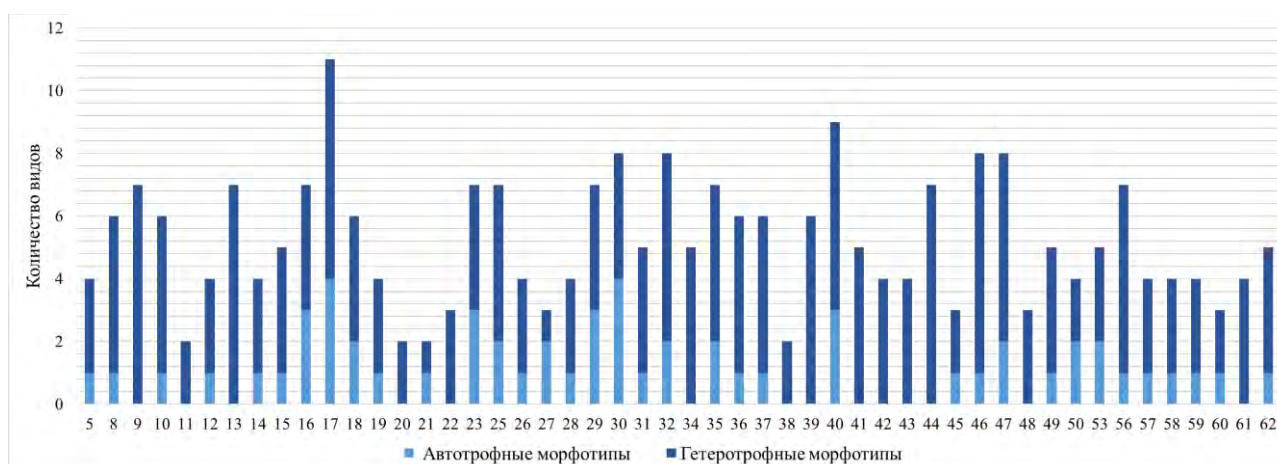


Рис 2. Распределение видов покоящихся стадий микроводорослей по станциям с указанием типа питания.



## Будущие исследования

В рамках мониторинга вод Дальнего Востока были собраны 48 проб современных поверхностных осадков на 48 станциях у берегов Камчатки (Рис. 3).

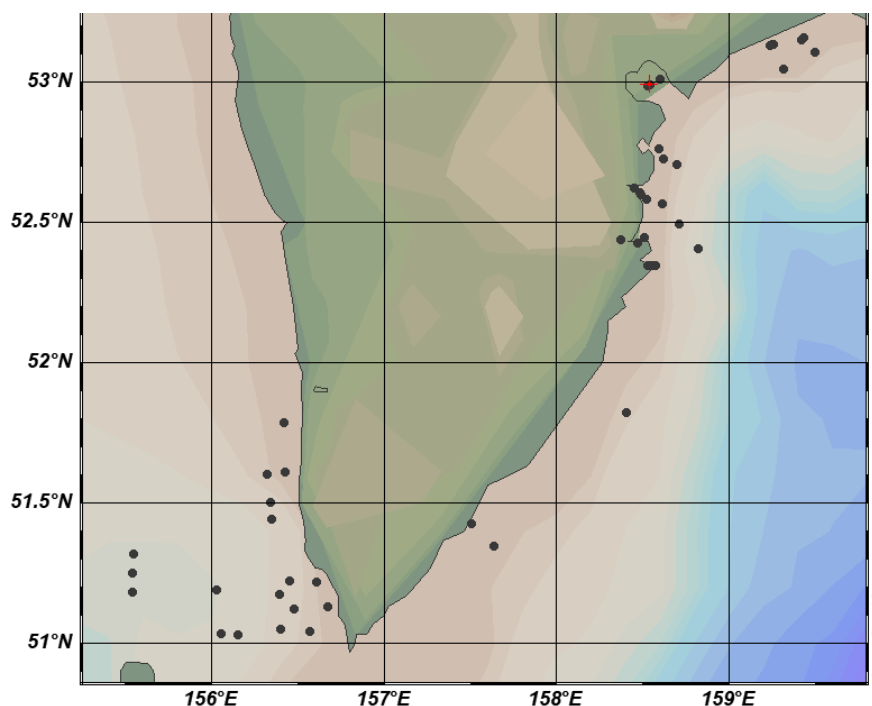


Рис 3. Карта – схема расположения станций в прибрежных и открытых зонах (Тихий океан и Охотское море) полуострова Камчатка (рисунок автора)

На данный момент проведен предварительный анализ образцов поверхностных осадков юго-восточного и юго-западного побережий полуострова Камчатка. По его результатам среди видов присутствуют потенциально токсичные виды.

В дальнейшем, будут проведены: исследования на предмет количественного распределения численности с учетом вредоносных видов, и, возможно, корреляционный анализ по связи данных с температурой и растворенным кислородом.

## Заключение

Таким образом, было обнаружено 24 морфотипа покоящихся стадий динофлагеллят, представленные, в основном, цистами. Среди них были обнаружены принадлежащие к вредоносным микроводорослям, также способным инициировать цветение вод.

Несмотря на большую встречаемость цист динофлагеллят, в пробах преобладали споры и вегетативные клетки диатомей.

## Финансирование

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации проект «Исследование организмов – продуцентов фикотоксина Камчатки» № (FWFE-2023-0001).

### Список литературы:

1. Коновалова Г.В. “Красные приливы” и “цветение” воды в дальневосточных морях России и прилегающих акваториях Тихого океана // Биол. моря. 1999. Т. 25. № 4. С. 263–273.
2. Anderson D.M. “Harmful algal blooms” // Harmful algal blooms (HABs) and desalination: a guide to impacts, monitoring and management. (IOC Manuals and Guides; № 78). Paris: IOC of UNESCO. 2017. P. 17–52.
3. Orlova T. Y. et al. A massive bloom of *Karenia* species (Dinophyceae) off the Kamchatka coast, Russia, in the fall of 2020 // Harmful Algae. – 2022. – Т. 120. – С. 102337.
4. Anderson D.M. The roles of dormant cysts in toxic dinoflagellate blooms and shellfish toxicity // Seafood toxins: American Chemical Society Symposium Series. Washington, D.C.: American Chemical Society. 1984. P. 125–138.
5. Sætre M.M.L., Dale B., Abdullah M.I., Sætre G.-P. Dinoflagellate cysts as potential indicators of industrial pollution in a Norwegian fjord // Mar. Environ. Res. 1997. Vol. 44. P. 167–189.
6. Matsuoka K. Further evidence for a marine dinoflagellates cyst as an indicator of eutrophication in Yokohama Port, Tokyo Bay, Japan. Comments on a discussion by B. Dale // Sci. Total Environ. 2001. Vol. 264. P. 221–233.
7. ЦКП «Морской биобанк» НИЦМБ ДВО РАН [Электронный ресурс]/ Режим доступа: <http://marbank.dvo.ru/index.php/ru/?start=8> (дата обращения 28 сентября 2023)
8. AlgaeBase. [Электронный ресурс] / Guiry, M.D. & Guiry, G.M. // World-wide electronic publication. – National University of Ireland, Galway. – 2022. – Режим доступа: <https://www.algaebase.org> (дата обращения 29 сентября 2023.)

УДК 574.583

Рубрика 34.35.33

ФИТОПЛАНКТОН МОРЕЙ ЛАПТЕВЫХ И ВОСТОЧНО-СИБИРСКОЕ (АВГУСТ 2008)  
 PHYTOPLANKTON OF THE LAPTEV AND EAST SIBERIAN SEAS (AUGUST 2008)

**Полякова Елена Ивановна<sup>1</sup>, Клювиткина Татьяна Сергеевна<sup>1</sup>, Крюкова Ирина Михайловна<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> МГУ имени М.В. Ломоносова, географический факультет, Москва

<sup>2</sup> Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва

**Polyakova Yelena Ivanovna<sup>1</sup>, Klyuvitkina Tatiana Sergeevna<sup>1</sup>, Kryukova Irina Mikhailovna<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Lomonosov Moscow State University, Geographical Faculty, Moscow

<sup>2</sup> Shirshov Institute of Oceanology, RAS, Moscow

### **Введение**

Арктика — один из наиболее чувствительных элементов глобальной природной среды, ее экосистемы особенно быстро реагируют на современные изменения климата. В контексте современных экологических процессов, мы провели исследование осеннего фитопланктона в морях Лаптевых и Восточно-Сибирском с целью установления влияния на него различных факторов окружающей среды (соленость, температура, биогенные элементы). Эти высокоширотные арктические моря до недавнего времени оставались одними из наименее изученных в Северном Ледовитом океане из-за их удаленности и суровых ледово-гидрологических условий, хотя первые сведения о составе фитопланктона начали поступать уже в 1930-х годах. Большинство предшествующих исследований проводились в восточной части моря Лаптевых в периоды отсутствия льда (август–сентябрь) или в начале ледостава (октябрь) [Heiskanen, Keck, 1996; Juterzenka, Knickmeier, 1999; Tuschling et al., 2000; Kraberg et al., 2013; Суханова и др., 2017; Sorokin, Sorokin, 1996; Vetrov et al., 2008; Зернова и др., 2000; Lalande et al., 2014].

Современный гидрологический режим этих морей формируется за счет поступления холодной арктической водной массы с севера и речных вод с юга. Основным источником пресных вод в море Лаптевых (70%) является река Лена. При впадении в море она образует обширную дельту, сток по рукавам которой в настоящее время направляется в основном на восток. Распространение вод Лены на шельфе зависит от преобладающей атмосферной циркуляции [Johnson, Polyakov, 2001]. В годы с циклонической циркуляцией летом доминируют северные и западные ветры, в результате поверхностные опресненные воды переносятся на восток вдоль побережья, а в годы с преобладанием антициклонов южные и юго-восточные ветры гонят речную воду к северу. Это подтверждается межгодовыми изменениями солености поверхностных вод, содержанием растворенного кремния и биогенных элементов в летний период.

Наше исследование основано на материалах, собранных на борту научного судна «Иван Петров» в ходе российско-германской экспедиции TRANSDRIFT XIV с 6 по 25 сентября 2008 г. Пробы фитопланктона отбирались в четырех регионах, отличающихся ледово-гидрологическими режимами: в центральной части шельфа моря Лаптевых к северу от дельты Лены, на юго-востоке внутреннего шельфа моря Лаптевых между мысом Буор-Хая и проливом Дмитрия Лаптева, в западной части Восточно-Сибирского моря между Новосибирскими островами и континентом и на внешнем шельфе обоих морей к северу от Новосибирских о-вов.

## Результаты

В сентябре 2008 г. исследованные моря были почти полностью свободны ото льда, лишь небольшие ледяные поля существовали недалеко от п-ова Таймыр. В условиях антициклонального режима краевая зона льдов простиралась до 77° с.ш., а пресноводный плюм с соленостью поверхностных вод 15 psu и температурой 3–5°C протягивался на север и северо-восток от дельты Лены до 76° с.ш. Севернее соленость поверхностных вод увеличилась до 26 psu, а температура опустилась ниже 0°C. Согласно данным STD-зонда, пикноклин находился на глубине 10 м. Соленость придонных вод превышала 25 psu, а температура опускалась ниже -1°C. В мелководной (10–15 м) западной части Восточно-Сибирского моря и соленость, и температура воды были низкими и варьировали в пределах 15–17 psu и 2–3°C соответственно.

Результаты изучения фитопланктона показали, что в сентябре 2008 года в морях Лаптевых и Восточно-Сибирском абсолютно доминировали две группы водорослей: диатомеи и динофлагелляты [Polyakova *et al.*, 2021]. Всего идентифицировано 95 видов из отделов Dinophyta (45 видов), Heterokontophyta, включая Bacillariophyceae (47), Dictyophyceae (1) и Chlorophyta (2). Более 90% диатомовых водорослей относились к планктонным морским и солоноватоводным видам (*Thalassiosira gravida*, *T. antarctica*, *T. baltica*, *T. hyperborea*, *Bacterosira bathyomphala*, *Cylindrotheca closterium* виды рода *Chaetoceros* и др.). В прилегающих к дельте Лены водах обнаружены несколько речных планктонных видов (*Aulacoseira granulata*, *A. italica*, *Asterionella formosa*). Следствием высокоширотного положения морей и преобладания арктической водной массы является обилие (более 45%) холодноводных арктическо-бореальных и биполярных видов в составе диатомового планктона (*Thalassiosira nordenskioldii*, *T. baltica*, *T. antarctica*, *Chaetoceros furcellatus*, *C. diadema*, *Coscinodiscus oculus-iridis*). Остальные диатомеи представлены космополитными и арктическо-бореально-тропическими видами, обладающими высокой экологической пластичностью, что позволяет им обитать в условиях высокой изменчивости температуры и солености морских вод.

Динофлагелляты были представлены в основном миксо- и гетеротрофными видами, в гетеротрофной группе преобладали виды родов *Dinophysis* и *Protoperidinium* (*D. contracta*, *D. norvegica*, *P. pellucidum*, *P. granii*, *P. ovatum*), среди миксотрофных встречены *Dinophysis acuta* и *D. acuminata*, которые были наиболее распространены в юго-восточной части моря Лаптевых. Автотрофная группа динофлагеллят включала *Triplosira fusus*, *T. longipes*, *Gonyaulax spinifera*, *Protodinium simplex*, *Pentaparsodinium dalei*, *Prorocentrum gracile* и др. Для этих видов основным ограничивающим экологическим фактором служит солнечный свет, но они также нуждаются в питательных веществах и необходимых микроэлементах, например, железе.

Известно, что в самые высокоширотные арктические моря Евразии Лаптевых и Восточно-Сибирское проникают в небольшом объеме трансформированные водные массы из Северной

Атлантики. Они движутся вдоль континентального склона Евразии на глубинах >100 м и попадают на мелководный шельф благодаря реверсивным придонным течениям [Dmitrenko et al., 2010]. Этот факт во многом определяет особенности фитогеографических характеристик лаптевоморского диатомового планктона и появление видов-индикаторов атлантических вод в Северном Ледовитом океане (*Pentapharsodinium dalei*, *Prorocentrum reticulatum*).

Географическое распределение различных видов динофлагеллят в полярной зоне обычно определяется положением океанических фронтов [Okolodkov, 1999 и др.]. В наших пробах фитопланктона холодноводные арктическо-бореальные и биполярные динофлагелляты были представлены шестью видами: *Gymnodinium arcticum*, *Peridiniella catenata*, *Alexandrium ostenfeldii*, *Amylax triacantha*, *Tripos arcticus* и *Dinophysis norvegica*. Группа космополитических и арктическо-бореально-тропических видов оказалась самой разнообразной (20 видов), в ней доминировали *Dinophysis acuminata*, *Phalacroma rotundatum*, *Gonyaulax spinifera*, *Protoperidinium bipes*, *P. pallidum*, *P. pellucidum*. Относительно тепловодные динофлагелляты (тропическо-бореальные) были представлены видами *Pentapharsodinium dalei*, *Prorocentrum reticulatum* и др., которые были встречены в фитопланктоне внутреннего и внешнего шельфа моря Лаптевых.

Диапазон вариаций численности и биомассы фитопланктона в исследованных районах был очень высоким: 0.01–1.3×10<sup>3</sup> клеток на литр и 0.02–2.41 мкг С на литр соответственно (рис.1, 2). Максимальное число клеток и биомасса отмечены в юго-восточной части моря Лаптевых, в районе мыса Буор-Хая, в проливе Дмитрия Лаптева и на внутреннем шельфе моря Лаптевых к северо-востоку от дельты Лены. В целом оба этих показателя постепенно уменьшались в северном направлении по мере удаления от устьев рек, как источников биогенных элементов. Основной вклад в численность и биомассу фитопланктона тоже вносили морские диатомовые водоросли и динофлагелляты, их суммарный вклад достигал 75% от общего количества водорослей и их биомассы.

Продуктивность фитопланктона в арктическом регионе имеет ярко выраженные сезонные циклы. Максимальные значения биомассы обычно наблюдаются в конце июня – начале июля [Wang et al., 2005; Hirche et al., 2006]. Наши же пробы отбирались в сентябре, в это время солнечного света в высоких широтах уже мало, и запасы питательных веществ истощены. Сентябрь в полярных морях относят к концу вегетационного периода фитопланктона.

Основываясь на полученных данных о характеристиках фитопланктона, область нашего исследования можно разделить на три района с характерными сообществами водорослей. Это внешний шельф обоих морей, внутренний шельф моря Лаптевых к северу от дельты Лены и западная часть Восточно-Сибирского моря.

На внешнем шельфе (к северу от Новосибирских о-вов) зарегистрированы наименьшая численность и биомасса водорослей. Фитопланктон здесь состоял в основном из морских диатомей рода *Chaetoceros* (*C. furcellatus*, *C. diadema*, *C. debilis*, *C. constrictus*), более характерных для весенних сообществ в западных морях — Баренцевом и Карском [Макаревич, Дружкова, 2010; Макаревич, Олейник, 2009]. Эти виды сформировали выраженный пик численности на одной из наших самых северных станций. Вдоль разреза от о. Котельный к кромке шельфа мы наблюдали переход от сообществ солоноватоводных диатомовых водорослей к морским.

Интересно, что вместе с вегетативными клетками диатомей в фитопланктоне на внешнем шельфе обнаружены покоящиеся споры. Это можно рассматривать как индикатор сезонной смены условий окружающей среды в сторону неблагоприятных. Покоящиеся споры обычно образуются в результате абиотического стресса, например, из-за истощения питательных веществ или ограничения освещенности [Sugie, Kuma, 2008].

На внутреннем шельфе и в самой опресненной юго-восточной части моря Лаптевых сообщества фитопланктона состояли из миксо- и гетеротрофных динофлагеллят, а также эвригалинных морских и солоноватоводных планктонных диатомовых водорослей. Иногда встречались морские силикофлагелляты *Octactis speculum*. Свидетельством распространения речных вод на шельфе были немногочисленные клетки планктонных пресноводных диатомей и зеленых водорослей (*Pseudopediastrum boryanum*), которые, однако, играли небольшую роль в общем количестве клеток и биомассе фитопланктона. Интересно отметить, что более 70% биомассы диатомовых водорослей на самых западных станциях на внутреннем шельфе моря Лаптевых составляли клетки типично морского планктонного вида *Coscinodiscus oculus-iridis*.

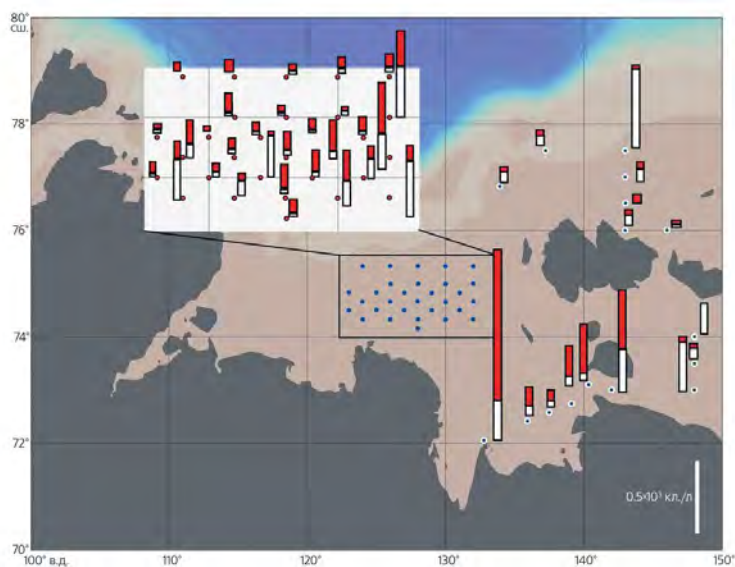


Рис. 1. Численность (клеток в литре воды) диатомовых водорослей (белый столбик) и динофлагеллят (красный столбик) в пробах воды моря Лаптевых и западной части Восточно-Сибирского моря в сентябре 2008 г.

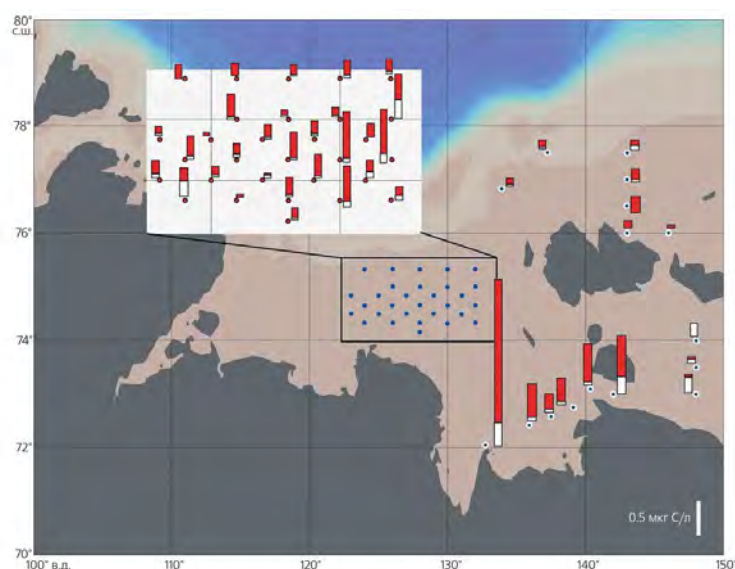


Рис. 2. Биомасса (мкг С на литр) диатомовых водорослей (белый столбик) и динофлагеллят (красный столбик) в пробах воды моря Лаптевых и западной части Восточно-Сибирского моря в сентябре 2008 г.



В целом внутренний шельф характеризовался летне-осенней переходной фазой в развитии фитопланктона. Местные сообщества водорослей включали автотрофные динофлагелляты и виды диатомовых водорослей, которые типичны для поздневесенней и раннелетней стадий роста фитопланктона в арктических шельфовых морях (например, *Thalassiosira hyperborea*, *T. baltica*, *T. gravida* и др.). Однако, присутствовали и гетеротрофные динофлагелляты, и они вносили значительный вклад в общую численность водорослей и их биомассу. Популяции, в которых доминируют динофлагелляты, типичны для фитопланктона позднего лета в Белом море [Ильяш и др., 2003] и Обь-Енисейской мелководной зоне Карского моря [Makarevich et al., 2014].

Заметим, что динофлагеллят было заметно больше в юго-восточной части моря Лаптевых, находящейся под влиянием речного стока. Здесь, к северо-востоку и востоку от дельты Лены, наблюдалась строгая стратификация водной толщи, а динофлагелляты весьма чувствительны к турбулентным процессам и предпочитают условия слабого перемешивания вод [Trigueros, Orive, 2001]. Это и обусловило их преобладание над диатомеями в фитопланктоне.

В западной части Восточно-Сибирского моря были зарегистрированы относительно высокие показатели суммарной численности клеток и биомассы фитопланктона. В отличие от внутреннего шельфа, фитопланктон здесь состоял в основном из морских планктонных диатомей рода *Thalassiosira*, которые доминировали как по численности, так и по биомассе. Динофлагелляты в этом районе, в сравнении с морем Лаптевых, немногочисленны. Температура и соленость были распределены по глубине относительно равномерно, видимо, в результате активных гидродинамических процессов. Такие условия интенсивного перемешивания благоприятны для роста диатомей, но ограничивают развитие динофлагеллят [Huisman et al., 2006].

### **Заключение**

Таким образом, нам удалось выявить основные закономерности и различия в распределении сообществ фитопланктона в водах морей Лаптевых и Восточно-Сибирского в 2008 г. Среди микроводорослей как по общему количеству, так и по биомассе доминировали динофлагелляты и диатомовые водоросли. Общая численность и биомасса фитопланктона снижалась к северу по мере удаления от берега и от устьев рек, как источников биогенных элементов. Диатомеи были в основном представлены морскими и солоноватоводно-морскими видами (среди них наиболее многочисленны были холодноводные арктическо-бореальные и биполярные). В составе динофлагеллят преобладали миксо- и гетеротрофные формы.

В сообществах микроводорослей внешнего шельфа доминировали типичные поздневесенние виды диатомей (этот район был покрыт сезонными морскими льдами дольше по сравнению с внутренним шельфом). Опресненные воды юго-восточной части внутреннего шельфа, напротив, характеризовались летне-осенней переходной фазой в развитии фитопланктона.

По сравнению с предшествующими, преимущественно локальными исследованиями фитопланктона морей Лаптевых и Восточно-Сибирского, мы проанализировали материал, собранный на обширной территории. Это позволило выявить региональные особенности сообществ микроводорослей, связанные со спецификой гидрохимических, гидродинамических и ледово-гидрологических условий. Такие данные вносят заметный вклад в доступную информацию о видовом составе фитопланктона в самых отдаленных морях Арктики.

## Финансирование

Работа выполнена в рамках госзадания Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова (№121051100135-0).

## Список литературы

1. Зернова В.В., Нюттик Е.-М., Шевченко В.П. Вертикальные потоки микроводорослей в северной части моря Лаптевых (по данным годичной постановки седиментационной ловушки) // *Океанология*. – 2000. – №40(6). – С. 850–858.
2. Ильяш Л.В., Житина Л.С., Федоров В.Д. *Фитопланктон Белого моря*. М., 2003.
3. Макаревич П.Р. Олейник А.А. Структура годового цикла развития фитопланктонного сообщества Обь-Енисейского мелководья Карского моря // *Доклады Академии наук*. – 2009. – №426(3). – С. 397–399.
4. Макаревич П.Р., Дружкова Е.И. *Сезонные циклические процессы в прибрежных планктонных альгоценозах северных морей*. Ростов-на-Дону, 2010.
5. Суханова И.Н., Флинт М.В., Георгиева Е.Ю. и др. Структура сообществ фитопланктона в восточной части моря Лаптевых // *Океанология*. – 2017. – №57(1). – С. 86–102.
6. Dmitrenko I.A., Kirillov S.A., Tremblay L.B. et al. Impact of the Arctic Ocean Atlantic water layer on Siberian shelf hydrography // *Journal of Geophysical Research*. – 2010. V. 115(C8). – P. 1–17. DOI:10.1029/2009JC006020.
7. Heiskanen A.-S., Keck A. Distribution and sinking rates of phytoplankton, detritus, and particulate biogenic silica in the Laptev Sea and Lena River (Arctic Siberia) // *Marine Chemistry*. – 1996. V. 53(3–4). – P. 229–245. DOI:10.1016/0304-4203(95)00091-7.
8. Hirche H.J., Kosobokova K.N., Gaye-Haake B. et al. Structure and function of contemporary food webs on Arctic shelves: a panarctic comparison. The pelagic system of the Kara Sea-communities and components of carbon flow // *Progress in Oceanography*. – 2006. V. 71(2–4). – P. 288–313. DOI:10.1016/j.poccean.2006.09.010.
9. Huisman J., Pham Thi N.N., Karl D.M., Sommeijer B. Reduced mixing generates oscillations and chaos in the oceanic deep chlorophyll maximum // *Nature*. – 2006. – V. 439. – P. 322–325. DOI:10.1038/nature04245.
10. Johnson M.A., Polyakov I.V. The Laptev Sea as a source for recent Arctic Ocean salinity change // *Geophysical Research Letters*. – 2001. V. 28(10). – P. 2017–2020. DOI:10.1029/2000GL012740.
11. Juterzenka K., Knickmeier K. Chlorophyll a distribution in water column and sea ice during the Laptev Sea freeze-up study in autumn 1995 // *Land-Ocean Systems in the Siberian Arctic: Dynamics and History*. Kassens H., Bauch H.A., Dmitrenko I. et al. (Eds.). Berlin, 1999; 153–160.
12. Kraberg A.C., Druzhkova E., Heim B. et al. Phytoplankton community structure in the Lena Delta (Siberia, Russia) in relation to hydrography // *Biogeosciences*. – 2013. – V. 10(11). – P. 7263–7277. DOI:10.5194/bg-10-7263-2013.

13. Lalande C., Nothig E.-M., Somavilla R. et al. Variability in under-ice export fluxes of biogenic matter in the Arctic Ocean // *Global Biogeochemical Cycles*. – 2014. – V. 28. – P. 571–583. DOI:10.1002/2013GB004735.
14. Makarevich P.R., Larionov V.V., Moiseev D.V. Phytoplankton succession in the Ob-Yenisei shallow zone of the Kara Sea based on Russian databases // *Journal of Sea Research*. – 2014. – V. 101. – P. 31–40. DOI:10.1016/j.seares.2014.10.008.
15. Okolodkov Y.B. Species range types of recent marine dinoflagellates recorded from the Arctic // *Grana*. – 1999. – V. 38(2–3). – P. 162–169. DOI:10.1080/00173139908559224.
16. Polyakova Ye.I., Kryukova I.M., Martynov F.M. et al. Community structure and spatial distribution of phytoplankton in relation to hydrography in the Laptev Sea and the East Siberian Sea (autumn 2008) // *Polar Biology*. – 2021. DOI:10.1007/s00300-021-02873-w.
17. Sorokin Yu.I., Sorokin P.Yu. Plankton and primary production in the Lena River estuary and in the south-eastern Laptev Sea // *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. – 1996. – V. 43(4). – P. 399–418. DOI:10.1006/ecss.1996.0078.
18. Sugie K., Kuma K. Resting spore formation in the marine diatom *Thalassiosira nordenskiöldii* under iron- and nitrogen-limited conditions // *Journal of Plankton Research*. – 2008. – V. 30(11). – P. 1245–1255. DOI:10.1093/plankt/fbn080.
19. Trigueros J.M., Orive E. Seasonal variations of diatoms and dinoflagellates in a shallow, temperate estuary, with emphasis on neritic assemblages // *Hydrobiologia*. – 2001. – V. 444. – P. 119–133. DOI:10.1023/A:1017563031810.
20. Tuschling K., Juterzenka K., Okolodkov Y.B., Anoshkin A. Composition and distribution of the pelagic and sympagic algal assemblages in the Laptev Sea during autumnal freeze-up // *Journal of Plankton Research*. – 2000. – V. 22(5). – P. 843–864. DOI:10.1093/plankt/22.5.843.
21. Vetrov A.A., Romankevich E.A., Belyaev N.A. Chlorophyll, primary production, fluxes, and balance of organic carbon in the Laptev Sea // *Geochemistry International*. – 2008. V. 46(10). – P. 1055–1063. DOI:10.1134/S0016702908100091.
22. Wang J., Cota G.F., Comiso J.C. Phytoplankton in the Beaufort and Chukchi Seas: distribution, dynamics, and environmental forcing // *Deep Sea Research Part II*. – 2005. – V. 52(24–26). – P. 3355–3368. DOI:10.1016/j.dsr2.2005.10.014.

УДК 574.58

Рубрика 34.35.33

МИКРОВОДОРОСЛИ-КРИОФИЛЫ АМУРСКОГО ЗАЛИВА В ЗИМНИЙ ПЕРИОД 2022  
Г

CRYOPHYTE ALGAE OF AMUR BAY DURING THE WINTER SEASON OF 2022

**Юрикова Екатерина Андреевна<sup>1,2</sup>, Бегун Андрей Аркадьевич<sup>2</sup>, Орлова Татьяна Юрьевна<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> ФГАОУ ВО «Дальневосточный Федеральный Университет», Владивосток

<sup>2</sup> Национальный научный центр морской биологии им. А.В. Жирмунского ДВО РАН, Владивосток

**Yurikova Ekaterina Andreevna<sup>1,2</sup>, Begun Andrey Arkadievich<sup>2</sup>, Orlova Tatyana Yurievna<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> FEFU, Vladivostok

<sup>2</sup> NSCMB, Vladivostok

## Введение

В настоящее время полярные регионы привлекают многих исследователей-гидробиологов, изучающих сообщества микроводорослей, способных жить и развиваться во льду и подледном горизонте воды – криофилов. В процессе ледообразования в толще льда формируются дренажные каналы, по которым клетки микроводорослей попадают внутрь. Низкие температуры при этом не являются ограничивающим фактором. Кроме них клеткам приходится адаптироваться к высокой солености межкристаллической жидкости и низкой освещенности. Некоторые виды, приспособившиеся к таким условиям, могут достигать высоких концентраций, а также преобразовывать свое местообитание, способствуя разрушаемости ледяного покрова (Палибин, 1925). В связи с этим, размножившиеся в зимний период в толще льда сообщества микроводорослей играют важнейшую роль в формировании первичной продукции акватории в сезон освобождения ото льда (Arrigo, 2017). Вышеописанные особенности сообществ микроводорослей-криофилов обуславливают интерес к их изучению. Однако ледяной покров залива Петра Великого практически не изучался с биологической точки зрения, не смотря на то, что он является самой южной акваторией России, где лед нарастает до значительных толщин (60-70 см). Таким образом, целью данной работы было изучение видового состава и количественных показателей сообщества микроводорослей-криофилов морского льда и поверхностного слоя подледной воды в Амурском заливе.

## Результаты

Исследованием охвачен зимний период 2022 г. с середины января по конец марта, включающий 9 дат отбора с одной точки в центральной части Амурского залива (43°11'59" с.ш., 131°54'54" в.д.). Методика отбора проб льда заключалась в вырезании кернов льда при

помощи кольцевого бура диаметром 15 см и последующего их деления на слои толщиной по 5 см, которые затем складывались в стерильную посуду для последующей транспортировки. Пробы поверхностного слоя воды отбирались батометром объемом 5 л. Растапливание проб шло при температуре около +24 °С. Фиксация проб производилась 5% раствором йодистого калия в соотношении 2,5 мл фиксатора на 1 л пробы. Всего проанализировано 70 проб ледовых горизонтов и 8 проб подледной воды. Максимальная толщина льда за период исследования зарегистрирована в начале марта и составила 55 см.

По результатам таксономического анализа идентифицировано 104 вида, относящихся к 10 классам микроводорослей (табл. 1). При этом во льду видовое богатство оказалось выше по сравнению с подледной водой: 81 вид из 49 родов и 9 классов и 54 вида из 35 родов и 7 классов соответственно. Из них 50 видов встретились только во льду и 23 – только в подледной воде. Только 31 вид встречался в обоих биотопах. Среди наиболее многочисленных по количеству видов родов: *Chaetoceros* – 5 видов во льду и 4 в воде (всего 7); *Navicula* – 6 видов во льду и 6 в воде (всего 10); *Protoperdinium* – 8 видов во льду и 4 в воде (всего 10).

Таблица 1. Число идентифицированных родов и видов в классах микроводорослей

Царство	Класс	Лед		Вода	
		Родов	Видов	Родов	Видов
Chromista	Bacillariophyceae	33	55	22	35
	Cryptophyceae	1	1	1	1
	Dictyochophyceae	1	1	0	0
	Dinophyceae	8	18	7	11
	Prymnesiophyceae	1	1	1	1
Plantae	Chlorophyceae	2	2	2	2
	Prasinophyceae	1	1	0	0
	Pyramimonadophyceae	0	0	1	1
Protozoa	Ebriophyceae	1	1	0	0
	Euglenoidea	1	1	3	3
<b>Всего</b>		<b>49</b>	<b>81</b>	<b>35</b>	<b>54</b>

Анализ таксономического состава микроводорослей-криофилов показал, что наиболее богатым по количеству идентифицированных видов является верхний слой – 66 видов (за 7 дат отбора) из 7 классов микроводорослей. В среднем слое встретилось 33 вида (за 8 дат отбора) из 4 классов, в нижнем – 43 вида (за 9 дат отбора) из 7 классов; в подледной воде – 54 вида (за 7 дат отбора) из 7 классов. При этом клетки микроводорослей распределялись по льду и подледной воде очень неравномерно: в верхних слоях льда встречалось в среднем по 980 тыс. кл/л диатомовых водорослей и 2 тыс. кл/л из др. классов (рис. 1А); в средних – около 96 тыс. кл/л диатомовых и 4 тыс. кл/л из др. классов (рис. 1Б); в нижних – 345 тыс. кл/л диатомовых и 3,5 тыс. кл/л из др. классов (рис. 2А); в воде – 650 тыс. кл/л диатомовых и 213 тыс. кл/л из др. классов (рис. 2Б).

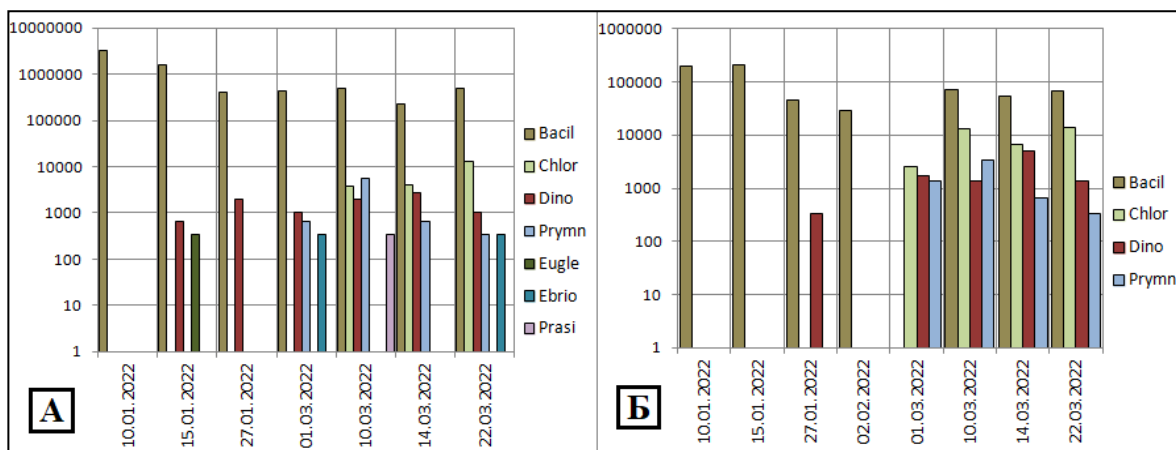


Рисунок 1. Количественное обилие клеток микроводорослей разных классов в верхних (А) и средних (Б) слоях льда. Сокращениями обозначены классы: Bacil – Bacillariophyceae, Chlor – Chlorophyceae, Dino – Dinophyceae, Prymn – Prymnesiophyceae, Eugle – Euglenoidea, Ebrio – Ebrophyceae, Prasi – Prasinophyceae

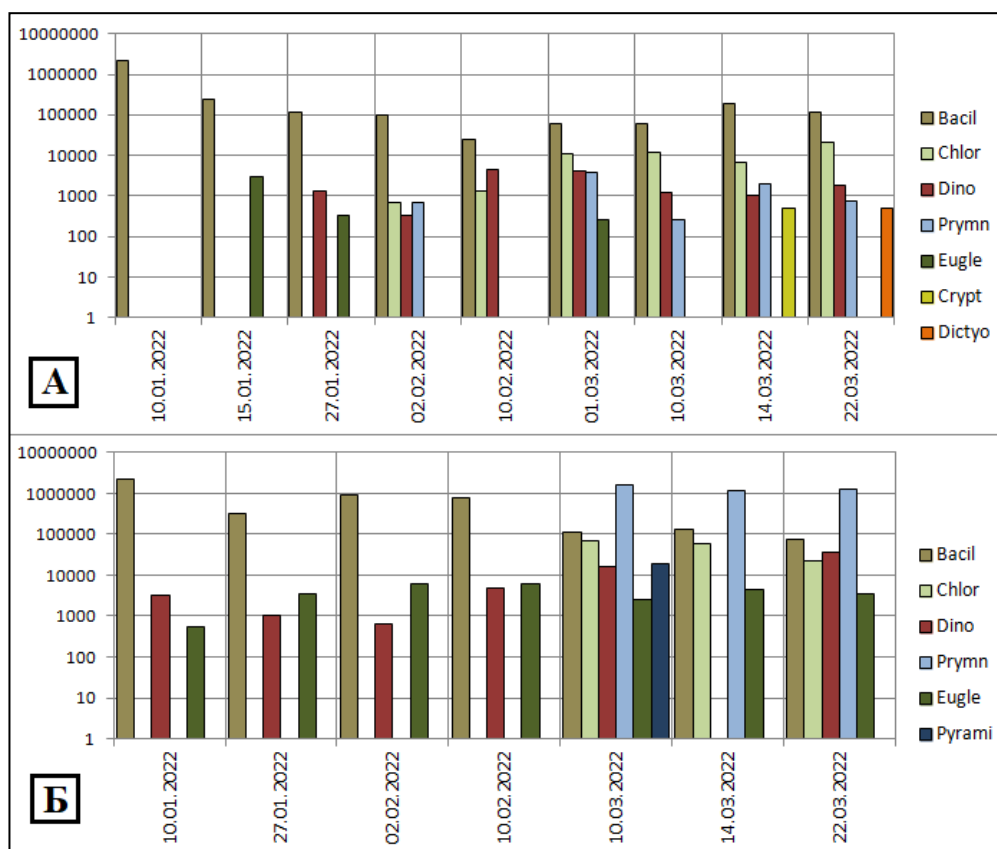


Рисунок 2. Количественное обилие клеток микроводорослей разных классов в нижних слоях льда (А) и подледной воде (Б). Сокращениями обозначены классы: Bacil – Bacillariophyceae, Chlor – Chlorophyceae, Dino – Dinophyceae, Prymn – Prymnesiophyceae, Eugle – Euglenoidea, Crypt – Cryptophyceae, Dictyo – Dictyochophyceae, Pyrami - Pyramimonadaceae

Диатомовые водоросли встречались на протяжении всего зимнего периода во всех слоях льда и подледной воде. Их численность не менялась значительно, самые высокие концентрации отмечены в верхних слоях льда – около 6 млн. кл/л. Такая же ситуация наблюдалась в б.



Воевода в 2020 г. (Yurikova & Begun, 2022), однако тогда обилие диатомовых не превышало 2 тыс. кл/л. Количественное доминирование диатомовых водорослей в верхних слоях льда в начале января достигалось за счет сгущения клеток вида *Thalassiosira nordenskioldii* и комплекса мелкоклеточных видов из рода *Skeletonema*, численность которых достигала 400 тыс. и 5,6 млн. кл/л соответственно. Вероятно, клетки этих видов не проходили всего пути по дренажным каналам сверху вниз, а были захвачены в результате формирования льда, что подтверждается практически полным их отсутствием в остальных слоях льда.

Зеленые водоросли впервые обнаружены в нижних слоях льда в феврале; в верхних и средних слоях, а также в подледной воде – с начала марта. Численное обилие было примерно одинаковым по всей толще льда, но значительно меньше, чем в подледной воде – около 10 и 80 тыс. кл/л соответственно. Численность динофлагеллят была сравнительно низкой на протяжении всего зимнего периода, как во льду, так и в воде – от 1 до 3 тыс. кл/л, в марте наблюдался рост численности в подледной воде – от 10 до 60 тыс. кл/л. Гаптофитовые водоросли начали стабильно регистрироваться с начала марта в обоих биотопах. Во льду их плотность не превышала 6 тыс. кл/л, но в подледной воде наблюдалось цветение – до 1 млн. кл/л. Эвгленовые редко встречались во льду, а их численность в среднем была ниже 1 тыс. кл/л. В подледной воде они встречались стабильно со значениями около 2–5 тыс. кл/л. Крпифитовые, силикофлагелляты и празиофитовые не встречались во льду и фитопланктоне в достаточной мере, чтобы делать какие-либо выводы о динамике этих групп, кроме того их численности не превышали 1 тыс. кл/л. Можно отметить только пиримимонад, которые были обнаружены в середине марта в подледной воде с численностью в 20 тыс. кл/л.

За весь зимний период 2022 г. доминирующее положение по числу клеток во льду занимали виды диатомовых водорослей: *Leptocylindrus danicus*, *Thalassiosira nordenskioldii*, *Detonula confervacea*, а также комплексы мелкоклеточных видов родов *Skeletonema* и *Thalassiosira*. В подледной воде наиболее многочисленной была гаптофитовая водоросль *Pseudohaptolina* sp., значительно повлиявшая на долю диатомовых в марте, а также диатомовые – *Thalassiosira nordenskioldii*, *Chaetoceros pseudocrinitus*, *C. debilis*.

### **Заключение**

Проведено исследование таксономического состава и количественной структуры микроводорослей-криофилов в Амурском заливе Японского моря. Отмечены различия в структурах флористических сообществ двух биотопов – морского льда и подледной воды, обусловленные различной приспособленностью видов к этим местообитаниям. Идентифицирован 81 вид во льду и 54 вида в подледной воде. Наиболее многочисленными как по количественному, так и по видовому богатству оказались диатомовые водоросли. Отмечена вспышка численности гаптофитовых водорослей в подледной воде в марте.

### **Благодарности**

Авторы выражают благодарность Лазарюку А.Ю. за помощь в сборе проб.

### **Финансирование**

Данное исследование было поддержано Федеральной службой по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды Российской Федерации (Соглашение № 169-15-2023-002).

### Список литературы

1. Палибин И.В. Микроорганизмы как разрушители полярных льдов // Изв. Центр. Гидрометеорологического бюро. – 1925. – Вып. 5.
2. Arrigo K.R. Sea ice as a habitat for primary producers // Sea ice (3d edition). Blackwell. – 2017. – P. 370-393.
3. Yurikova E.A., Begun A.A. Quantitative structure of the sea ice microalgae community (Russky island, Peter the Great Bay, Sea of Japan) // Marine Biological Journal. – 2022. – Vol. 7, No. 2. – P. 98-112.

УДК 57.053

Рубрика 01.01.00

ДИНАМИКА ЛИПИДНОГО СОСТАВА *TETRASELMIS SUECICA* ((KYLIN) BUTCHER, 1959) ПОД ВЛИЯНИЕМ 3-ИНДОЛМАСЛЯНОЙ КИСЛОТЫ В НАКОПИТЕЛЬНОЙ КУЛЬТУРЕ

DYNAMICS OF *TETRASELMIS SUECICA* ((KYLIN) BUTCHER, 1959) LIPID COMPOSITION UNDER THE INFLUENCE OF 3-INDOLE BUTYRIC ACID IN CUMULATIVE CULTURE

**Барсова Екатерина Андреевна<sup>1</sup>, Лескова Светлана Евгеньевна<sup>2</sup>, Михеев Евгений Валерьевич<sup>2</sup>, Ковалев Николай Николаевич<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> ДВФУ, Владивосток

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО Дальрыбвтуз, Владивосток

**Barsova Ekaterina Andreevna<sup>1</sup>, Leskova Svetlana Evgenyevna<sup>2</sup>, Mikheev Evgeny Valerevich<sup>2</sup>, Kovalev Nikolay Nikolaevich<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> FEFU, Vladivostok

<sup>2</sup> Far Eastern State Technical Fisheries University, Vladivostok

## **Введение**

Микроводоросли представляют собой очень разнообразную группу организмов с недостаточно изученным и недооцененным потенциалом.

Существуют тысячи видов, которые процветают в морской, пресноводной и даже наземной среде [Guiry, 2012]. Это огромное количество видов, характеризуется и разнообразием биохимических соединений, состав которых определяется условиями окружающей среды [Ambati et al., 2019].

Оптимизация систем производства биомассы микроводорослей и выбор подходящих штаммов являются ключевыми факторами успешного развития предприятий марикультуры на основе микроводорослей. Биомасса микроводорослей является основным кормом на ранних стадиях культивирования двустворчатых моллюсков и некоторых других беспозвоночных. Виды микроводорослей, используемые в аквакультуре должны обладать быстрыми темпами роста, сбалансированным составом питательных веществ и быть удобными для культивирования в крупномасштабных установках [Brown, 2002].

Особое внимание уделяется жирным кислотам микроводорослей, аминокислотам, каротиноидам и витаминам [Spolaore et al., 2006]. Кроме того, в последние годы микроводоросли приобретают все больший интерес как источник n-3 полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК). Поэтому морские микроводоросли, богатые ПНЖК, находятся в центре внимания исследователей в области аквакультуры, пищевой и фармацевтической промышленности. Пролиферация ЖК и ПНЖК микроводорослей находится как под генотипическим, так и под фенотипическим контролем, поэтому варьирует как среди таксономических групп, и также может контролироваться, по крайней мере частично, путем манипулирования условиями роста микроводорослей [Guedes et al., 2011].

Род *Tetraselmis* включает в себя хорошо известные, простые в культивировании виды, обладающие интересным липидным профилем, который уже исследовался на предмет пригодности для производства биотоплива [Isdepsky, Borowitzka, 2019].

На примере рода *Tetraselmis*, показано, что разные штаммы одного рода могут иметь различный биохимический состав при не высокой скорости роста. Высокая скорость роста (30%) увеличивала продуктивность липидов, но оказала негативное влияние на продукцию нейтральных липидов. Значительно более низкое содержание общих липидов, и значительно более высокая доля нейтральных липидов отмечена при 10%-ном обновлении [Carneiro, 2019]

Однако кормовая промышленность требует сырья, доступного в больших объемах. В связи с этим коммерчески важным является производство микроводорослей в крупномасштабных и низкзатратных методов производства. Одним из способов повышения эффективности культивирования микроводорослей является использование экзогенных стимуляторов роста – фитогормонов. Механизмы действия большинства фитогормонов еще выясняются. Проведенные ранее исследования не всегда показывают эффективную концентрацию фитогормонов, оцененную по росту биомассы и выходу основных питательных компонентов.

Задачей данного исследования являлось определение оптимальных концентраций фитогормона – 3-индолмасляной кислоты (3 ИМК) на рост культуры *Tetraselmis suecica* и оценка влияния на липидный состав микроводоросли.

## Материалы и методы

В качестве исходного материала для культивирования была использована лабораторная альгологически чистая культура *Tetraselmis suecica* из коллекции Дальневосточного государственного технического рыбохозяйственного университета. В качестве культиваторов использовали конические термостойкие стеклянные колбы объемом 1 литр. Микроводоросли выращивали в накопительном режиме на питательной среде Гольдберга [Herbert et al., 1971]. Культура водорослей содержалась при температуре воды 21-23 °С, освещенности 8-10 кЛк, фотопериоде 8:16 ч (день:ночь) и перемешивании (взбалтыванием) 4-5 раз в день.

В качестве стимулятора роста использовали 3-индолмасляную кислоту (Hebei Guanlang Biotechnology Co., Ltd, КНР).

Культивирование осуществляли в монокультуре. Прирост биомассы водорослей определяли по показателю величины оптической плотности, измеренной при 750 нм. Продолжительность эксперимента составила 9 дней.

Сумму хлорофиллов выделяли методом экстракции ацетоном из предварительно замороженной биомассы водорослей [Carneiro et al., 2019]. Количественное содержание хлорофиллов определяли спектрофотометрически при длинах волн 630, 647, 664 и 750 нм. В качестве контроля использовали 90% ацетон [Aminot et al., 2001].

Общее содержание липидов проводили методом, в основе которого лежит цветная реакция ванилина в кислой среде с липидами, с образованием интенсивного окрашивания. Хромогенными группами выступают гидроксильные и карбонильные [Johnson et al., 1977].

Анализ липидного состава проводили методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) на жидкостном хроматографе LC-20 Prominence (Shimadzu, Япония) с испарительным детектором светорассеивания ELSD-LTII (Shimadzu, Япония) (температура - 65 °С, давление - 300 кПа) с использованием колонки «Ascentis C18» для ВЭЖХ (Sigma-Aldrich, США) (зернение - 5 мкм, длина - 25 см и диаметр - 2.1 мм).

Анализ метиловых эфиров жирных кислот (МЭЖК) проводили на газовом хроматографе «Agilent 6890» с пламенно-ионизационным детектором. Для разделения использовалась капиллярная колонка «HP Innowax» (30 м × 0.25 мм). Параметры разделения: температура испарителя – 230°C, температура детектора – 240°C и температура колонки – 200°C (изотермический режим). В качестве газа-носителя использовался гелий (He) с линейной скоростью потока 35 см/с.

Идентификацию МЭЖК проводили на основании сравнения относительных времён удерживания МЭЖК пробы со стандартными значениями «углеродных чисел», исходя из расчёта эквивалентной длины цепи (ESL) [Christie, 1988], и путём сравнения с известными стандартами.

## Результаты

Оценка влияния различных концентраций 3 ИМК на рост культуры *Tetraselmis suecica* показала стимулирующий эффект на 9 день культивирования. Так на 9 день культивирования микроводоросли с внесением 3 ИМК в концентрации  $0,4 \times 10^{-5}$ М количество клеток в мл среды было на 14,2% больше, чем в контроле, а при использовании фитогормона в концентрации 0,1 и  $0,2 \times 10^{-5}$ М отмечалось отсутствие стимулирующего эффекта (рис. 1). Общая плотность культуры микроводоросли за 9 суток культивирования в контрольной группе увеличивалась с 220 до 730 тысяч клеток на 1 мл. В опытной культуре с использованием 3 ИМК в концентрации  $0,4 \times 10^{-5}$ М количество клеток возрастало с 230 до 870 тысяч клеток на 1 мл.

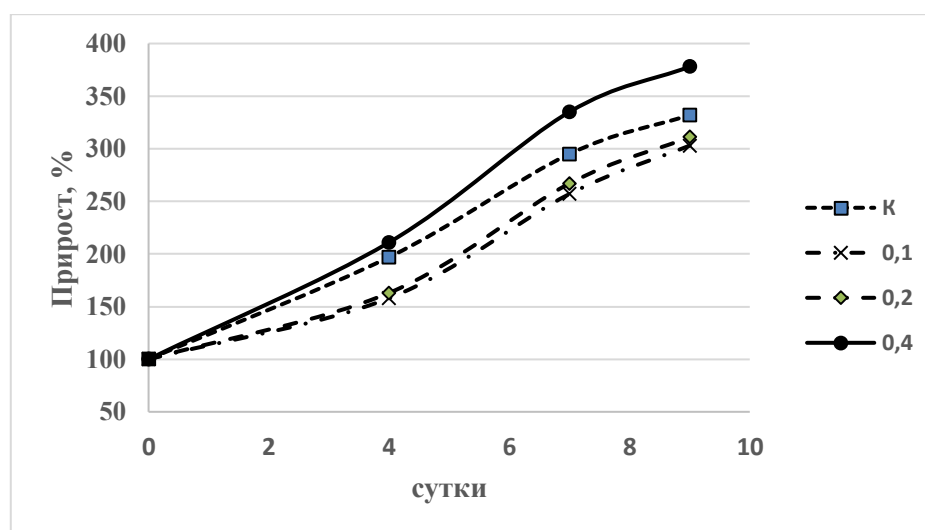


Рис 1. Динамика роста культуры *Tetraselmis suecica* с использованием различных концентраций 3-индолмасляной кислоты ( $\times 10^{-5}$  М) (К – контроль)

От интенсивности процесса фотосинтеза зависят процессы анаболизма основных веществ растительной клетки. Проведена оценка влияния фитогормонов на концентрацию хлорофилла в процессе 9 суточного культивирования (рис. 2).

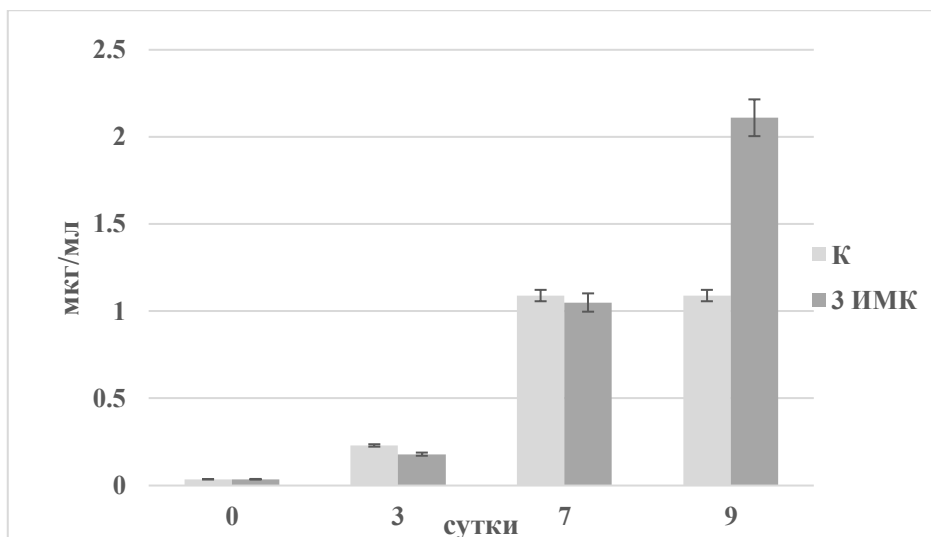


Рис 2. Динамика концентрации хлорофилла в культуре *Tetraselmis suecica* под действием 3 ИМК

В первые 3 суток культивирования не отмечалось значительного роста концентрации хлорофилла в культуре *T. suecica*. Однако, на 7-е сутки культивирования отмечен рост концентрации хлорофилла в 27,5 - 30,3 раза в разных группах культивируемой микроводоросли. Дальнейшее культивирование контрольной группы микроводорослей не оказывало влияния на концентрацию хлорофилла в культуре.

На 9-е сутки культивирования отмечен резкий рост концентрации хлорофилла для культуры *T. suecica* с внесением фитогормона. Так, внесение 3 ИМК, на 9-е сутки культивирования, способствовало увеличению концентрации хлорофилла в 58,6 раза, что превышает показатель в контрольной группе в 2 раза.

Липиды являются энергетическим запасным компонентом растительных клеток. В проведенном эксперименте показано, что культивирование контрольной культуры *T. suecica* сопровождалось ростом концентрации липидов на 215,7 % по сравнению с исходными значениями (рис. 3).

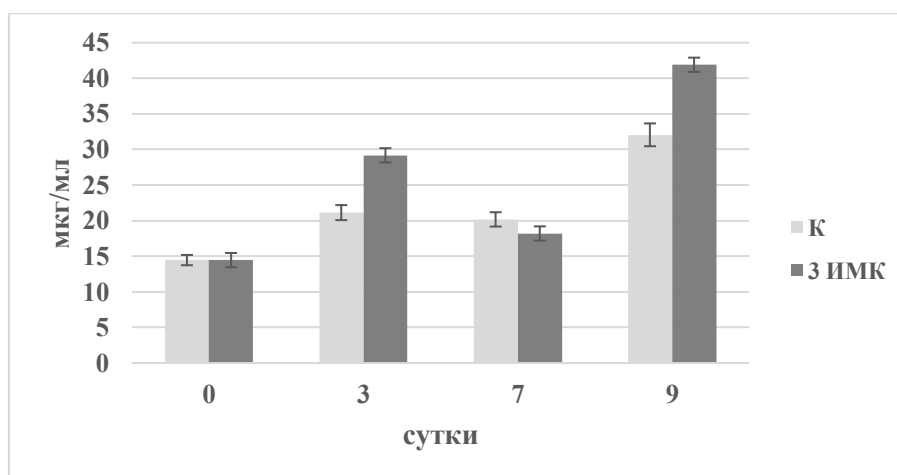


Рис 3. Динамика концентрации липидов в культуре *Tetraselmis suecica* под действием 3 ИМК

Однако динамика накопления липидов не носила линейный характер. В период с 3 по 7 сутки культивирования отмечалась задержка роста показателя.



Не линейный характер накопления липидов отмечался так же при внесении в культуральную среду 3 ИМК. В первые 3 суток культивирования отмечался рост показателя на 196,4 %, и дальнейшем снижении в 1,6 раза на 7-е сутки культивирования. Однако для данной экспериментальной группы микроводорослей на 9-е сутки культивирования отмечен резкий рост концентрации липидов на 230,2 %, по сравнению с показателем на 7-е сутки культивирования. За весь период культивирования рост количественного содержания липидов в контрольной группе составил в контрольной группе 215,7%, в опытной группе 282,0 %.

Состав жирных кислот микроводорослей может изменяться под воздействием различных факторов, в том числе условия питания, физико-химические условия условий культивирования, фаз роста [Mata et al., 2010; Kim et al., 2013].

Основными жирными кислотами были 16:0, С18:2 и С18:3 и 18:4 (пальмитиновая, олеиновая и линоленовая) кислоты независимо от состава среды культивирования (табл. 1).

Внесение в среду культивирования 3 ИМК повышало накопление пальмитиновой кислоты (16:0) в культуре *T. suecica* на 10% по сравнению с контролем.

Содержание мононенасыщенных жирных кислот было одинаковым в контрольной и экспериментальной культурах микроводоросли, за исключением 18:1n-9 и 18:2n-6 ЖК, концентрация которых возростала на 38,8 и 17,1%, соответственно.

Следует отметить, что под влиянием 3 ИМК концентрация ПНЖК в культуре *T. suecica* снижалась на 5,8%.

Полученные данные согласуются с результатами исследования Patil с соавторами (2007) по исследованию света различной интенсивности на продукционные характеристики 12 видов микроводорослей.

Таблица 1. Динамика изменения состава ЖК липидов, % от суммы ЖК

ЖК	Контроль	3 ИМК
14:0	0,61	0,50
14:1n-7	0,53	0,05
16:0	20,91	23,05
16:1n-9	1,56	1,41
16:1n-7	0,40	0,30
16:2n-6	2,29	1,92
16:3n-3	6,16	7,37
17:0	0,21	0,15
16:4n-3	12,84	10,06
18:0	0,52	0,59
18:1n-9	7,29	10,12
18:1n-7	1,59	1,18
18:2n-6	15,59	18,25
18:3n-6	1,51	1,46

18:3n-3	12,50	9,55
18:3n-1	0,70	0,25
18:4n-1	7,00	5,39
20:1n-7	0,78	0,92
20:3n-3	1,70	2,02
20:4n-3	0,40	0,34
20:5n-3	4,52	4,83
НЖК	22,24	24,29
МНЖК	12,15	13,99
ПНЖК	65,20	61,44

Зеленые водоросли, как и другие фотосинтезирующие организмы, имеют уникальный и высоко консервативный липидный состав, который представлен в основном нейтральными галактолипидами: моногалактозилдиацилглицеролом (МГДГ) и дигалактозилдиацилглицеролом (ДГДГ), а также анионными глицеролипидами: сульфохиновозилдиацилглицеролом (СХДГ) и фосфатидилглицеролом (ФГ).

Последние открытия позволили по-новому взглянуть на биосинтез анионных мембранных липидов, эволюционное происхождение ферментов, участвующих в этом процессе, и значение ФГ и СХДГ в фотосинтезе. Для нормального функционирования фотосинтетических мембран необходим определенный уровень анионных мембранных липидов. ФГ и СХДГ могут в определенной степени заменять друг друга. Однако, определенный уровень ФГ является необходимым для фотоавтотрофного роста. С другой стороны, СХДГ играет условно важную роль, позволяя фотосинтезирующим организмам выживать в фосфат-лимитирующих условиях, часто встречающихся в естественной среде обитания [Frentzen, 2004].

Не менее важные липиды зеленых водорослей – бетаиновые липиды: 1,2-диацилглицеро-О-2'-(гидрокси-метил)-(N,N,N-триметил)-β-аланин (ДГТА) и 1,2-диацилглицеро-О-4'-(N,N,N-триметил)-гомосерин (ДГТС) – основной структурообразующий липид экстрапластидных мембран [Ginneken, 2017], способный заменять фосфатидилхолин (ФХ). Предполагается, что высокие концентрации ДГТС в морских видах отражают низкую концентрацию фосфатов в океанической среде [Goss, Wilhelm, 2009]. Кроме того, приводятся доказательства того, что ДГТС вносит существенный вклад в накопление ТАГ в водорослях как источник жирных кислот, но не как предшественник ДАГ [Hoffmann, 2023].

Проведенное исследование показало, что введение в культуральную среду *Tetraselmis suecica* 3 ИМК приводит к увеличению специфических бетаиновых липидов зеленых водорослей ДГТС на 141,5% и ДГТА на 80,6% по сравнению с контролем (табл. 2).

Отмечено значительное увеличение концентрации основных липидов тилакоидных мембран СХДГ (в 2,2 раза) и ДГДГ (в 1,3 раза). СХДГ тесно связаны с определенными мембранными белками и участвуют в процессе термоадаптации липидов водорослей [Баркина и др., 2020]. По-видимому, внесение в культуральную среду экзогенного фитогормона реализуется аналогично механизму теплового стресса.

Таблица 2. Влияние 3 ИМК в концентрации  $0,4 \times 10^{-5}$  М на состав классов липидов *Tetraselmis suecica*, %

Классы липидов	Контроль	3 ИМК
Нейтральные липиды (НЛ)	37,12	34,59
Моногалактозилдиацилглицерол (МГДГ)	36,73	24,36
Дигалактозилдиацилглицерол (ДГДГ)	13,83	18,21
Сульфохиновозилдиацилглицерол (СХДГ)	6,87	14,98
Фосфатидилглицерол (ФГ)	3,58	2,81
1,2-диацилглицеро-О-2'(гидроксиметил)-(N,N,N-триметил)-β-аланин (ДГТА)	1,34	2,42
Фосфатидилинозитол (ФИ)	<0,01	0,89
Фосфатидилэтаноламин (ФЭ)	<0,01	0,46
1,2-диацилглицеро-О-4'-(N,N,N-триметил)-гомосерин (ДГТС)	0,53	1,28

### Заключение

Полученные результаты свидетельствуют, что 3 ИМК стимулирует рост клеток *T. suecica* без дополнительного внесения питательных веществ.

Содержание липидов, полученное в последний день с использованием 3 ИМК сильно отличалось от контроля и составляло 282,0%.

Полученные результаты показали, что основной насыщенной жирной кислотой *Tetraselmis suecica* является 16:0. Из ненасыщенных жирных кислот в большем количестве присутствуют 18:2 и 18:3 кислоты.

Стимуляция фитогормоном 3 ИМК приводила к накоплению насыщенных и мононенасыщенных ЖК. Концентрация ПНЖК в культуре *Tetraselmis suecica* под действие фитогормона снижалась. Таким образом показана возможность регулирования продукционных характеристик под действием эндогенного фитогормона в накопительной культуре.

### Финансирование

Работа выполнена при финансовой поддержке ДВФУ (Программа стратегического академического лидерства «Приоритет-2030»: Мировой океан, по инициативной тематике № 23-05-1.06-0016 по теме «Разработка способа получения концентратов микроводорослей в качестве корма для объектов аквакультуры» в рамках реализации проекта «Технологии контроля состояния здоровья и улучшения показателей роста объектов аквакультуры»).

### Список литературы:

1. Баркина М.Ю., Помазёнкова Л.А., Чопенко Н.С., Веланский П.В., Костецкий Э.Я., Санина Н.М. Влияние скорости тепловой акклимации на полярные липиды *Ulva lactuca* // Физ. Раст. – 2020. – Т. 67, № 1. – С. 1–17.
2. Ambati R.R., Gogisetty D., Aswathanarayana R.G., Ravi S., Bikkina P.N., Bo L., Yuepeng S. Industrial potential of carotenoid pigments from microalgae: Current trends and future prospects // *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* – 2019. – Vol. 59, No. 5. – P. 1880–1902.
3. Aminot A., Ray F. 2001. Standard procedure for the determination of chlorophyll a by spectroscopic methods. ICES techniques in marine environmental sciences (Issue 30), International Council for the Exploration of the Sea. ISSN 0903–2606.
4. Brown M.R. Nutritional value and use of microalgae in aquaculture. In *Proceedings of the Advances in Aquaculture Nutrition VI, Proceedings of the VI International Symposium on Aquaculture Nutrition (3–6 September): Cancún, Mexico.* – 2002.
5. Carneiro M., Pojo V., Malcata F.X., Otero A. Lipid accumulation in selected *Tetraselmis* strains. *Journal of Applied Phycology.* – 2019. – Vol. 31, No. 3. – P. 2845–2853.
6. Christie W.W. 2003. *Lipid analysis: Isolation, identification and structural analysis of lipids.* Bridgwater, England: The Oily Press. 416 p.
7. Frentzen M. Phosphatidylglycerol and sulfoquinovosyldiacylglycerol: Anionic membrane lipids and phosphate regulation // *Current Opinion in Plant Biology.* – 2004. Vol. 7, No. 3. – P. 270–276.
8. Ginneken V., Gittenberger A., Rensing, Vries E., Peeters E., Verheij E. Seaweed competition: *Ulva* sp. has the potential to produce the betaine lipid diacylglyceryl-O-4'-(N,N,N-trimethyl) homoserine (DGTS) in order to replace phosphatidylcholine (PC) under phosphate-limiting conditions in the P-limited Dutch Wadden Sea and outcompete an aggressive non-indigenous *Gracilaria* vermiculophyllared drift algae out of this Unique Unesco World Heritage coastal area // *Ocean and fish Open Access J.* – 2017. Vol. 2. – P. 555–596.
9. Guedes A.C., Amaro H.M., Malcata F.X. Microalgae as sources of high added-value compounds – a brief review of recent work // *Biotechnol. Prog.* – 2011. – Vol. 27, No. 3. – P. 597–613.
10. Guiry M.D. How many species of algae are there? // *J. Phycol.* – 2012. – Vol. 48, No. 5. – P. 1057–1063.
11. Goss R., Wilhelm C. Lipids in Algae, Lichens and Mosses In: *Lipids in Photosynthesis: Essential and Regulatory Functions* (Eds/ Wada H., Murata N.) // *Dorbracht: Springer Science + Business Media B.V.* – 2009. – P. 117–132.
12. Herbert D., Phipps P. J., Strange R. E. Chemical analysis of microbial cells // *Methods in Microbiology.* – 1971. – No. 5. – P. 209–344.
13. Hoffmann D. Do betaine lipids replace phosphatidylcholine as fatty acid editing hubs in microalgae? // *Front Plant Sci.* – 2023. – Vol. 14. – 1077347.
14. Isdepsky A., Borowitzka M.A. In-pond strain selection of euryhaline *Tetraselmis* sp. strains for reliable long-term outdoor culture as potential sources of biofuel and other products // *J. Appl. Phycol.* – 2019. – Vol. 31, No. 6. – P. 3359–3370.
15. Johnson K.R., Ellis G., Toothill C. The sulfophosphovanilin reaction for serum lipids: a reappraisal // *Clinical Chemistry.* – 1977. – Vol. 23, No. 9. – P. 1669–1673.
16. Kim D. G., Hur S. B. Growth and fatty acid composition of three heterotrophic *Chlorella* species // *Algae.* – 2013. – Vol. 28, No. 1. – P. 101–109.
17. Mata T. M., Martins A. A., Caetano N. S. Microalgae for biodiesel production and other applications: a review // *Renew. Sustain. Energy Rev.* – 2010. Vol. 14, No. 1. – P. 217–232.
18. Spolaore P., Joannis-Cassan C., Duran E., Isambert A. Commercial applications of microalgae // *J. Biosci. Bioeng.* – 2006. – Vol. 101, No. 2. – P. 87–96

УДК 581.526.325

Рубрика 34.35.33

ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ФИТОПЛАНКТОНА И КОНЦЕНТРАЦИИ ХЛОРОФИЛЛА–А С УЧЕТОМ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ СРЕДЫ В ПРИБРЕЖЬЕ ЧЕРНОГО МОРЯ ВЕСНОЙ

FEATURES OF PHYTOPLANKTON DISTRIBUTION AND CHLOROPHYLL-A CONCENTRATION IN CONSIDERATION OF HYDROMETEOROLOGICAL FACTORS IN THE BLACK SEA COAST IN SPRING

**Крашенинникова Светлана Борисовна<sup>1</sup>, Минкина Наталья Иосифовна<sup>1</sup>, Самышев Эрнест Зайнуллинович<sup>1</sup>, Ли Раиса Игнатьевна<sup>1</sup>, Шокурова Ирина Геннадьевна<sup>2</sup>, Бабич Сергей Алексеевич<sup>2</sup>, Бабич Милена Сергеевна<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>*Федеральный исследовательский центр Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского РАН (ФИЦ ИнБЮМ), г. Севастополь*

<sup>2</sup>*Федеральный исследовательский центр Морской гидрофизический институт РАН (МГИ), г. Севастополь*

<sup>3</sup>*Севастопольский государственный университет (СевГУ), г. Севастополь*

**Krasheninnikova Svetlana Borisovna<sup>1</sup>, Minkina Natalia Iosifovna<sup>1</sup>, Samyshev Ernest Zainullinovich<sup>1</sup>, Lee Raisa Ignatievna<sup>1</sup>, Shokurova Irina Gennadievna<sup>2</sup>, Babich Sergey Alekseevich<sup>2</sup>, Babich Milena Sergeevna<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>*A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas RAS (IBSS), Sevastopol*

<sup>2</sup>*Federal Research Center Marine Hydrophysical Institute of the Russian Academy of Sciences (MHI), Sevastopol*

<sup>3</sup>*Sevastopol State University (SevSU), Sevastopol*

## **Введение**

Для оценки состояния прибрежной экосистемы Черного моря необходимы знания о первичном звене трофической цепи – фитопланктоне и о факторах среды, влияющих на его показатели (Чмыр, Сеничева, 2009, Стельмах и др., 2019, Krasheninnikova et al., 2022). Факторы среды, в результате действия которых изменяется содержание биогенных элементов в прибрежном районе, являются наиболее важными. Это зимнее перемешивание за счет ветра и конвекции (Кубряков А. А. и др., 2019), апвеллинг (Krasheninnikova et al., 2022), сток рек и терригенные выносы, осадки над морем (Вареник и др., 2016). В настоящей работе содержание биомассы и численности фитопланктона и хлорофилла–а в прибрежных районах Крыма анализируется по весенним данным контактных наблюдений в море с учетом географических и гидрометеорологических условий. Так как в изучаемом районе нет крупных рек, то основное внимание было уделено метеорологическим условиям, приводящим к возникновению апвеллинга.

**Цель работы:** исследовать особенности распределения показателей фитопланктона и

концентрации хлорофилла-*a* весной 2022 г с учетом гидрометеорологических факторов среды в Черноморском прибрежье.

### Данные

Использовались данные о биомассе и численности фитопланктона, концентрации хлорофилла-*a* ( $C_{chl}$ ), температуре морской воды, скорости и направлении ветра, полученные в результате гидробиологических, гидрологических и метеорологических измерений в 121 рейсе НИС «Профессор Водяницкий» 20 апреля – 14 мая 2022 г. в прибрежье Крыма. Также анализировались данные измерений  $C_{chl}$  в прибрежье Севастополя, полученные в ходе экспедиций на маломерных судах ФИЦ ИнБЮМ. Кроме того, использовались ретроспективные данные о биомассе фитопланктона и концентрации хлорофилла-*a* в прибрежье Севастополя весной 2000–2021 гг., и в районе Карадага весной 1989–2021 гг., а также данные о поверхностной температуре воды и скорости и направлении ветров реанализа ERA5, температуры воздуха (<http://PogodaiKlimat.ru>).

### Результаты

В районах исследования (от Севастополя, до Феодосии) весной 2022 г. в биомассе фитопланктона доминировали динофитовые микроводоросли (*Scrippsiella acuminata* (Ehrenberg) Kretschmann, Elbrächter, Zinssmeister, S. Soehner, Kirsch, Kusber & Gottschling, 2015). Они составляли 52 % от общего числа выделенных видов на всем полигоне.

Высокие значения биомассы и численности фитопланктона и концентрации хлорофилла-*a*, были получены в прибрежной акватории Южного берега Крыма в районах глубоководного шельфа от Фороса до Ялты при интенсивном западном ветре и низкой температуре воды. Это свидетельствует о возникновении экмановского апвеллинга – подъема вод, богатых биогенными элементами, положительно влияющего на распределение показателей фитопланктона. Благоприятными для развития апвеллинга в этом районе являются ветры западных направлений (Шокурова и др., 2023)

В районе юго-восточной части Крыма (Судак–Феодосия) (мелководный шельф) при интенсивном северо-восточном ветре, при достаточно высоких температурах воды, были выявлены низкие значения показателей фитопланктона, а также  $C_{chl}$ . В этом районе с мелководным шельфом благоприятными для возникновения сгонного или смешанного апвеллинга являются северо-западные и северные ветры, в то время как северо-восточные ветры сопровождаются нагоном поверхностных вод к берегу (Иванов, Михайлова, 2008).

В районе прибрежья Севастополя (глубоководный шельф) высокие значения фитопланктона весной 2022 г. получены в условиях преобладания ветров северного и северо-западного направлений, способных вызвать экмановский апвеллинг, что соответствует теоретическим и модельным представлениям о возникновении апвеллинга в данном районе (Иванов, Михайлова, 2008). Этот результат также подтверждается результатами анализа данных многолетнего мониторинга вблизи Севастополя 2000–2021 г. (Krasheninnikova et al., 2022).

### Выводы

Благоприятные для развития апвеллинга метеорологические условия сопровождались весной 2022 г. высокими показателями содержания фитопланктона и хлорофилла-*a* в морской воде на глубоководном шельфе у Южного берега Крыма (западный ветер) и Севастополя (северо-западный ветер). Низкие показатели наблюдались в районе Судак–Феодосия при преобладании северо-восточного ветра, не способствующего выходу глубинных вод к



поверхности.

### **Благодарности**

Авторы статьи выражают благодарность ведущим инженерам отдела функционирования морских экосистем Холодову В.В., Щербатенко Л.С., за сбор проб для определения концентрации хлорофилла-*a* и фитопланктона в районе Севастополя.

### **Финансирование**

Работа выполнена по теме государственного задания ФИЦ “Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН” “Функциональные, метаболические и токсикологические аспекты существования гидробионтов и их популяций в биотопах с различным физико-химическим режимом” № 121041400077-1 и Морского гидрофизического института РАН FNNN-2021-0002 «Фундаментальные исследования процессов взаимодействия в системе океан – атмосфера, определяющих региональную пространственно-временную изменчивость природной среды и климата».

### **Список литературы**

1. Вареник А.В., Козловская О.Н., Симонова Ю.В. Оценка поступления биогенных элементов с атмосферными выпадениями в районе Южного берега Крыма (Кацивели) в 2010-2015 годах // Морской гидрофизический журнал. – 2016. – №. 5 (191). – С. 65–75.
2. Иванов В.А., Михайлова Э.Н. Апвеллинг в Черном море // Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика. 2008. 92 с.
3. Кубряков А.А. Белокопытов В.Н., Зацепин А.Г., Станичный С.В., Пиотух В.Б. Изменчивость толщины перемешанного слоя в Черном море и ее связь с динамикой вод и атмосферным воздействием // Морской гидрофизический журнал. – 2019. – Т. 35. – № 5 (209). – С. 449–468.
4. Стельмах Л.В., Куфтаркова Е.А., Бабич И.И. Сезонная изменчивость скорости роста фитопланктона в прибрежных водах Чёрного моря (район Севастополя) // Морской экологический журнал. – 2009. – Т. 8, № 1. – С. 68–80.
5. Шокурова И. Г., Пластун Т. В., Касьяненко Т. Е., Станичная Р. Р., Крашенинникова С. Б., Симонова Ю. В. Ветровые условия возникновения апвеллингов в районе Южного берега Крыма // Морской гидрофизический журнал. – 2023. – Т. 39, № 4. С. 435–447. <http://мгфж.рф/repository/issues/2023/04/02/>.
6. Юнев О.А., Коновалов С.К., Великова В. Антропогенная эвтрофикация в пелагической зоне Черного моря: долговременные тренды, механизмы, последствия. – 2019. – С. 1–159. <https://doi.org/10.34756/GEOS/2019.16.37827>.
7. Чмыр В.Д., Сеничева М.И. Особенности структуры сообществ фитопланктона приустьевой зоны Севастопольской бухты // Системы контроля окружающей среды / Средства, информационные технологии и мониторинг. – 2009. – С. 401–406.
8. Krashenninnikova S., Lee, R., Shokurova I., Yakovenko V. How hydrometeorological factors influence on phytoplankton biomass and chlorophyll-*a* concentration in the southern part of Kalamitsky Bay in spring: an analysis of relationship // Proceedings of SPIE: 28th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics. – 2022.– 12341, 123414P (6 p.). <https://doi.org/10.1117/12.2644993>.

УДК 597.4.5

Рубрика 34.35.33

ПИТАНИЕ БЫЧКА КУРГЛЯКА В ФИНСКОМ ЗАЛИВЕ ВБЛИЗИ ОСТРОВА СЕСКАР  
FEEDING OF A GOBY IN THE GULF OF FINLAND NEAR THE ISLAND OF SESKAR

**Дарсия Нина Анатольевна**

*Санкт-Петербургский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ГосНИОРХ» им. Л.С. Берга»),  
Санкт-Петербург*

**Darsiya Nina Anatolievna**

*Saint-Petersburg branch of “VNIRO” (“GosNIORKH” named after L.S. Berg”), Saint-Petersburg*

**Введение**

На данный момент бычок-кругляк *Neogobius melanostomus* (Perciformes: Gobiidae) в Финском заливе является распространенным видом-вселенцем. Впервые в Балтийском море он был обнаружен в 1990 г в акватории Польши, в последующие годы стал активно распространяться в Балтийском море и в 2000 году был впервые обнаружен в российских водах вблизи порта Балтийск [Кодухова, 2017г]. В 2012 году впервые был обнаружен в восточной части Финского залива в Ленинградской области [Успенский, 2014].

Еще в 2014 году в восточной части ФЗ отмечался авторами, как редкий [Чернова, 2014], но уже в 2022 году в ихтиологических исследованиях бычок-кругляк составлял значительную часть выборки, а в районе о. Сескар вошёл в группу основных видов рыб [Отчет, 2022].

Питание бычка в восточной части Финского залива на данный момент изучено недостаточно. В открытой морской части залива питание бычка-кругляка не изучалось.

Известно, что в естественном ареале обитания бычок-кругляк имеет весьма широкий спектр питания, состоящий, в основном, из бентосных организмов. Так основным компонентом питания этих бычков в Черном и Азовском морях являются различные двустворчатые моллюски, ракообразные и полихеты, а в Каспийском море бычки в основном питаются моллюсками, ракообразными, личинками хирономид и рыбой [Гущин, 2021].

Целью данной работы является изучение выявления спектра питания бычка в открытой части финского залива в морской части

**Материалы и методы**

Отлов рыб производился во время научно-исследовательского рейса в июле 2022 года в восточной части Финского залива Балтийского моря на трех сетных станциях в районе острова Сескар. Для отлова рыб применялся метод с использованием жаберных сетей с разноразмерной ячеей [Appelberg, 2000]. Глубины на станциях варьировали от 5,9 до 10 м. Отловленная выборка рыб фиксировались 4% раствором формалина.

Далее пробы обрабатывались в лабораторных условиях по стандартной методике изучения питания рыб в естественных условиях [Руководство, 1961]. В содержимом каждого пищеварительного тракта подсчитывали число отдельных компонентов питания. Степень наполнения желудков определяли по пятибалльной шкале Лебедева. Также определяли частоту встречаемости (ЧВ, %) пищевых компонентов, которая равна отношению суммы конкретного обнаруженного компонента пищи к общему количеству обнаруженных компонентов в процентах, умноженное на 100.

Общая выборка составила 28 экземпляров рыб, все они были изучены на предмет питания.

### Результаты и обсуждение

Размер изученных рыб варьировал от 8,4 до 16,5 см (средняя длина – 11,3 см), масса от 12,8 до 81,2 г (средняя масса – 31,1 г), возраст изученных рыб составлял 3-5 лет. Выборка в большей степени была представлена самцами.

Все изученные рыбы питались интенсивно, в выборке не было бычков с пустым пищеварительным трактом. Степень наполнения желудков была равна 4-5 баллам по шкале Лебедева (среднее наполнение или полный желудок).

Анализ питания рыб показал, что спектр питания бычка достаточно широк и был представлен 13-ю пищевыми объектами. Излюбленными компонентами питания бычка являлись различные моллюски (среди них преобладают моллюски рода *Dreissena* и рода *Theodoxus*) и ракообразные (амфиподы *Corophium volutator* и *Monoporeia affinis*, изопода *Saduria entomon*). Кроме того, в пищеварительных трактах бычков были обнаружены личинки и куколки хирономид, черви из класса Oligochaeta и Polychaeta, крупные планктонные ракообразные *Cercopagis pengoi* и *Daphnia cucullata*, растительные компоненты, которые могут заглатываться случайно (табл.1). Интересно заметить, что в желудке одного крупного бычка были обнаружены останки рыбы, но в силу высокой степени ее переваренности было невозможно определить вид жертвы (рис.1.).



Рис.1. Останки неизвестной рыбы, обнаруженные в желудке бычка-кругляка

Таблица 1. Спектр питания бычка-кругляка в Финском заливе в районе острова Сескар в летний период 2022 года

Компонент пищи	Частота встречаемости компонента, %
Род <i>Theodoxus</i>	20
Род <i>Dreissena</i>	14
<i>Malcoma baltica</i>	9
Сем. Bithyniidae	2
Класс Oligochaeta	1
Класс Polychaeta	4
Отряд Amphipoda	10
<i>Saduria entomon</i>	3
Семейство Chironomidae	8
<i>Daphnia cucullata</i>	13
<i>Cercopagis pengoi</i>	14
рыба	1
Растительные компоненты	1

В июле 2022 года гидробиологические исследования в районе о.Сескар показали, что бентосные сообщества были представлены сравнительно небольшим количеством видов. В составе сообщества зообентоса было обнаружено 12 таксонов, в том числе: олигохеты (Oligochaeta) *Baltidrilus costatus*, *Chaetogaster diaphanus*, *Isochaetides michaelsoni*, *Propappus volki*, *Stylaria lacustris*, *Enchytraeidae gen. sp.*, личинки хирономид, моллюски (Mollusca) *Malcoma baltica*, ракообразные (Crustacea) *Corophium volutator*, *Monoporeia affinis*, полихеты (Polychaeta) *Marenzelleria spp.*, немертены (Nemertea) *Cyanophthalma obscura* [Отчет,2022]

На исследуемой акватории Финского залива в составе зоопланктона обнаружен 21 таксон, из которых были отмечены следующие массовые виды зоопланктона: коловратки, и ракообразные: ветвистоусые - *Bosmina longirostris*, *Daphnia cristata*, *D. cucullata*, *Cercopagis pengoi*; веслоногие - *Mesocyclops leuckarti*, *Thermocyclops oithonoides*, *Eurytemora hirundoides* [Отчет,2022].

При сравнении спектра питания бычка и состава бентосного и планктонного сообщества водоема, видно, что бычок-кругляк использует в пищу значительную долю организмов, доступных ему в ареале обитания.

## Выводы

Таким образом, полученные данные показали, что спектр питания бычка-кругляка в Финском заливе также широк, как и в естественном месте обитания. В Финском заливе, как и в Черном и Азовском морях, бычок предпочитает питаться моллюсками, крупными ракообразными и полихетами. Кроме того, в данном ареале обитания бычки питаются крупными планктонными организмами и могут поедать других рыб. Спектр питания бычков в Финском заливе, тесно связан с составом кормовой базы ареала обитания.

## Список литературы

1. Appelberg M. Swedish standard methods for sampling freshwater fish with multi-mesh gillnets. Fiskeriverket Information 1: –2000.–1–27.
2. Гущин А.В., Ежова Е.Е., Боровикова Е.А. Питание вселенца бычка-кругляка *Neogobius melanostomus* (Perciformes: Gobiidae) в Юго-восточной Балтике// Российский Журнал Биологических Инвазий.–2021–. N4. – С.43-53.
3. Кодухова Ю. В., Боровикова Е. А., Ежова Е. Е., Гущин А. В. Особенности морфологии бычка-кругляка (*Neogobius melanostomus*) Юго-восточной Балтики// Региональная экология. – 2017. – N3 (49). – С.65-74.
4. Отчет о проведении натурных исследований с целью оценки состояния водных биоресурсов и среды их обитания при проведении работ по объекту: «исследование водных биологических ресурсов и среды их обитания в районах месторождений «Стирсудденские банки», «Стирсудден-Кюренниемеи» и «о.Сескар»// Отчет. Фонды Санкт-Петербургского филиала ФГБНУ «ВНИРО». –2022 г.– 65с.
5. Руководство по изучению питания рыб в естественных условиях. –1961.– 261с.
6. Успенский А.А., Насека А.М. К изучению рыбного населения прибрежных мелководий российского сектора Финского залива//Региональная экология. –2014г.– N 1-2. – С.48-55.
7. Чернова Н.В. Краткий обзор ихтиофауны Финского залива// Ученые записки российского государственного гидрометеорологического университета. –2014 – N35.– С.55-70.

УДК 597.56

Рубрика 34.33.33

ПОПУЛЯЦИОННАЯ СТРУКТУРА САЙКИ (*BOREOGADUS SAIDA*) НА ОСНОВАНИИ ФРАГМЕНТА ГЕНА *CYT B* В ПРЕДЕЛАХ ШЕСТИ МОРЕЙ СЕВЕРНОГО ЛЕДОВИТОГО ОКЕАНА

POPULATION STRUCTURE OF THE POLAR COD (*BOREOGADUS SAIDA*) BASED ON THE *CYT B* GENE FRAGMENT WITHIN THE SIX SEAS OF THE ARCTIC OCEAN

**Емельянова Ольга Романовна<sup>1,2</sup>, Григоров Игорь Владимирович<sup>3</sup>, Орлов Алексей Маркович<sup>4,5,6</sup>, Орлова Светлана Юрьевна<sup>1,4</sup>**

<sup>1</sup> *Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ВНИРО), Москва*

<sup>2</sup> *Московский Государственный Университет им. М.В. Ломоносова (МГУ), Москва*

<sup>3</sup> *Главное бассейновое управление по рыболовству и сохранению водных биологических ресурсов (Главрыбвод), Москва*

<sup>4</sup> *Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН (ИО РАН), Москва*

<sup>5</sup> *Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН (ИПЭЭ РАН), Москва*

<sup>6</sup> *Томский государственный университет (ТГУ), Томск*

**Emelyanova Olga Romanovna<sup>1,2</sup>, Grigorov Igor Vladimirovich<sup>3</sup>, Orlov Alexey Markovich<sup>4,5,6</sup>, Orlova Svetlana Yurievna<sup>1,4</sup>**

<sup>1</sup> *Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography*

<sup>2</sup> *Lomonosov Moscow State University*

<sup>3</sup> *Glavrybvod*

<sup>4</sup> *Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences*

<sup>5</sup> *Severtsov Institute of Ecology and Evolution of the Russian Academy of Sciences*

<sup>6</sup> *Tomsk State University*

## **Введение**

В условиях глобального потепления климата и всевозрастающего уровня антропогенной нагрузки на экосистемы Арктики наиболее уязвимыми становятся stenothermic виды, такие как полярная тресочка или сайка (*Boreogadus saida*) (Barber et al. 2008; Lasserre 2010). Границы обширного ареала этого криопелагического вида, считающегося ключевым компонентом экосистем шельфовых и центральных регионов Арктического бассейна (Нор, Gjøsæter, 2013; Антонов и др., 2016), в настоящий момент смещаются к северу из-за отступления полярного фронта и сокращения площади ледовых полей (Mueter et al., 2016), а учитывая прогнозируемое распространение на север более эвритермных видов, сайка может стать более уязвимой для межвидовой конкуренции (Laurel et al., 2016; Leo et al., 2017). Таким образом, перемещения и распространение сайки, в



частности икры и личинок, вероятно, находятся под влиянием совместного воздействия различных факторов окружающей среды, таких как температура, соленость и ледовый покров (Kessel et al., 2016). Поэтому этот вид может служить индикатором состояния арктических ихтиоценов, а также изменений пищевых цепей в арктических и субарктических экосистемах в условиях глобальных климатических сдвигов (Нор, Gjøsæter, 2013; Mueter et al., 2016). Тем не менее, непосредственное наблюдение за перемещением личинок для определения степени расселения в океанической среде проблематично (Fauvelot and Planes, 2002), поэтому для получения информации о связях популяций и, как следствие, о факторах, ограничивающих или способствующих расселению, целесообразным видится использование генетических подходов.

На данный момент популяционная структура и генетическая изменчивость сайки в пределах ареала изучена недостаточно тщательно (Mecklenburg et al., 2018). Можно сказать, что в пределах своего широкого ареала сайка демонстрирует невысокую генетическую изменчивость. Существуют противоречивые сведения о ее популяционной структуре в пределах Арктического бассейна Северного Ледовитого океана (Гордеева, Мишин, 2019; Madsen et al., 2016; Nelson et al., 2020; Quintela et al., 2021; Maes et al., 2021). Нами уже было проведено исследование популяционной структуры сайки по полиморфизму гена *Cyt b* в Чукотском море и море Бофорта, где мы выявили отсутствие различий в выборках (Emelianova et al., 2022). Расширяя географию нашего исследования и включая в него Баренцево море, Карское море, море Лаптевых и Восточно-Сибирское море, мы надеемся получить сходную картину и показать отсутствие генетической структуры на всей данной территории.

## Методы

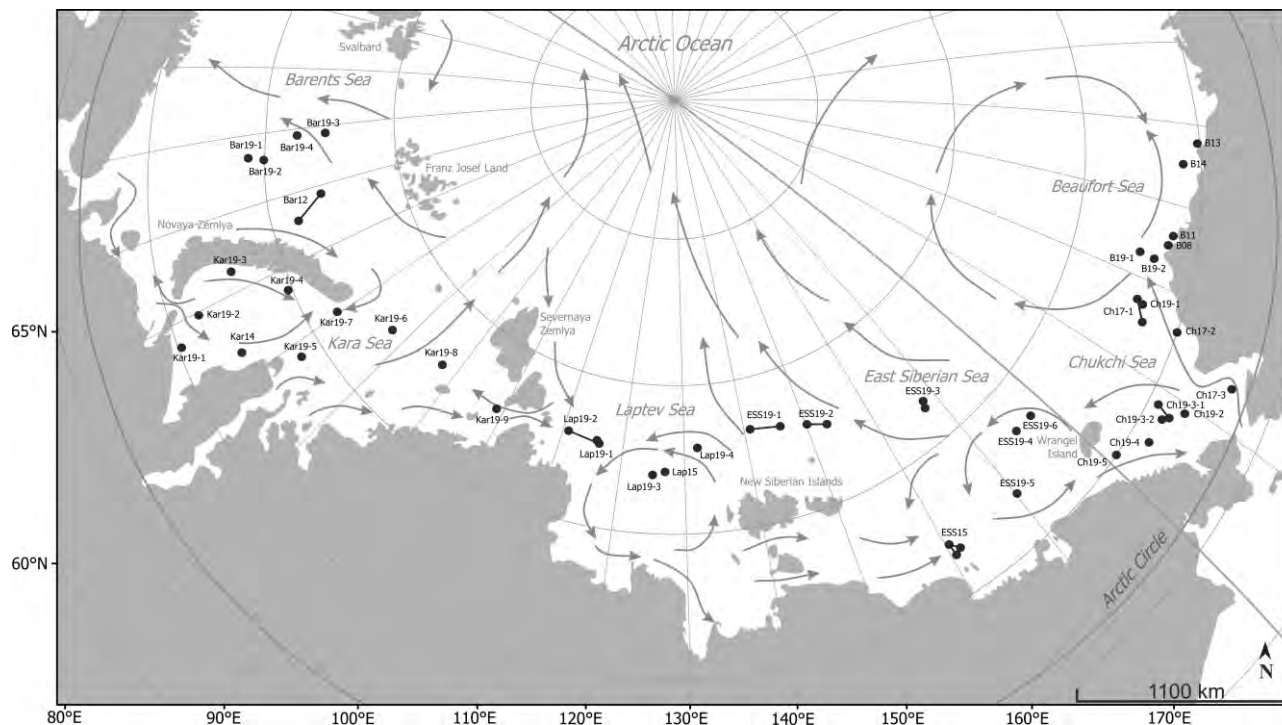


Рисунок 1. Карта сбора образцов сайки с основными течениями региона (стрелки). Малые и географически близкие выборки были объединены после расчета индексов  $F_{st}$  и соединены на карте прямыми линиями.

В работе использовались образцы ткани сайки собранные в разных морях Арктического бассейна Северного Ледовитого океана в разные годы (2012-2019 гг.) и зафиксированные в 96% этаноле (Рис. 1). Для более полной картины дополнительно использовались последовательности гена *Cyt b* взятые из открытой базы NCBI: MG100521-MG100549 (B08), MG100209-MG100394 (B11), MG100395-MG100445 (B13), MG100446-MG100520 (B14) (Wilson et al., 2019).

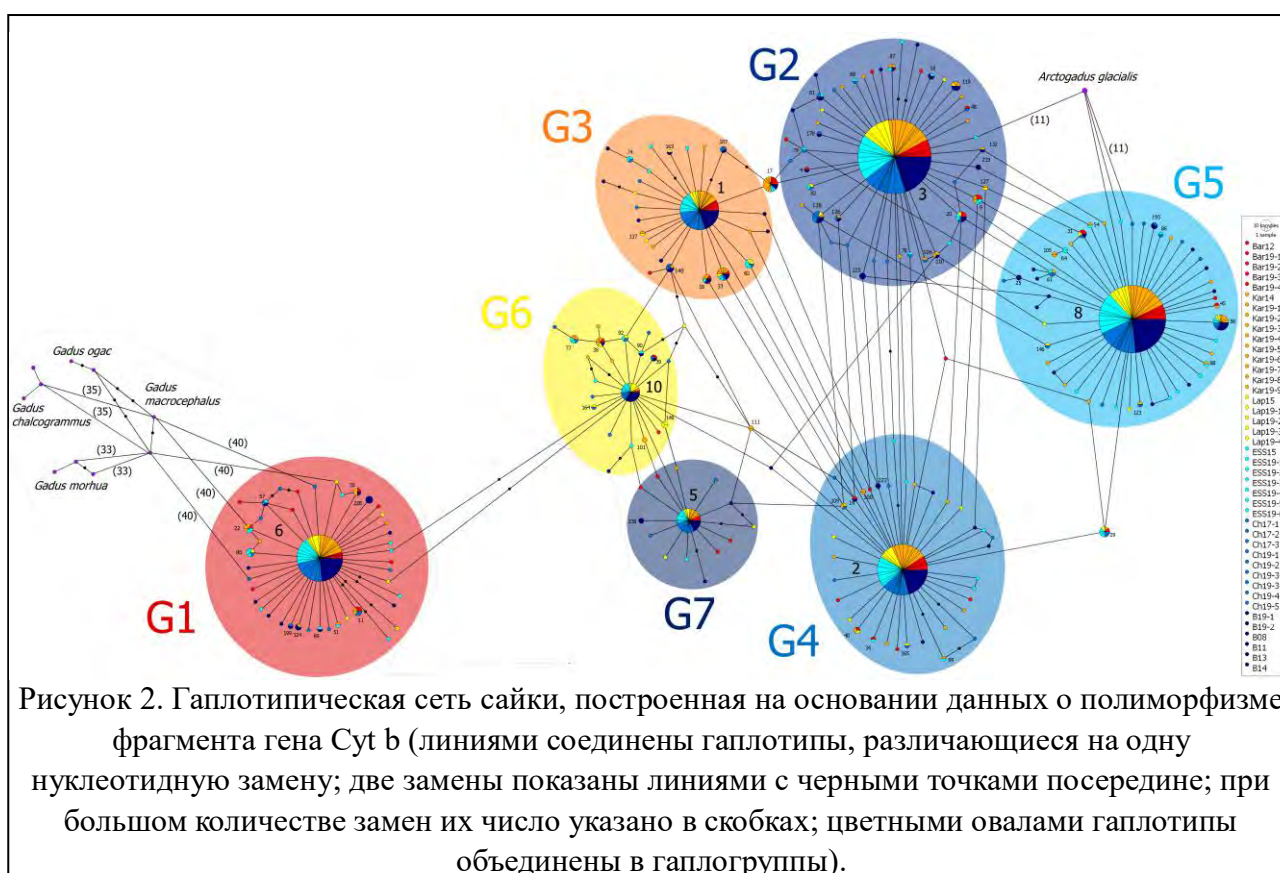
Выделение и очистку ДНК проводили с помощью набора для выделения ДНК Wizard SV 96 Genomic DNA Purification System (“Promega”, США) согласно протоколу фирмы-изготовителя. Для амплификации фрагмента гена цитохрома б сайки были использованы праймеры SaiCytb-F 5' GCCATACACTACACCGCAGA, SaiCytb-R 5' GCGGAATGTTAAACCTCGCT. Реакция амплификации проводилась по следующей программе: денатурация ДНК - 95°C, 3 мин; 35 циклов, состоящих из 30 сек денатурации ДНК матрицы при 95°C, 30 сек отжига праймеров при температуре 52°C и синтеза элонгации 30 сек при 72°C. Затем следовала завершающая элонгация 10 мин при 72°C. После проведения ПЦР полученный продукт в объеме 3 мкл очищали от примесей методом этанол-преципитации (Silva et al., 2001). Для реакции секвенирования брали 0.4 пмоль очищенного ПЦР-продукта и 3.2 пмоль соответствующего праймера. Реакцию секвенирования проводили с праймером SaiCytb-F 5' GCCATACACTACACCGCAGA и набором реактивов BigDye v1.1 (ABI). После проведения реакции секвенирования полученный продукт объемом 0.5 мкл растворяли в 15 мкл формамида (Silva et al., 2001), денатурировали при температуре 95°C в течение 5 мин. Секвенирование образцов ДНК сайки проводили на приборе ABI Prism 3130xl согласно протоколу фирмы-изготовителя (Applied Biosystems, USA).

Обработку полученных последовательностей фрагмента гена *Cyt b* осуществляли при помощи пакета программ Geneious 8.1.8 (Drummond et al., 2011). Полученные нуклеотидные последовательности образцов сайки переводили в необходимый формат для построения гаплотипической сети в программе PopArt (Leigh, 2015). В качестве аутгруппы из базы данных NCBI были взяты последовательности: *Gadus microcephalus* (NC\_036931, KY296294, DQ356938), *Gadus chalcogrammus* (MH035602, MH035603, MH035604), *Gadus morhua* (NC\_002081, KX267079, KX267089), *Gadus ogac* (DQ356940, DQ356941), *Arctogadus glacialis* (NC\_010122, AM919429). Индекс генетической дифференциации (Fst) и p-value, а так же коэффициенты теста Таджимы (Tajima, 1989) рассчитывали при помощи программы Arlequin 3.5.1.3 (Excoffier et al., 2010), для конвертирования файла fasta в необходимый для расчёта формат использовали конвертор FaBox 1.41 (Villesen, 2007). Среднее число нуклеотидных замен ( $k$ ) и гаплотипическое разнообразие ( $Hd$ ) в каждой выборке и среди всех образцов анализировали в пакете программ DnaSP 5.10.01 (Librado et al., 2009). Доли мтДНК гаплотипов фрагмента гена *Cyt b* в популяции и в каждой выборке сайки рассчитывали при помощи программы Microsoft Excel 2010. Расстояние в километрах между всеми точками отбора проб было получено путем нанесения местоположения на карту в программе Google Earth и ручного измерения кратчайшего расстояния между двумя точками по воде (в обход суши). Для выборок, состоящих из двух точек сбора, бралась точка в середине прямой, соединяющей точки сбора; для выборок, состоящих из трех точек сбора, бралась точка пересечения медиан в треугольнике, образованном линиями, соединяющими точки сбора. Взаимосвязь между генетическим расстоянием, т. е.  $FST/(1-FST)$ , и географическим расстоянием была исследована с использованием Two-tailed теста Мантелла (Mantel, 1967), который проводился в программе PASSaGE v2 (Rosenberg, Anderson, 2011); значимость оценивалась с помощью 10 000 перестановок.

## Результаты

В результате исследования полиморфизма фрагмента гена мтДНК *Cyt b* длиной 616 п.н. у 1713 особей (42 выборки) сайки было обнаружено 242 гаплотипа. На основе последовательностей была построена сеть гаплотипов (рис. 2). Она имеет «звездообразную» структуру с 7 основными гаплотипами и малочисленными гаплотипами, происходящими от основных (рис. 2). Суммарная доля рыб с основными гаплотипами составила 75% всех исследованных особей.

На основании сети гаплотипов нами было выделено семь гаплогрупп (G1-G7) по принципу наличия наименьшего количества замен между крупными гаплотипами и произошедшими от них малых гаплотипов. Шесть малых гаплотипов, равноудалённых от крупных, не были отнесены ни к одной группе. Мы предполагаем, что гаплогруппа G1 имеет более древнее происхождение по сравнению со всеми остальными гаплогруппами, так как взаимосвязь с родом *Gadus* (аутгруппа) формируется именно через вышеупомянутую гаплогруппу. Более того, она имеет связь только с гаплогруппой G6 и изолирована от остальных гаплогрупп.

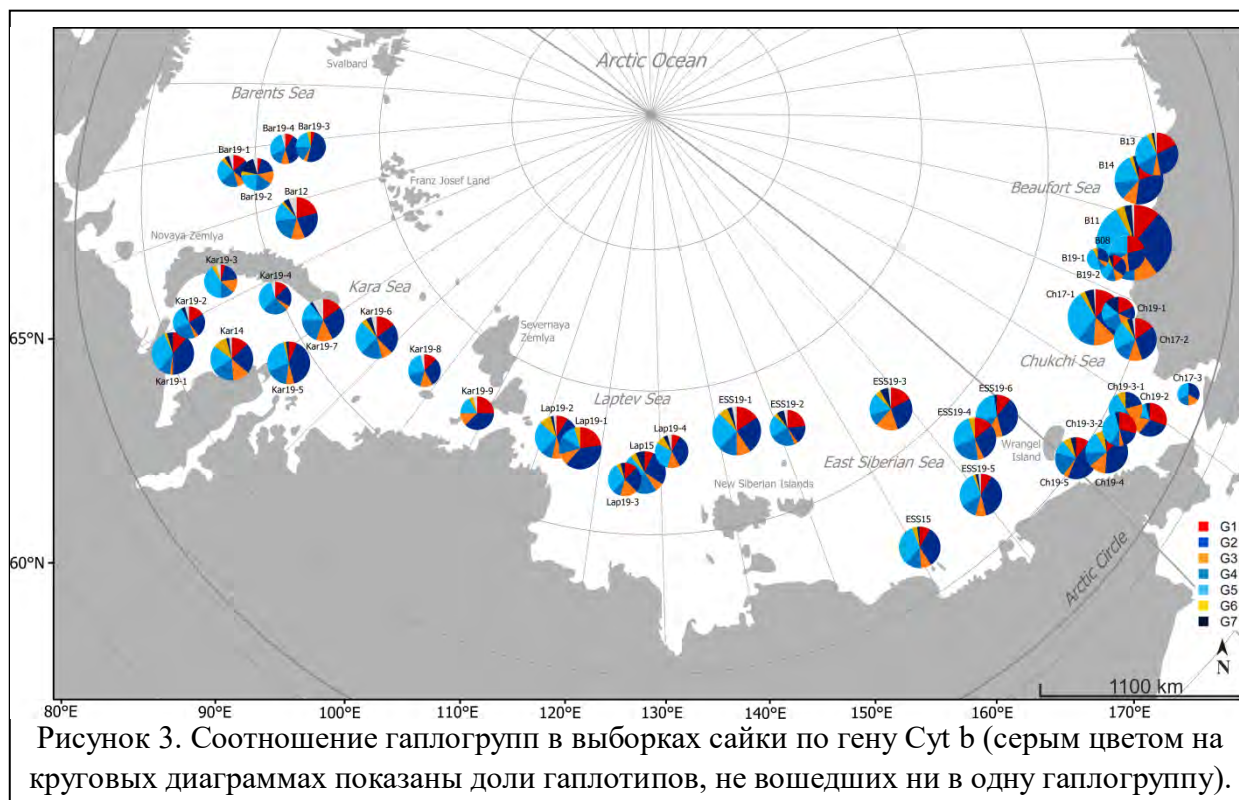


Затем на карту были нанесены круговые диаграммы, отражающие доли гаплогрупп в исследованных выборках (Рис.3). Можно сказать, что на всей исследованной территории соотношение гаплогрупп в выборках остается примерно одинаковым, и выборки по этому соотношению не удастся разделить на группы. При объединении выборок по морям распределения гаплогрупп неотличимы друг от друга (Рис. 4).

Значения гаплотипического разнообразия у всех выборок также достаточно близки. Минимальное и максимальное значения  $H_d$  зарегистрированы в выборках из Карского моря и Баренцева моря 2019 г.:  $0.804 \pm 0.010$  (Kar19-4) и  $0.944 \pm 0.007$  (Bar19-1). Сильных различий как между географически удаленными выборками, так и между выборками разных лет из сходных акваторий не обнаружено. Не выявлено закономерности и в изменении показателя



среднего числа нуклеотидных замен ( $K$ ), но при этом обнаружены выборки как с низкими значениями ( $K=2.004$  (Bar19-3),  $K=2.138$  (Ch19-3-1),  $K=1.846$  (B19-1)), так и с высоким ( $K=4.016$  (Ch19-2)).

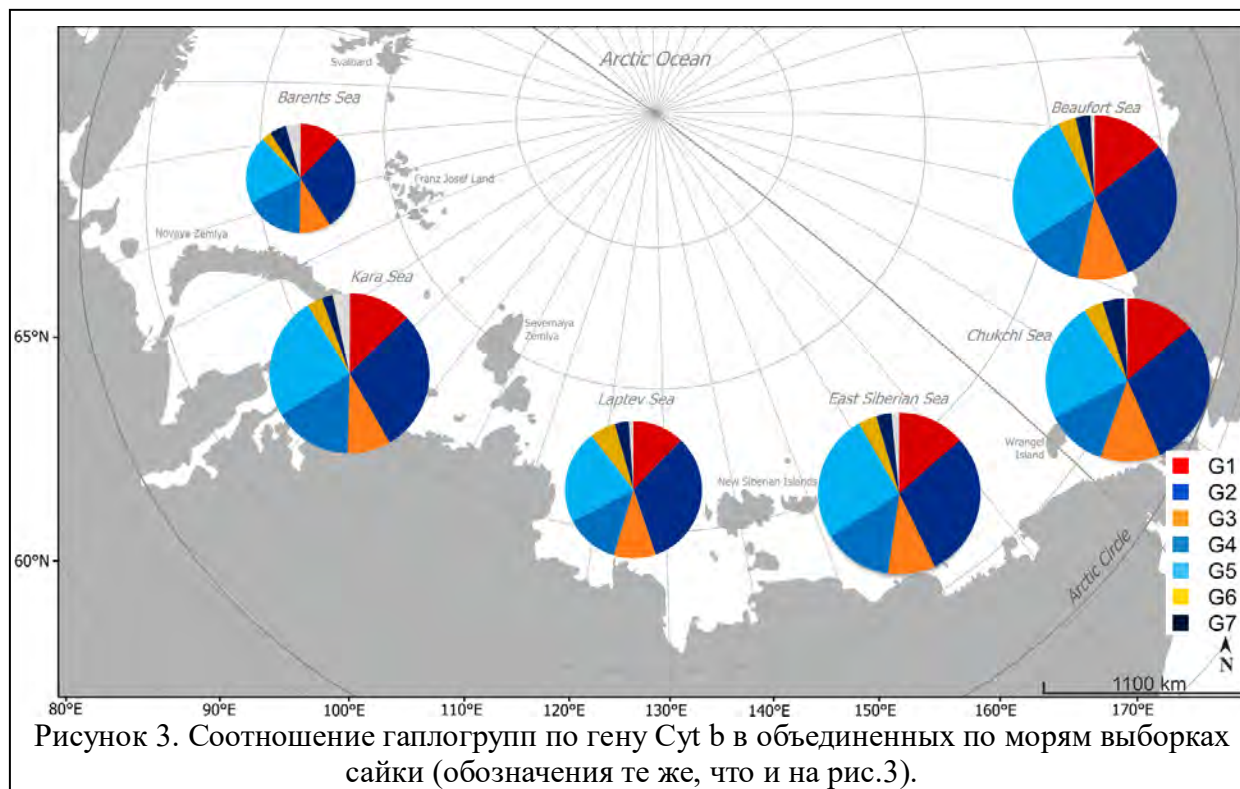


Так же была построена матрица попарных значений индекса генетической дифференциации  $F_{st}$  между всеми исследованными выборками сайки. Ряд значений был статистически достоверен ( $0,03-0,12$ ;  $p < 0,05$ ), однако четкой структуры их распределения (например, отличия всех выборок одного моря от всех выборок другого моря или отличия одной выборки от всех остальных выборок) выявлено не было.

Мы провели тест нейтральности Тадзимы (Tajima's  $D$ ), чтобы провести различие между нейтральной эволюцией (генетическим дрейфом) и неслучайными процессами (отбором). Для выборок значения были в большинстве случаев отрицательные, но статистически недостоверными (последнее, вероятно, связано с недостаточным количеством образцов, так как значение  $p$ -value было получено только для выборки B11 – самой крупной из исследованных нами). Положительные (но и с высоким  $p$ -value) значения были получены для выборок Ch19-3-2 ( $0,52$ ,  $p$ -value =  $0,73$ ), ESS19-1 ( $0,34$ ,  $p$ -value =  $0,69$ ), Kar19-9 ( $0,13$ ,  $p$ -value =  $0,6$ ) и Lap19-4 ( $0,004$ ,  $p$ -value =  $0,55$ ). При объединении выборок по морям, были получены значительные и статистически значимые отрицательные значения ( $-1,91$ —  $(-1,45)$ ,  $p$ -value  $< 0,05$ ), что указывает на то, что на этот ген мог воздействовать очищающий отбор и/или что популяции подверглись недавнему увеличению численности.

Чтобы выяснить, соответствует ли наблюдаемая взаимосвязь между генетическими и географическими дистанциями закономерности увеличения генетической дифференциации с географической удаленностью («изоляция по расстоянию», «IBD») в результате ограниченного потока и дрейфа генов, был произведен тест Мантелла (1967). Ранее вышедшие работы показали противоречивые результаты: наличие корреляции подтверждалось (Nelson et al., 2020), отрицалось (Madsen et al., 2016; Maes et al., 2021) или же подтверждалось только на части исследованного ареала (Quintela et al., 2021). По нашим

данным гипотеза «изоляции по расстоянию» не подтверждается ( $r = 0,002$ , Two-tailed  $p = 0,949$ ).



## Выводы

1. На основании архитектуры гаплотипической сети мы можем предположить существование как минимум семи всплесков численности за все время существования вида.
2. Данные о распределении гаплотипов и гаплогрупп, а также попарных индексов *Fst* и индексов гаплотипического разнообразия могут свидетельствовать о существовании единой популяции сайки на исследованной территории (на шельфе шести морей Северного Ледовитого Океана).
3. Результаты теста нейтральности Таджимы показывают, что на ген *Cyt b* данной популяции мог воздействовать очищающий отбор и/или что эта популяция подверглась недавнему увеличению численности.
4. Наши данные не подтверждают гипотезу «изоляции по расстоянию».
5. Отсутствие генетической дифференциации сайки на значительной части ее видового ареала мы связываем с особенностями ее экологии на ранних стадиях жизненного цикла: пелагическая икра сайки (Spencer et al., 2020) развивается в верхних слоях воды и дрейфует до вылупления личики два-четыре месяца (Graham, Hop, 1995). Последние исследования предполагают (Vestfals et al., 2021), что личинки сайки Чукотского моря, скорее всего, происходят из нерестилищ Берингова моря и южной части Чукотского моря, а из нерестилищ Чукотского моря, скорее всего, рыба приходит в море Бофорта и остальные моря Северного Ледовитого океана. Таким образом, отсутствие генетических различий на значительных

частях ареала обусловлено переносом икры, личинок и ранней молоди сайки течениями на большие расстояния.

### Список литературы:

1. Антонов Н.П., Кузнецов В.В., Кузнецова Е.Н., Татарников В.А., Гончаров С.М., Митенкова Л.В., Жидик М.С. Сайка *Boreogadus saida* (Gadiformes, Gadidae) как ключевой вид и потенциальный объект рыбного промысла в Карском море // *Вопр. Рыболовства*. - 2016. - Т. 17. - № 2. - С. 203–212.
2. Гордеева Н.В., Мишин А.В. О популяционно-генетической изменчивости сайки *Boreogadus saida* арктических морей России // *Вопр. Ихтиологии*. - 2019. - Т. 59. - № 2. - С. 216–224.
3. Barber D.G., Lukovich J.V., Keogak J., Baryluk S., Fortier L., Henry G.H.R. The changing climate of the Arctic. // *Arctic*. - 2008. - No. 61 – P. 7–26.
4. Drummond, A.J., Ashton, B., Buxton, S., Cheung, M., Cooper, A., Duran, C., Field. M., Heled, J., Kearse, M., Markowitz. S., Moir. R., Stones-Havas, S., Sturrock, S., Thierer, T., Wilson, A. Geneious v5.4. - 2011.
5. Emelianova O.R., Grigorov I.V., Orlov A.M., Orlova S.Yu. Polymorphism of mtDNA gene Cyt b of the Chukchi Sea polar cod, *Boreogadus saida* (Gadidae, Gadiformes) // *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*. - 2022. - V. 206. - № 105212.
6. Excoffier, L., Lischer, H.E.L. Arlequin suite ver 3.5: a new series of programs to perform population genetics analyses under Linux and Windows // *Mol. Ecol. Resour.* - 2010. - №10. - P. 564–567.
7. Fauvelot C., Planes S. Understanding origins of present-day genetic structure in marine fish: biologically or historically driven patterns? // *Marine Biology*. - 2002. - № 141. - P. 773–788.
8. Graham M., Hop H. Aspects of reproduction and larval biology of Arctic cod (*Boreogadus saida*) // *Arctic*. - 1995. - V. 48. № 2. - P. 130–135.
9. Hop H., Gjørseter H. Polar cod (*Boreogadus saida*) and capelin (*Mallotus villosus*) as key species in marine food webs of the Arctic and the Barents Sea // *Mar. Biol. Res.* - 2013. - V. 9. - P. 878–894.
10. Kessel S.T., Hussey N.E., Crawford R.E. et al. Distinct patterns of Arctic cod (*Boreogadus saida*) presence and absence in a shallow high Arctic embayment, revealed across open-water and ice-covered periods through acoustic telemetry // *Polar Biol.* - 2016. - № 39. - P. 1057–1068.
11. Laurel B.J., Spencer M., Iseri P., Copeman L.A. Temperature-dependent growth and behavior of juvenile Arctic cod (*Boreogadus saida*) and co-occurring North Pacific gadids. // *Polar Biol.* - 2016. - № 39. — P. 1127–1135.
12. Lasserre F. Passages et mers arctiques. Géopolitique d'une région en mutation. // Presses de l'Université du Québec, Quebec City, - 2010. - P. 489.
13. Leigh, J.W., Bryant, D. Popart: full-feature software for haplotype network construction. // *Meth. Ecol. Evol.* - 2015. - № 6. - P. 1110–1116.
14. Leo E., Kunz K.L., Schmidt M. et al. Mitochondrial acclimation potential to ocean acidification and warming of Polar cod (*Boreogadus saida*) and Atlantic cod (*Gadus morhua*) // *Front Zool.* - 2017. - V. 14. - № 21.



15. Librado, P., Rozas, J. DnaSP v5: a software for comprehensive analysis of DNA polymorphism data // *Bioinformatics*. - 2009. - №25. - P. 1451-1452.
16. Madsen M.L., Nelson R.J., Fevolden S.E., Christiansen J.S., Præbel K. Population genetic analysis of Euro-Arctic polar cod *Boreogadus saida* suggests fjord and oceanic structuring // *Polar Biology*. - 2016. - № 39(6). - P. 969-980.
17. Maes S.M., Christiansen H., Mark F.C., Lucassen M., Van de Putte A., Volekaert F.A., Flores, H. High gene flow in polar cod (*Boreogadus saida*) from West-Svalbard and the Eurasian Basin // *Journal of Fish Biology*. - 2021. - № 99. - P. 49–60.
18. Mantel N. The detection of disease clustering and a generalized regression approach // *Cancer Research*. - 1967. - № 27 (2) — P. 209–220.
19. Mecklenburg, C.W., Lynghammar, A., Johannesen, E., Byrkjedal, I., Christiansen, J.S., Dolgov, A.V., Karamushko, O.V., Mecklenburg, T., Møller, P.R., Steinke, D., Wienerroither, R. Marine fishes of the Arctic region. - 2018. - V. 1.
20. Mueter F.J., Nahrgang J., Nelson R.J., Berge J. The ecology of gadid fishes in the circumpolar Arctic with a special emphasis on the polar cod (*Boreogadus saida*) // *Polar Biol.* - 2016. - V. 39. - № 6. - P. 961–967.
21. Nelson R.J., Bouchard C., Fortier L., Majewski A.R., Reist J.D., Praebel K., Madsen M.L., Rose G.A., Kessel S.T., Divoky G.J. Circumpolar genetic population structure of polar cod, *Boreogadus saida*. // *Polar Biology*. - 2020 - № 43. - P. 951-961.
22. Quintela, M., Bhat, S., Præbel, K., Gordeeva, N., Seljestad, G.W., Hanebrekke, T., Mateos-Rivera, A., Vikebø, F., Zelenina, D., Cheng, C.H., Johansen, T. Distinct genetic clustering in the weakly differentiated polar cod, *Boreogadus saida* Lepechin, 1774 from East Siberian Sea to Svalbard // *Polar Biology*. – 2021. - V. 44. - P. 1711-1724.
23. Rosenberg M.S., Anderson C.D. PASSaGE: Pattern Analysis, Spatial Statistics and Geographic Exegesis. Version 2 // *Methods in Ecology and Evolution*. - 2011. - №2 – P. 229-232.
24. Silva, W.A., Costa, M.C., Valente, V., de Freitas Sousa, J., Paco-Larson, M.L., Espreafico, E.M., Camargo, S.S., Monteiro, E., de Jesus Holanda, A., Zago, M.A., Simpson, A.J. PCR template preparation for capillary DNA sequencing // *BioTechniques*. - 2001 – V.30 – P. 537-542.
25. Spencer M.L., Vestfals C.D., Mueter F.J. et al. Ontogenetic changes in the buoyancy and salinity tolerance of eggs and larvae of polar cod (*Boreogadus saida*) and other gadids // *Polar Biology*. – 2020. - V. 43(8). – P. 1-18.
26. Tajima F. Statistical method for testing the neutral mutation hypothesis by DNA polymorphism // *Genetics*. - 1989.- №123(3) — P. 585-595.
27. Vestfals C.D., Mueter F.J., Hedstrom K.S. et al. Modeling the dispersal of polar cod (*Boreogadus saida*) and saffron cod (*Eleginus gracilis*) early life stages in the Pacific Arctic using a biophysical transport model // *Progress in Oceanography*. – 2021. – V. 196. - 102571.
28. Villesen, P. FaBox: an online toolbox for Fasta sequences // *Mol. Ecol. Notes*. - 2007 - №7. - P. 965–968.
29. Wilson R.E., Sage G.K., Wedemeyer K., Sonsthagen S.A., Menning D.M., Gravley M.C., Sexson M.G., Nelson R.J., Talbot S.L. Micro-geographic population genetic structure within Arctic cod (*Boreogadus saida*) in Beaufort Sea of Alaska // *ICES Journal of Marine Science*. - 2019. - № 76(6). - P. 1713-1721.

УДК 57.053.2

Рубрика 34.39.39

ЗАВИСИМОСТЬ ОТ ПОЛА ЭКСПРЕССИИ ГЕНА ПРОЛАКТИНА В МОЗГЕ И ГЕНОВ Na/K-АТФАЗЫ В ЖАБРАХ ТРЁХИГЛОЙ КОЛЮШКИ *GASTEROSTEUS ACULEATUS* L. ПРИ ПРЕСНОВОДНОЙ АДАПТАЦИИ

EXPRESSION OF THE PROLACTIN GENE IN THE BRAIN AND Na/K-ATPASE GENES IN THE GILLS OF THE THREESPEEDED STICKLEBLE *GASTEROSTEUS ACULEATUS* L. DEPEND ON SEX AND FRESHWATER ADAPTATION

**Павлова Надежда Сергеевна<sup>1</sup>, Неретина Татьяна Владимировна<sup>2</sup>, Смирнова Ольга Вячеславовна<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> *Кафедра физиологии человека и животных, биологический факультет, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва*

<sup>2</sup> *Беломорская биологическая станция им. Н.А. Перцова, биологический факультет, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва*

**Pavlova Nadezhda Sergeevna<sup>1</sup>, Neretina Tatyana Vladimirovna<sup>2</sup>, Smirnova Olga Vyacheslavovna<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> *Department of Human and Animal Physiology, Biological Faculty, Lomonosov Moscow State University, Moscow*

<sup>2</sup> *N.A. Pertsov White Sea Biological Station, Biological Faculty, Lomonosov Moscow State University, Moscow*

### **Введение**

Трёхиглая колюшка (*Gasterosteus aculeatus* L.) – эвригалинная рыба, обладающая высокой пластичностью осморегуляторной функции, а также сложным репродуктивным и родительским поведением. В обеих этих функциях у рыб принимает участие пептидный гормон пролактин. Однако, как правило, эти функции у разных видов рыб исследуются независимо друг от друга [Зюганов, 1991; Takvam et al., 2021].

Пролактин регулирует водно-солевой баланс у эвригалинных рыб, воздействуя через свои рецепторы на осморегуляторные органы, в частности, жабры, способствуя поглощению ионов при адаптации к пресной воде. В настоящее время для трёхиглой колюшки известно два пролактиновых рецепторы PrlRa и PrlRb, кодируемых генами *prlra* и *prlrb* соответственно. Na/K-АТФаза, находящаяся в основном в богатых митохондриями клетках жаберных филламентов, является одним из ключевых регуляторов транспорта воды и ионов в осморегуляторных органах рыб [Aruna et al., 2021; Nagarajan et al., 2023].

Нами было выдвинуто предположение о зависимой от пола регуляции пролактином экспрессии генов Na/K-АТФазы в ткани жабр колюшек в период нереста.

## Методы

Отлов особей *Gasterosteus aculeatus* (самок,  $\alpha$ - и  $\omega$ -самцов) был произведён в прибрежной зоне Ругозёрской губы Белого моря у Беломорской биологической станции имени Н.А. Перцова в период нереста (15-17 июня 2019 года). Особи были разделены по полу, а самцы также по иерархии. До начала эксперимента все особи были адаптированы в течение 24 часов к экспериментальным условиям. Для экспериментальной модели особи были разделены на три группы: К (контрольную), находившуюся в условиях морской воды; 24ч - особи, адаптированные к пресной воде в течение 24 часов; 72ч - особи, адаптированные к пресной воде в течение 72-часов. По окончании эксперимента особи трёхиглой колюшки были декапитированы, у них были отобраны образцы плазмы крови, ткань мозга (включая гипофиз) и жабр. N=6 для каждой из групп. При проведении исследования все применимые международные, национальные и/или институциональные принципы ухода и использования животных были соблюдены.

Для измерения концентрации ионов Na и K в плазме крови использовали метод атомно-абсорбционной спектроскопии.

Для изучения экспрессии гена пролактина в ткани мозга, генов пролактиновых рецепторов и генов Na/K-АТФазы в жабрах оценивали относительные уровни мРНК методом ОТ-ПЦР в реальном времени. В качестве референсных генов были использованы гены *Rbp13 $\alpha$*  и *ubc* [Hibbeler et al., 2008].

Для проведения статистической обработки использовали программу GraphPad Prism6. Для анализа использован критерий two-way ANOVA.

## Результаты и обсуждение

При 24- и 72-часовой адаптации к пресной воде наблюдалось достоверное снижение концентрации ионов Na в плазме крови как самок, так и самцов (рис. 1, а). Однако концентрация ионов K в плазме крови достоверно повысилась только у  $\omega$ -самцов (рис. 1, б). Снижение осмолярности плазмы крови приводит к стимуляции секреторной активности лактотрофов гипофиза и, как следствие, стимуляции пролактиновой оси [Malintha et al., 2023].

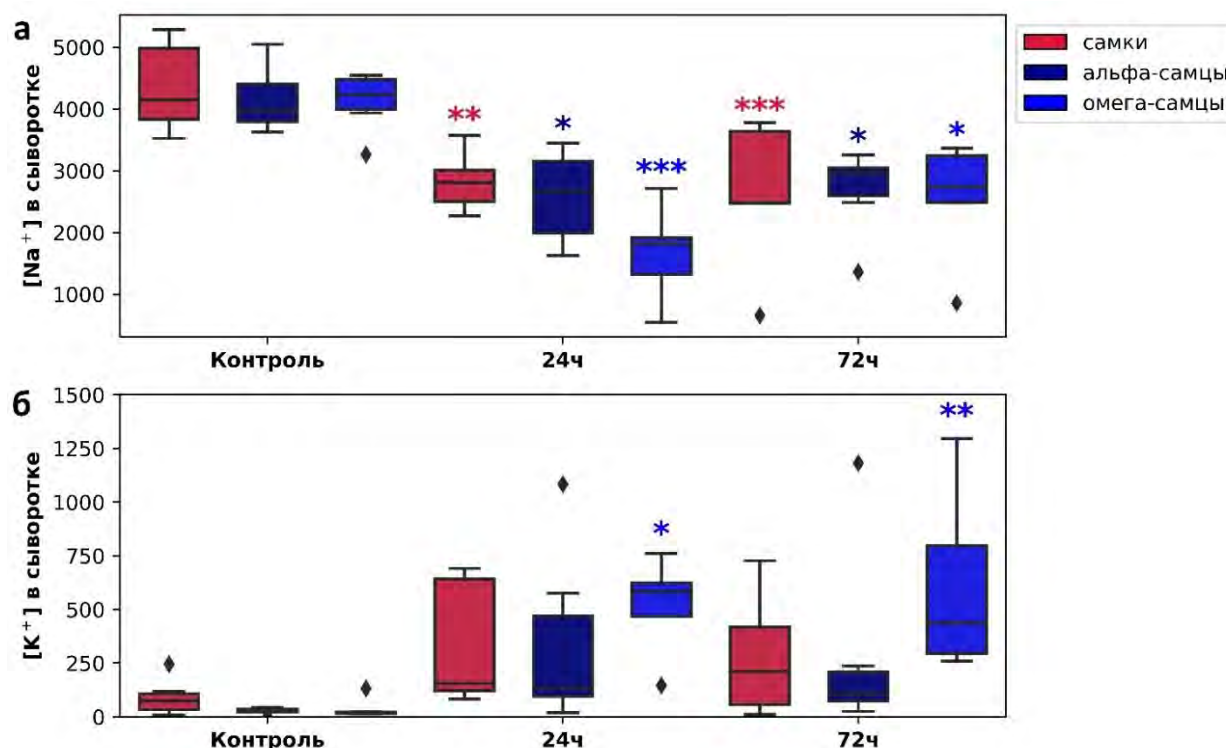


Рис. 1. Концентрации ионов Na (а) и K (б) в плазме крови самок (красный цвет),  $\alpha$ - и  $\omega$ -самцов (тёмно-синий и синий цвета соответственно) трёхиглой колюшки при 24- и 72-часовой адаптации к пресной воде. На графиках представлены медианы, интерквартильный разброс, минимальное и максимальное значение для каждой группы (N=6). Ромбами обозначены значения за пределами интерквартильного разброса. \* –  $p < 0,05$ ; \*\* –  $p < 0,01$ ; \*\*\* –  $p < 0,001$ ; two-way ANOVA. Значения уровня значимости указаны относительно соответствующей контрольной группы.

Тем не менее, транскрипционная активность гена *prl1* в мозге значительно увеличилась у самок, но не самцов (рис. 2, а). Также через 72 часа пресноводной адаптации наблюдались различия, связанные с полом: экспрессия гена *prl1* в мозге самок была достоверно выше в сравнении с самцами. Следовательно, при пресноводной адаптации пролактиновая ось стимулируется у самок сильнее, что может являться следствием наличия у трёхиглой колюшки неодинакового у особей разного пола репродуктивного и родительского поведения, а также взаимодействия между половыми стероидами и пролактиновой осью.

Экспрессия гена пролактинового рецептора а *prlra* в ткани жабр не изменилась ни у самок, ни у самцов в модели пресноводной адаптации (рис. 2, б). Экспрессия гена пролактинового рецептора б *prlrb* в ткани жабр снизилась у самок (только при 24-часовой пресноводной адаптации) и  $\omega$ -, но не  $\alpha$ -самцов при пресноводной адаптации (рис. 2, в). Таким образом, у самок и  $\omega$ -самцов незначительно снижается вклад пролактинового рецептора б в регуляцию работы жабр при переходе в пресную воду.

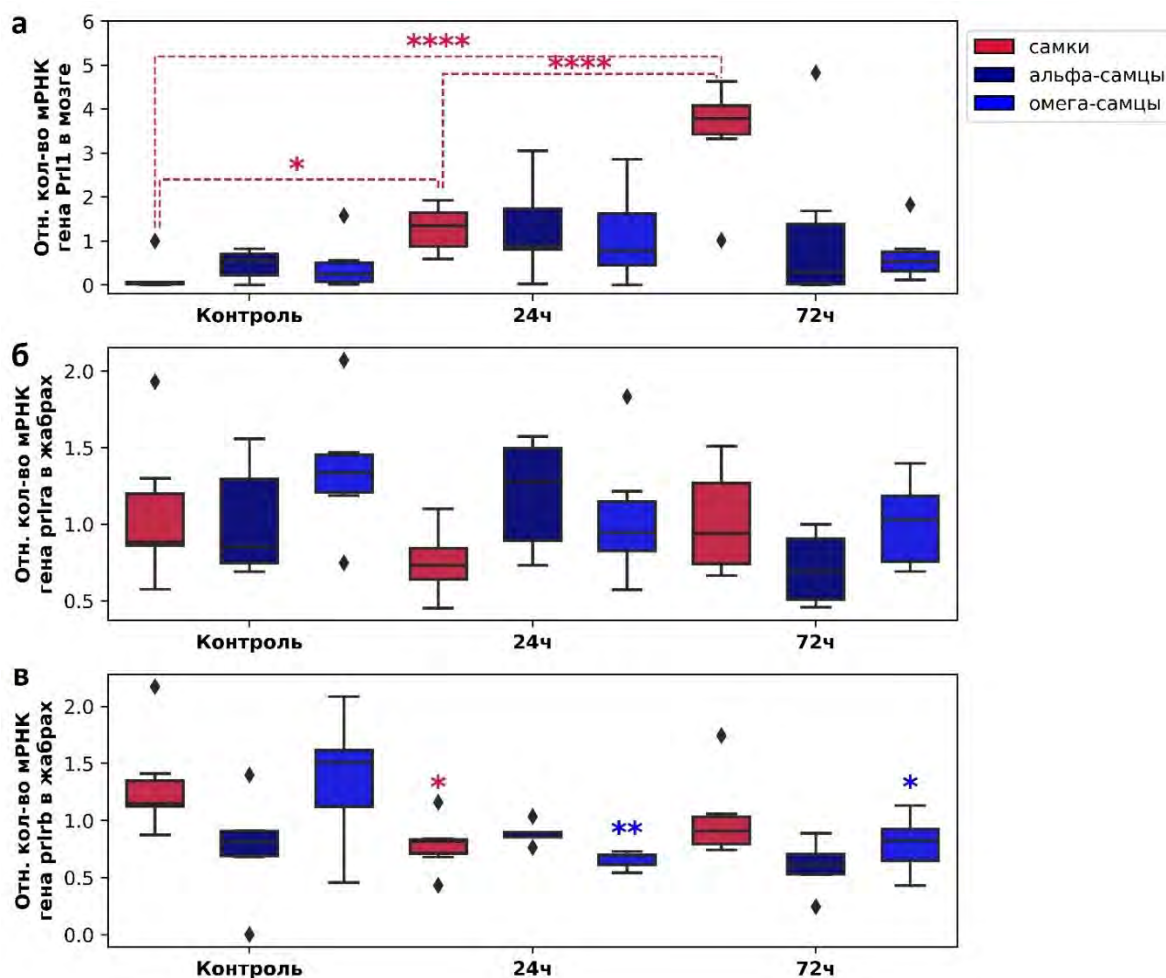


Рис. 2. Относительные уровни мРНК гена пролактина *prl1* в мозге (а), генов пролактинового рецептора *a prlra* (б) и рецептора *б prlrb* (в) в ткани жабр самок (красный цвет),  $\alpha$ - и  $\omega$ -самцов (тёмно-синий и синий цвета соответственно) трёхиглой колюшки при 24- и 72-часовой адаптации к пресной воде. На графиках представлены медианы, интерквартильный разброс, минимальное и максимальное значение для каждой группы (N=6). \* –  $p < 0,05$ ; \*\* –  $p < 0,01$ ; \*\*\*\* –  $p < 0,0001$ ; two-way ANOVA. Значения уровня значимости указаны относительно соответствующей контрольной группы, либо между группами сравнения (обозначены пунктирными линиями).

В жабрах самок наблюдалось достоверное повышение транскрипции  $\alpha 1$ -субъединицы Na/K-АТФазы после 72 часов пресноводной адаптации, таким образом, на третьи сутки пресноводной адаптации были обнаружены различия, связанные с полом (рис. 3, а). Экспрессия  $\alpha 2$ -субъединицы Na/K-АТФазы не зависела ни от пресноводной адаптации, ни от пола исследованных особей (рис. 3, б). Экспрессия  $\alpha 3$ -субъединицы Na/K-АТФазы в условиях морской воды (контроль) была выше у самок по сравнению с самцами, однако в группах, претерпевших пресноводную адаптацию, различия обнаружены не были (рис. 3, в). Таким образом, в условиях морской воды и после пресноводной адаптации у самок и самцов наблюдался различный вклад  $\alpha 1$ - и  $\alpha 3$ -субъединиц Na/K-АТФазы в реализации осморегуляторной функции жабр.



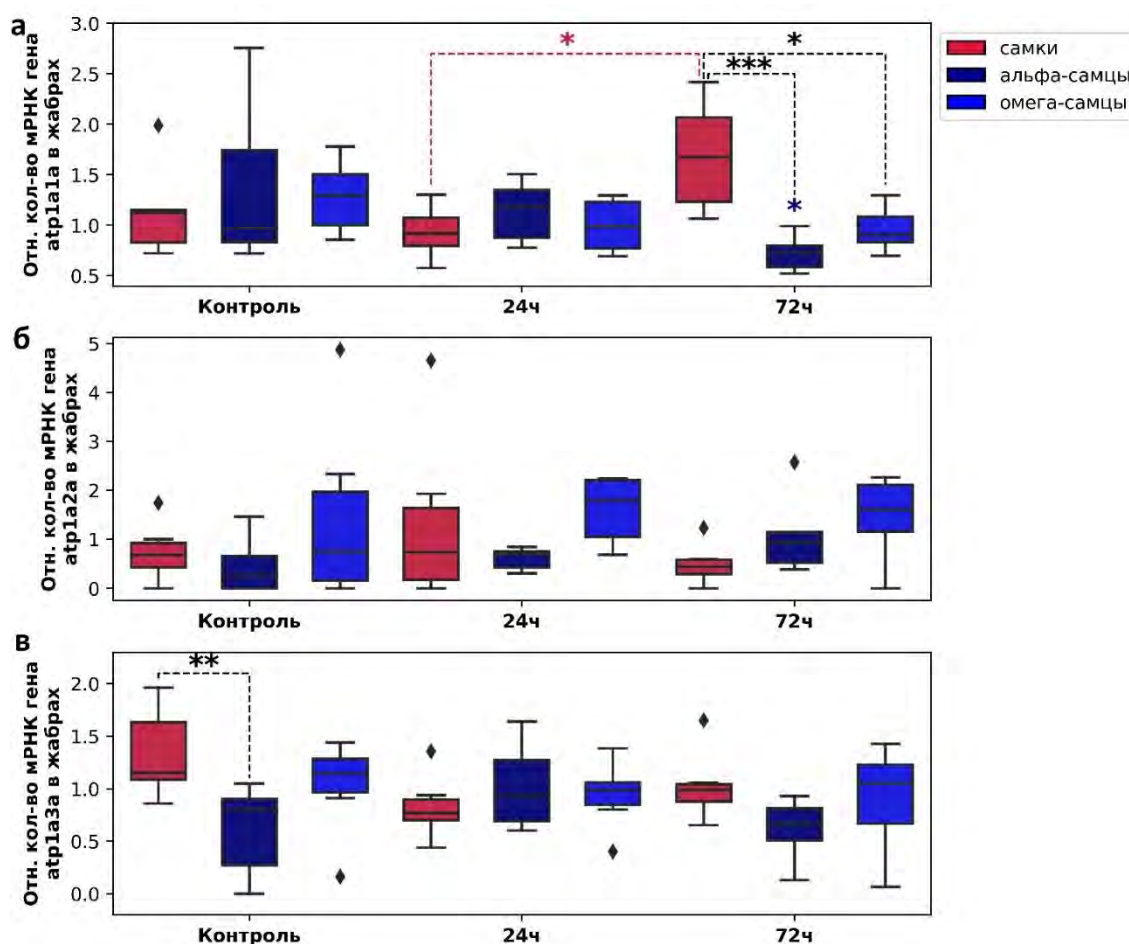


Рис. 3. Относительные уровни мРНК генов  $\alpha$ -субъединицы Na/K-АТФазы в жабрах самок (красный цвет),  $\alpha$ - и  $\omega$ -самцов (тёмно-синий и синий цвета соответственно) трёхиглой колюшки при 24- и 72-часовой адаптации к пресной воде. На графиках представлены медианы, интерквартильный разброс, минимальное и максимальное значение для каждой группы (N=6). \* –  $p < 0,05$ ; \*\* –  $p < 0,01$ ; \*\*\* –  $p < 0,001$ ; two-way ANOVA. Значения уровня значимости указаны относительно соответствующей контрольной группы, либо между группами сравнения (обозначены пунктирными линиями).

## Выводы

Таким образом, мы предполагаем вклад пролактиновой оси в регуляцию осморегуляторной функции жабр трёхиглой колюшки. Пролактиновая ось трёхиглой колюшки стимулируется в зависимости от пола при пресноводной адаптации: у самок сильнее, чем у самцов. Модуляция работы жабр может быть связана как с прямыми эффектами, так и с влиянием пролактина, и выражается в изменении баланса экспрессии различных субъединиц Na/K-АТФазы у самок и самцов в условиях морской воды и при пресноводной адаптации. У самок работают разные варианты альфа-субъединицы в морской и пресной воде, но в обоих случаях их экспрессия выше, чем у самцов. Учитывая сильный рост *prl1* у самок при 72-часовой пресноводной адаптации и сходный рост  $\alpha 1$ -субъединицы Na/K-АТФазы в этих условиях, можно предположить, что эта субъединица находится у самок под регуляторным влиянием *prl1*.



## Благодарность

Авторы благодарят Николая Сергеевича Мюге за неоценимую консультационную поддержку при выполнении данной работы.

## Финансирование

Исследование выполнено в рамках научного проекта государственного задания МГУ № 121032300075-6.

## Список литературы:

1. Зюганов В.В. Семейство колюшковых (Gasterosteida) мировой фауны // Фауна СССР. Рыбы. - 1991. - С. 261.
2. Takvam M., Wood C. M., Kryvi H., Nilsen T. O. Ion Transporters and Osmoregulation in the Kidney of Teleost Fishes as a Function of Salinity // *Front. Physiol.* - 2021. - V. 12.
3. Aruna, A., Lin, C. J., Nagarajan, G., & Chang, C. F. (2021). Neurohypophysial Hormones Associated with Osmotic Challenges in the Brain and Pituitary of the Euryhaline Black Porgy, *Acanthopagrus schlegelii*. *Cells*, 10(11), 3086. <https://doi.org/10.3390/cells10113086>
4. Nagarajan, G., Aruna, A., Chang, Y. M., Alkhamis, Y. A., Mathew, R. T., & Chang, C. F. (2023). Effects of Osmotic Stress on the mRNA Expression of prl, prlr, gr, gh, and ghr in the Pituitary and Osmoregulatory Organs of Black Porgy, *Acanthopagrus schlegelii*. *International journal of molecular sciences*, 24(6), 5318. <https://doi.org/10.3390/ijms24065318>
5. Hibbeler, S., Scharsack, J. P., Becker, S. Housekeeping genes for quantitative expression studies in the three-spined stickleback *Gasterosteus aculeatus* // *BMC Molecular Biology* - 2008. -V. 29. - P. 18.
6. Malintha, G. H. T., Celino-Brady, F. T., Stoytcheva, Z. R., & Seale, A. P. (2023). Osmosensitive transcription factors in the prolactin cell of a euryhaline teleost. *Comparative biochemistry and physiology. Part A, Molecular & integrative physiology*, 278, 111356. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2022.111356>

УДК 597.58

Рубрика 34.33.33

МОРФОЛОГИЯ И СИСТЕМАТИКА АНТАРКТИЧЕСКИХ БЕЛОКРОВНЫХ РЫБ РОДА *CHANNICHTHYS* RICHARDSON, 1844 (NOTOTHENIOIDEI: CHANNICHTHYIDAE)

MORPHOLOGY AND SYSTEMATICS OF THE ANTARCTIC ICEFISHES OF THE GENUS *CHANNICHTHYS* RICHARDSON, 1844 (NOTOTHENIOIDEI: CHANNICHTHYIDAE)

**Николаева Екатерина Алексеевна**

*Зоологический институт РАН (ЗИН РАН), Санкт-Петербург*

**Nikolaeva Ekaterina Alekseevna**

*Zoological Institute RAS (ZIN RAS), Saint Petersburg*

### **Введение**

Антарктические белокровные рыбы рода *Channichthys* Richardson, 1844 (носорогие белокровки) относятся к семейству Channichthyidae, представляющему собой одну из наиболее крупных и эволюционно продвинутых ветвей подотряда нототениоидных (Notothenioidei), отряда окунеобразных (Perciformes).

Данное семейство насчитывает в своем составе 11 родов и, по оценкам разных исследователей, от 15 до 24 видов. Такое значительное расхождение в числе видов семейства обусловлено различиями в трактовке объема рода *Channichthys*, точный видовой состав которого до настоящего времени не был окончательно установлен.

Рыбы этого рода показывают значительную меж- и внутривидовую вариабельность (Iwami and Kock, 1990).

В разное время различные исследователи выделяли в составе рода *Channichthys* от 1 полиморфного до 9 отдельных видов, распространенных симпатрично; валидность большинства из них вызывала сомнения (Hureau, 1964, 1985; Мейснер, 1974; Андрияшев, 1986; Iwami and Kock, 1990; Шандиков, 1995а, 1995б, 1996, 2008, 2011; Балужкин, 1996; Duhamel et al., 2005; Николаева, 2016, 2017, 2019, 2020, 2021; Николаева и Балужкин, 2019).

Вопрос о необходимости ревизии этой довольно сложной группы ставили еще Ж.-К. Юро (Hureau, 1985), А.П. Андрияшев (Андрияшев, 1986), а также Г.А. Шандиков (Шандиков, 1995а, 1995б, 1996, 2008, 2011).

Изначально род *Channichthys* считался монотипическим, состоящим из одного типового вида *Ch. rhinocerotus* Richardson, 1844 (носорогая белокровка) (Richardson, 1844а). Затем были описаны рыжая (или морщинистая) белокровка *Ch. rugosus* Regan, 1913 и парусная белокровка (или парусная белокровная щука) *Ch. velifer* Meissner, 1972 (Regan, 1913; Мейснер, 1974). Позднее Г.А. Шандиков (Шандиков, 1995а, 1995б, 1996, 2008, 2011) провел ряд дополнительных морфометрических исследований и представил первую видовую ревизию, установив, что род *Channichthys* еще более неоднороден и включает 9 видов. В состав рода, кроме перечисленных выше, им были включены еще 6 новых видов: угольная белокровка *Ch. panticapaei* Shandikov, 1995; большеглазая белокровка *Ch. bospori* Shandikov, 1995; карликовая белокровка *Ch. irinae* Shandikov, 1995; белокровка Аэлиты *Ch. aelitae* Shandikov, 1995; зеленая

белокровка *Ch. mithridatis* Shandikov, 2008 и белокровка Ричардсона *Ch. richardsoni* Shandikov, 2011. Большая часть этих видов признается не всеми исследователями, их валидность подвергается сомнению.

Целью настоящей работы стал пересмотр современной систематики рыб рода *Channichthys* и проведение таксономической ревизии на основе всех возможных классических и современных комплексных морфологических методов изучения для окончательного установления точного состава данного рода и валидности его видов.

### Материал и методы

Представленная работа представляет собой часть проведенного комплексного морфологического исследования, проведенного с целью построения классификации этих рыб на основе внешних морфологических признаков, а также, строения осевого скелета, жаберного аппарата и сейсмодатчика системы.

Материалом для исследования послужили все доступные для изучения (с 2013 по 2023 гг.) экземпляры рыб рода *Channichthys* из фондовых коллекций Зоологического института РАН (ЗИН РАН), а также из Национального научно-природоведческого музея НАН Украины (ИЗАНУ) и Британского музея естественной истории (BMNH), располагающими типовыми экземплярами изучаемых видов. Всего было изучено 282 экз. рыб, включая 9 голотипов.

В работе применялась методика, разработанная для кергеленских белокровок (Балушкин, 1996; Балушкин и Николаева, 2015; Николаева, 2016, 2017, 2019, 2020; 2021; Николаева и Балушкин, 2019). Для каждого экземпляра регистрировали 50 различных внешних морфологических признаков и индексов. Также были использованы видоспецифичные особенности жаберного аппарата, сейсмодатчика системы, внешней окраски тела и кожной грануляции. Изучение осевого скелета проводилось с использованием современной цифровой микрофокусной рентгенодиагностической установки ПРДУ-02 («ЭЛТЕХМЕД»).

### Результаты и выводы

На основании проведенных комплексных морфологических исследований и анализа полученных данных можно представить следующие результаты и выводы:

1. Большинство выделенных ранее диагностических морфологических признаков, легших в основу предшествующей ревизии (Шандиков, 1995), на основании которой и были выделены новые виды рода *Channichthys*, практически не работают, поскольку значительно перекрываются друг с другом и не показывают достоверных отличий между видами, что подтверждено статистическими методами анализа.
2. В основном работают только счетные признаки, основными из которых являются: число лучей в первом спинном плавнике  $D1$ , в грудных плавниках  $P_{1/d}$ , анальном плавнике  $A$ , число жаберных тычинок на первых жаберных дугах  $sp.br._{1/d}$ , число «чувствующих» чешуй в дорсальных  $D_{ll}_{1/d}$  и медиальных  $M_{ll}_{1/d}$  боковых линиях. А также некоторые относительные промеры головы, такие как: длина головы  $c$ , высота головы через середину глаза  $ho$ , длина рыла  $ao$ , продольный диаметр орбиты глаза  $o$ , ширина межглазничного расстояния  $io$ , длины верхней  $lmx$  и нижней  $lmd$  челюстей, а также их соотношения.
3. Подтверждена валидность только 4 из описанных ранее 9 видов этого рода: *Channichthys rhinoceratus*, *Ch. rugosus*, *Ch. velifer* и *Ch. panticapaei*.
4. Валидность 5 видов (*Ch. aelitae*, *Ch. mithridatis*, *Ch. richardsoni*, *Ch. bospori* и *Ch. irinae*) не подтвердилась. Большая часть их ранее выделенных отличительных морфологических

признаков перекрывается с аналогичными у валидных видов. Три вида (*Ch. aelitae*, *Ch. mithridatis*, *Ch. richardsoni*) конспецифичны с *Ch. rhinoceratus* и два вида (*Ch. bospori*, *Ch. irinae*) – с *Ch. panticapaei*.

5. Относительно незначительные морфологические отличия, отмеченные для сведенных в синонимию видов *Ch. aelitae*, *Ch. mithridatis*, *Ch. richardsoni*, *Ch. bospori* и *Ch. irinae*, вероятнее всего, отражают внутривидовую и онтогенетическую изменчивость.

6. На основании впервые проведенного детального морфологического анализа жаберного аппарата носорогих белокровок оказалось, что рыб рода *Channichthys* можно подразделить на 2 группы: «Двуряднотычиночные» виды имеют 2 ряда жаберных тычинок на жаберных дугах – наружный и внутренний (*Ch. panticapaei*). «Одноряднотычиночные» виды имеют только 1 ряд жаберных тычинок – наружный (*Ch. rhinoceratus*, *Ch. rugosus* и *Ch. velifer*). «Одноряднотычиночные» белокровки эволюционно более продвинутые, чем «двуряднотычиночные».

7. На основании данных исследований была составлена новая определительная таблица видов рода *Channichthys*, в которую включены из ранее используемых только действительно работающие диагностические признаки, а также добавлены новые признаки, позволяющие легко и надежно определять валидные виды рыб данного рода.

Подробнее ознакомится с данной определительной таблицей и всеми полученными результатами представленных исследований можно в предыдущих публикациях автора по данной теме (Николаева, 2016, 2017, 2019, 2020, 2021; Николаева и Балужкин, 2019).

### Благодарности

Автор благодарен своему учителю А.В. Балужкину (ЗИН РАН) за обучение используемым в исследовании методикам и за руководство на первых этапах работы. А также автор выражает благодарность Н.В. Черновой и К.Е. Николаеву (ЗИН РАН) за обсуждение полученных результатов и выводов.

### Финансирование

Исследование выполнено в рамках Гостемы № 122031100285-3 «Систематика, филогения и биогеография рыб Дальневосточных морей, Арктики, Антарктики и пресных вод России», на базе коллекций лаборатории ихтиологии, и с использованием приборной базы ЗИН РАН.

### Список литературы:

1. Андрияшев А.П. Общий обзор фауны донных рыб Антарктики // Морфология и распространение рыб Южного океана. Тр. ЗИН АН СССР. – 1986. – Т. 153. – С. 9–44.
2. Балужкин А.В. Сходство белокровных рыб сем. *Channichthyidae* (Notothenioidei, Perciformes) с замечанием о видовом составе семейства и описанием нового вида от островов Кергелен // Вопр. ихтиологии. – 1996. – Т. 36. – № 1. – С. 5–14.
3. Мейснер Э.Э. Новый вид белокровной щуки из Южного океана // Вестн. зоологии. – 1974. – № 6. – С. 50–55.
4. Николаева Е.А. Проблемы систематики кергеленских носорогих белокровок рода *Channichthys* Richardson, 1844 (сем. *Channichthyidae*) // Матер. III Всерос. конф. «Современные проблемы эволюционной морфологии животных». СПб.: Изд-во ЗИН РАН. – 2016. – С. 86–87.

5. Николаева Е.А. Таксономическая ревизия антарктических белокрыльных рыб рода *Channichthys* Richardson, 1844 (сем. Channichthyidae) // Матер. Юбилейной отчет. сессии, посвящ. 185-летию ЗИН РАН. СПб: Изд-во ЗИН РАН. – 2017. – С. 134–137.
6. Nikolaeva E.A., Balushkin A.V. Morphological Characteristics of Sailfish Pike *Channichthys velifer* (Channichthyidae) from the Kerguelen Islands (Southern Ocean) // «Journal of Ichthyology». – 2019. – Vol. 59. – № 6. – pp. 834-842.
7. Николаева Е.А. Обзор видов белокрыльных рыб рода *Channichthys* Richardson, 1844 (сем. Channichthyidae) с двухрядными жаберными тычинками // «Труды Зоологического института РАН». – 2019. – Т. 323. – № 4. – С.558–567.
8. Николаева Е.А. Переописание носорогой белокрылки *Channichthys rhinoceratus* Richardson (Notothenioidei: Channichthyidae) со сведением в синонимию трех сходных видов // «Труды Зоологического института РАН». – 2020. – Т. 324. – № 4. – С.485–496.
9. Николаева Е.А. О таксономическом статусе рыжей белокрылки *Channichthys rugosus* Regan (Notothenioidei: Channichthyidae) - архипелага Кергелен (Южный океан) // «Труды Зоологического института РАН». – 2021. – Т. 325. – №4. – С.485–494.
10. Шандиков Г.А. Новый вид белокрыльной рыбы *Channichthys panticarpei* sp.n. (Channichthyidae, Notothenioidei) от острова Кергелен (Антарктика) // Тр. ЮгНИРО. – 1995а. – Спец. вып. № 1. – 10 с.
11. Шандиков Г.А. К вопросу о видовом составе белокрыльных рыб рода *Channichthys* (Channichthyidae, Notothenioidei) в районе островов Кергелен с описанием трех новых видов // Тр. ЮгНИРО. – 1995б. – Спец. вып. № 2. – 18 с.
12. Шандиков Г.А. О таксономическом статусе парусной белокрылки *Channichthys velifer* (Pisces: Perciformes, Channichthyidae) из района подводного хребта Кергелен (Восточная Антарктика) // Вестн. зоологии. – 1996. – № 3. – С. 13–20.
13. Duhamel G., Gasco N., Davaine P. Poissons des iles Kerguelen et Crozet. Guide regional de l’Ocean Austral. Paris: Mus. Nat. Hist. Natur. – 2005. – 419 p.
14. Hureau J.C. Sur la probable identite des deux especes du genre *Chaenichthys* de la famille des Chaenichthyidae (Poissons a «sang blanc») // Bull. Mus. Nat. Hist. Natur. – 1964. – Т. 36. – № 4. – P. 450–456.
15. Hureau J.C. Channichthyidae // FAO species identification sheets for fishery purposes: Southern Ocean. V. 1 / Eds. Fischer W., Hureau J. Rome: FAO. – 1985. – P. 261–277.
16. Iwami T., Kock K.H. Channichthyidae (icefishes) // Fishes of the South Ocean / Eds. Gon O., Heemstra P.C. Grahamstown, S. Africa: J.L.B. Smith Inst. Ichthyol. – 1990. – P. 381–400.
17. Regan C.T. The Antarctic fishes of the Scottish National Antarctic Expedition // Trans. Roy. Soc. Edinburgh. – 1913. – V. 49. – P. 229–292.
18. Shandikov G.A. *Channichthys mithridatis* sp. n., a new species of icefishes (Perciformes: Notothenioidei: Channichthyidae) from the Kerguelen Islands area, East Antarctica, with comments on the taxonomic status of *Channichthys normani* // J.V.N. Karazin Kharkiv Nat. Univ. Ser. Biol. – 2008. – № 814. – P. 123–131.
19. Shandikov G.A. *Channichthys richardsoni* sp. n., a new Antarctic icefish (Perciformes: Notothenioidei: Channichthyidae) from the Kerguelen Islands area, Indian sector of the Southern Ocean // J. V.N. Karazin Kharkiv Nat. Univ. Ser. Biol. – 2011. – Iss. 14. – № 971. – P. 125–134.

УДК 574.5

Рубрика 34.33.15

ДИНАМИКА ГОДОВОГО РАЗВИТИЯ СООБЩЕСТВ ОБРАСТАНИЯ  
ИСКУССТВЕННЫХ СУСБТРАТОВ В ВЕРХНЕЙ СУБЛИТОРАЛИ БЕЛОГО МОРЯ  
ANNUAL DEVELOPMENTAL DYNAMICS OF ARTIFICIAL SUBSTRATE FOULING  
COMMUNITIES IN THE UPPER SUBTIDAL OF THE WHITE SEA

**Чава Александра Ивановна<sup>1,2</sup>, Захаров Григорий Дмитриевич, Озеров Дмитрий Александрович<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> *Институт океанологии имени П. П. Ширшова РАН, Москва*

<sup>2</sup> *Центр морских исследований МГУ им. М.В.Ломоносова, Москва*

<sup>3</sup> *Беломорская биологическая станция МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва*

**Chava Aleksandra Ivanovna<sup>1,2</sup>, Zakharov Grigoriy Dmitrievich, Ozerov Dmitriy Aleksandrovich<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> *Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences, Moscow*

<sup>2</sup> *Lomonosov Moscow State University Marine Research Centre*

<sup>3</sup> *White Sea Biological Station, Department of Biology Lomonosov Moscow State University*

## **Введение**

В море сообщества обрастания возникают везде, где появляется твердый субстрат - на дне или в толще воды. При этом в разных районах Мирового океана исследования обрастания ведутся с разной интенсивностью - видимо это коррелирует с тем, насколько сильно обрастание мешает человеческой деятельности в том или ином месте земного шара. Поскольку в Арктике обрастание обычно формируется медленнее чем в умеренных, субтропических и тропических широтах, на сегодняшний день существует не так много работ, посвященных как качественным, так и количественным характеристикам сообществ обрастания искусственных субстратов в регионе (в качестве примера можно привести Barnes and Kuklinski, 2005 или Meyer-Kaiser и др. 2019). В Белом море таксономический состав и динамика сообществ обрастания искусственных субстратов описаны в работах Зевиной (1963, 1972), Ошуркова (Ошурков, 1985; Ошурков, 1998), Халамана (2005, 2016, 2021) и др. Однако, в основном эти работы посвящены процессам, происходящим до 15-20 м, а изменения, которые можно наблюдать в сообществах обрастания с увеличением глубины, практически не обсуждаются. Поскольку в последние годы интерес к Арктике в целом и к морским сообществам в частности неуклонно растёт, мы поставили перед собой задачу: дополнить существующую информацию по сообществам обрастания искусственных субстратов на разных глубинах в Белом море.

В 2022 году мы начали эксперимент по наблюдению за динамикой развития сообщества обрастания экспериментальных пластин в верхней сублиторали Белого моря. Нашей основной целью было понять как формируются сообщества обрастания на инертном пластиковом субстрате в течение года в зависимости от длительности экспозиции, времени её начала и глубины. В 2023 году в дополнение к данной цели мы начали исследовать, насколько эти



сообщества отличаются от естественных субстратов и как происходит отбор видов на искусственный субстрат.

## Материалы и методы

Экспериментальные работы проводились в районе Беломорской биологической станции МГУ им. М.В. Ломоносова (Белое море, Кандалакшский залив, губа Ругозерская, пролив Великая Салма, окрестности мыса Киндо) в двух точках, расположенных вдоль веревочного фала проложенного перпендикулярно берегу от нуля глубин до 22 м: точка 1 (66.544367 N, 33.180617 E; глубина 20-22 м) и точка 2 (66.543983 N, 33.181033 E; глубина 9-11 м). Экспериментальная установка представляет собой раму из нержавеющей стали, на которую с помощью болтов и пластиковых хомутов крепятся три «палетки» с 6 экспериментальными пластинами 15x15 см на каждой. На одной палетке три пластины ориентированы рабочей поверхностью к толще воды и три – ко дну. Палетки расположены на раме таким образом, чтобы нижние пластины находились в 3-4 см от дна, а верхние в 6-7 см от дна. Пластины сделаны из ударопрочного полистирола (HIPS) черного цвета. Выбор материала обусловлен опытом зарубежных коллег, успешно использовавших этот вид пластика в своих исследованиях сообществ обрастания (см. обзор Kuklinski и др. 2022). В начале июня 2022 года в каждой точке на дно была опущена одна экспериментальная установка. Далее раз в месяц (в начале июля, августа и сентября) мы заменяли одну из трех палеток на новую с чистыми пластинами. Вторая из трех палеток находилась на раме с момента установки в течение трех месяцев, и мы сняли её в начале сентября, заменив на палетку с чистыми пластинами, которую сняли в начале июня 2023 г., чтобы оценить интенсивность оседания личинок обрастателей в течение холодного сезона. Последняя палетка из трёх поставленных в июне 2022 г. находилась на раме до июня 2023 г., она фиксировала обрастание, образовавшееся в исследуемом районе за год.

Для того чтобы сделать первичные описания сообществ обрастания естественных субстратов вокруг экспериментальных установок, мы взяли по одной пробе обрастаний в каждой точке в августе 2023 года. Каждая проба — это площадка 30x30см с которой был собран весь поверхностный слой гравия с растущими на нём организмами.

Интенсивность обрастания на рабочей стороне каждой пластины мы оценивали следующим образом: на пластине ограничивали центральную область размером 10x10 см, далее внутри этой области определяли до наименьшего возможного таксона всех организмов макрообрастания, для каждого экземпляра с помощью мерной сетки в окуляре оценивали площадь, занимаемую организмом на пластинке. При определении покрытия мы учитывали только те экземпляры, чья площадь превышала 0,1 мм<sup>2</sup>. Мы суммировали полученные первичные данные по площадям для каждого вида и пересчитывали их в процентное покрытие от общей исследованной площади на каждой пластине и далее в анализе использовали эти значения. При обработке проб естественного обрастания мы также проводили таксономический анализ сообщества, оценивали площадь каждого экземпляра до десятых долей миллиметра и отмечали субстрат, на котором рос тот или иной организм.

Вероятность ошибки первого рода  $p = 0,05$ . Все средние значения приведены с указанием стандартной ошибки.

## Результаты

Мелководная точка (11 м)

Естественное сообщество обрастания на этой глубине представляет собой типичный пояс багрянок с эпибиозом - галечник (площадь камней 10-25 см<sup>2</sup>) и растущие на нём эдификаторы первого порядка. В основном вторичным субстратом для обрастателей являются красные водоросли *Phycodrys rubens* и *Coccotylus truncatus*, а также асцидии *Styela rustica*. В общей сложности мы обнаружили 64 вида эпибионтов, из них 43 - беспозвоночные животные, 20 - макрофиты, и 1 вид цианобактерий. Самой разнообразной группой ожидаемо оказались мшанки (24 вида), за ними следовали красные водоросли (13 видов).

В течение теплого сезона (06.2022 - 09.2022) на верхних пластинах преобладали ювенильные колонии мшанок *Callopora craticula* и *Lichenopora verrucaria*, а также инфузории из семейства *Folliculinidae* и небольшие колонии гидроидных полипов *Obelia geniculata*. На нижних пластинах исчезали гидроиды, однако к уже упомянутым мшанкам добавлялись сцифистомы и полихеты *Circeis armoricana*. За холодный сезон (09.2022-06.2023) на верхние пластины в основном оседали полихеты *C. armoricana* и *Bushiella similis*, также были отмечены проростки *C. truncatus* и корковых красных водорослей, вероятнее всего *Breolithothamnion glaciale*. На нижних пластинах доминировали мшанки из семейства *Calloporidae* и полихеты *C. armoricana*. На пластинах с годовой экспозицией сверху преобладали мшанки *C. craticula* и *L. verrucaria*, ювенили *C. armoricana* и гидроидные полипы *O. geniculata*. На нижних пластинах отсутствовали гидроиды, а к вышеописанному набору мшанок добавились представители семейства *Tubuliporidae* и *Crisiella producta*, а также моллюск *Heteranomia squamula*. Средние процентные покрытия (ПП) на верхних и нижних пластинах были наибольшими в теплом сезоне 2022 г. и составили  $0,9 \pm 0,2\%$  и  $3,9 \pm 1,3\%$  соответственно. Динамика покрытий на пластинах с разной экспозицией представлена на рис. 1А. Число видов на пластине было наибольшим на образцах с годовой экспозицией (рис. 1Б).

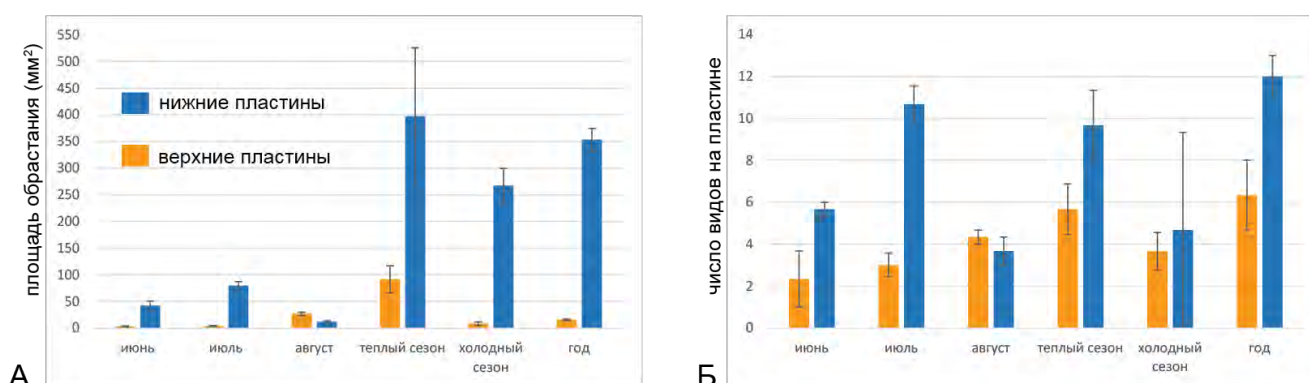


Рисунок 1. А. Динамика средних процентных покрытий в мелководной точке (11 м) на пластинах с различной экспозицией. Б. Динамика видового богатства (числа видов на пластине) в мелководной точке (11 м) на пластинах с различной экспозицией.

### Глубоководная точка (22 м)

Естественное сообщество на данной глубине представляет собой галечник (площадь камней 7-20 см<sup>2</sup>) в котором основные первичные обрастатели это усонogie раки *Balanus crenatus* и брахиоподы *Nemithiris psittacea*. Общее число обнаруженных в эпибиозе таксонов - 43 вида, из которых 42 это беспозвоночные и 1 вид - корковые красные водоросли. Наиболее разнообразной группой, как и на мелководной точке, стали мшанки (23 вида, из них 9 были обнаружены только на 22 м), вторая по разнообразию группа - полихеты (5 видов).

На верхних пластинах в теплом сезоне преобладали гидроидные полипы *Obelia geniculata*, полихеты *Bushiella similis* и фораминиферы из рода *Elphidium*, а на нижних - тот же вид

полихет наряду со сцифистомами и ювенильными колониями мшанок из семейства Calloporidae. В холодном сезоне сверху наибольшие покрытия были у мшанок *C. craticula* и *Arctonula arctica*, а также у полихет *C. armoricana* и *B. similis*. На нижних пластинах из этого набора ушла *A. arctica*, но появились асцидии *Molgula* sp. На верхних пластинах с годовой экспозицией преобладали полихеты *C. armoricana* и *B. similis*, мшанки *A. arctica*, а также появились трубочки амфипод *Dyopedos bispinis*. На нижних пластинах с годовой экспозицией состав доминирующих полихет не изменился, однако среди мшанок преобладали *C. craticula* и *Callopora lineata*. Средние ПП на верхних и нижних пластинах были наибольшими в холодном сезоне и составили  $0,05 \pm 0,01\%$  и  $1 \pm 0,1\%$  соответственно. Динамика покрытий на пластинах с разной экспозицией представлена на рис. 2А. Число видов на пластине было наибольшим на образцах с годовой экспозицией (рис. 2Б).

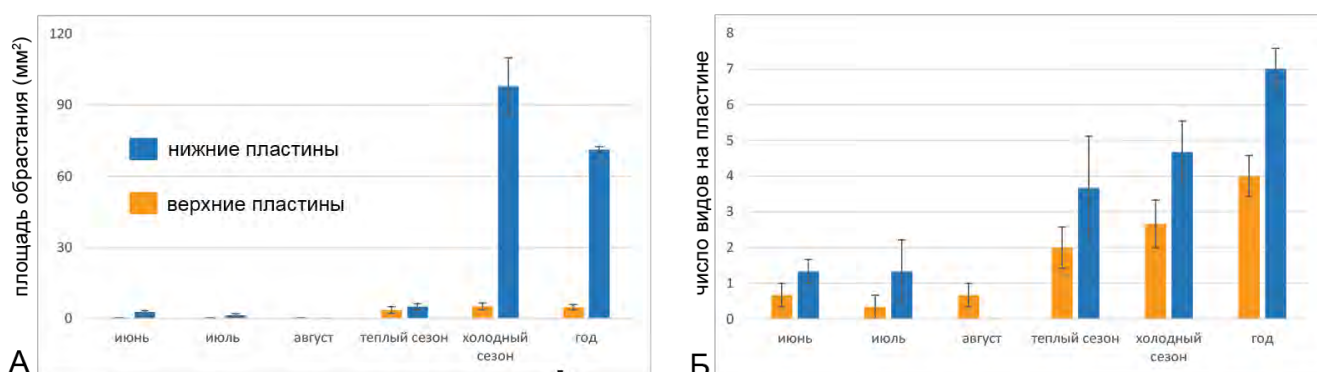


Рисунок 2. Динамика средних процентных покрытий в глубоководной точке (22 м) на пластинах с различной экспозицией. Б. Динамика видового богатства (числа видов на пластине) в глубоководной точке (22 м) на пластинах с различной экспозицией.

## Заключение

В 2022 году мы спланировали и начали эксперимент по наблюдению за сезонной динамикой сообществ, а к 2023 году получили результаты за год. Если в прошлом году перед нами стояла во многом методическая задача - понять возможно ли вообще работать с установкой на выбранных глубинах, то в этом году мы сосредоточились на том какие виды отбираются в разные периоды года на пластины с естественного субстрата, а также на том как меняются покрытия на пластинах в зависимости от срока экспозиции и времени её начала. С одной стороны, полученные результаты подтвердили увиденное в прошлом году:

- качественный и количественный состав и сезонная динамика сообществ обрастания различаются в двух точках. С увеличением глубины уменьшается видовое богатство как на естественных субстратах, так и на искусственных, также снижаются покрытия обрастания на искусственных субстратах
- нижние пластины демонстрируют достоверно более высокие показатели проективных покрытий обрастания чем верхние, а также отличаются от верхних по составу обрастания
- значения проективных покрытий крайне низкие. Наибольшие значения не превышают 7%, однако они сопоставимы с результатами, полученными в других районах Белого моря и в других полярных и приполярных акваториях.

Для получения более репрезентативных результатов необходимо, на наш взгляд, увеличить число повторностей для факторов Точка и Положение пластины, чтобы наблюдать за большим

числом пластинок в разных точках доступной нам акватории на глубинах сходных с уже исследуемыми. Поскольку покрытия на месячных пластинах ничтожны, то кажется разумным увеличение продолжительности экспозиции – с месяцев до нескольких лет. Также для объяснения различий между годами необходимо уточнить динамику абиотических факторов (температура, соленость, скорость течения). Для того чтобы понять, по какому принципу отдельные виды оседают на искусственный субстрат, в то время как другие встречаются только в "диких" условиях, необходимо подробнее изучить состав и динамику оседания ювенилей в естественном сообществе обрастания в исследуемых точках. Методическая задача работы выполнена – экспериментальная установка оказалась удобным инструментом для изучения динамики обрастания на глубинах до 30 м в течение года.

### **Благодарность**

Авторы благодарят директора ББС МГУ А. Б. Цетлина, а также научный и технический персонал станции за всестороннюю помощь в подготовке и постановке эксперимента. Проведение данной работы стало возможным благодаря поддержке ЦМИ МГУ и особенно О. П. Коноваловой. Авторы благодарят В. О. Мокиевского и Е.Л. Яковиса за ценные комментарии в процессе подготовки эксперимента. Особую благодарность авторы выражают Софии Бочарниковой, которая, не испугавшись испытаний пройденных в 2022 году, продолжила присматривать за детьми первого автора летом 2023 года.

### **Финансирование**

Исследование выполнено при финансовой поддержке Центра Морских Исследований МГУ им. М. В. Ломоносова.

### **Список литературы:**

1. Зевина Г. Б. Обрастания в морях СССР // Изд-во Моск. ун-та, 1972. – 213 с.
2. Зевина Г.Б. Обрастание на Белом море // Тр. ИО АН СССР. 1963. – Т. 70. – С. 52-71.
3. Ошурков В.В. Динамика и структура некоторых сообществ обрастания Белого моря // Экология обрастания в Белом море. Л.: Изд-во ЗИН АН СССР. – 1985. – С. 44-59.
4. Ошурков В.В. Сукцессии и динамика эпибентосных сообществ верхней сублиторали бореальных вод // Владивосток. Дальнаука. 1998. – 205 с.
5. Халаман В.В. Долговременные изменения в сообществах обрастания Белого моря // Биология моря. – 2005. – Т.31. – №6. – С. 406-413.
6. Barnes D. K. A., Kukliński P. Low colonisation on artificial substrata in arctic Spitsbergen // Polar Biology. – 2005. – Т. 29. – №. 1. – С. 65-69.
7. Khalaman V. V., Komendantov A. Y., Malavenda S. S. Algae versus animals in early fouling communities of the White Sea // Marine Ecology Progress Series. – 2016. – Т. 553. – С. 13-32.
8. Khalaman V. V., Komendantov A. Y., Golubovskaya N. S., Manoylina P. A. Comparative efficiency of *Mytilus edulis* as engineering species for shallow-water fouling communities on artificial structures in the White Sea // Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom. – 2021. – Т. 101. – № 3. – С. 511-525.

9. Kuklinski P., Balazy P., Porter J., Loxton J., Ronowicz M., Sokołowski A. Experimental apparatus for investigating colonization, succession and related processes of rocky bottom epifauna // Continental Shelf Research. – 2022. – T. 233. – C. 104641.
10. Meyer- Kaiser K., Bergmann M., Soltwedel T., Klages M. Recruitment of arctic deep- sea invertebrates: Results from a long- term hard- substrate colonization experiment at the long- term ecological research observatory Hausgarten //Limnology and Oceanography. – 2019. – T. 64. – №5. – C. 1924-1938.

УДК 593.714.2:591.112.3:573.7:573.22

Рубрика 34.33.02, 34.33.15, 34.35.33, 34.39.33

ДАЛЬНОСТЬ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ЧАСТИЦ В КОЛОНИЯХ ГИДРОИДОВ СЕМЕЙСТВА  
CAMPANULARIIDAE

DISTANCE OF PARTICLES MOVEMENT IN CAMPANULARIIDAE HYDROID  
COLONIES

**Дементьев Виталий Сергеевич<sup>1</sup>, Марфенин Николай Николаевич<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Москва*

**Dementyev Vitaly Sergeevich<sup>1</sup>, Marfenin Nikolay Nikolaevich<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Lomonosov Moscow State University, Moscow*

**Введение**

Работа посвящена изучению механизмов функционирования нецентрализованных систем, в которых отсутствуют оформленные органы управления, а все части обладают относительной независимостью и самостоятельностью. Удобной моделью исследования подобных систем являются колониальные гидроиды (Marfenin, Dementyev, 2017). Их организм состоит из множества повторяющихся элементов – модулей, представляющих собой совокупность пульсаторов, перемещающих полупереваренную пищу в общей трубчатой разветвлённой полости колонии. Особый интерес вызывает способность столь несовершенного организма транспортировать пищевые частицы в удалённые от зооидов зоны роста – к верхушкам столонов. Перемещения пищи происходит посредством распределительной системы – более или менее упорядоченных движений полостной жидкости (гидроплазмы) в виде гидроплазматических течений (ГПТ).

Важным характеристикой распределительной системы является дальность транспортировки переносимых частиц. Дальний транспорт необходим для качественного снабжения питательными веществами дистально расположенных, формирующихся частей колониального организма, т.е. роста колонии (Марфенин, Дементьев, 2018а). Принято считать, что неограниченное однонаправленное перемещение частиц пищи возможно при согласованной реакции побегов на проходящее под ними в столоне ГПТ. Протяжённые течения, распространяющиеся через всю колонию, состоят из коротких локальных. Протяжённость локального ГПТ, регистрируемая видеосъёмкой в любом месте столона, оказывается значительно меньше протяжённости всего столона. Такие течения вынуждены по ходу следования заходить своим передним фронтом в промежуточные побеги, отдавая им часть гидроплазмы и получая взамен её новые порции. Промежуточные побеги выполняют роль дополнительных поршней, проталкивающих совокупное ГПТ «по эстафете» всё дальше по столону (Марфенин, Дементьев, 2017, 2019, 2020, 2022).

Однако наблюдения показывают, что далеко не все частички заходят в побеги; многие из них могут непрерывно пройти два-три модуля столона, а иногда и весь путь от материнского побега до верхушки столона за один акт однонаправленного перемещения. Каким образом соотносятся друг с другом данные о небольшой протяжённости локальных ГПТ и непрерывном перемещении на дальние дистанции частиц из этих ГПТ?



Целью исследования является определение дальности и траекторий движения взвешенных в гидроплазме частиц у четырёх видов гидроидов семейства Campanulariidae. Результаты настоящей работы позволят сравнивать распределительные системы разных видов гидроидов между собой.

## Материал и методы

Исследование проводили на Беломорской биологической станции имени Н.А. Перцова Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Исследовали четыре вида литоральных гидроидов: *Gonothyraea loveni* (Allman, 1859), *Laomedea flexuosa* Alder, 1857, *Obelia longissima* (Pallas, 1766), *Obelia geniculata* (L., 1758). Это родственные виды, ранее относимые к одному роду *Obelia* (Campanulariidae, Leptothecata, Hydrozoa). Особенности сбора материала и его культивирования в лаборатории неоднократно описаны нами ранее (Марфенин, Дементьев, 2018а, б; Dementyev, Marfenin, 2021)

Дальность перемещения частиц по столону определяли визуально, просматривая под микроскопом предметные стёкла с колониями при увеличении  $\times 100$  на просвет и нанося на схему колонии посегментно (последовательно по модулям столона) траекторию движения частиц в виде стрелочек (рис. 1). Длина стрелочки соответствует пройденному пути частиц. Эта процедура регистрации перемещения частиц в дальнейшем называется визуальным сканированием и подробно описана ранее (Дементьев, Марфенин, 2022).

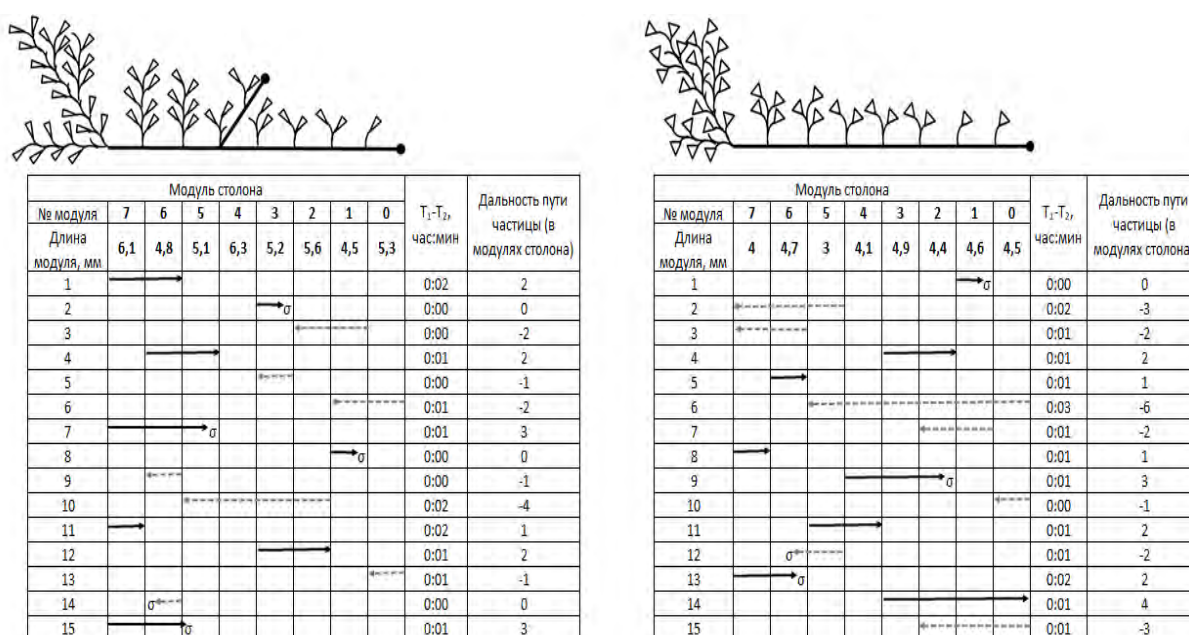


Рис. 1. Пример заполнения бланка траекторий движения взвешенных в гидроплазме частиц в колониях *G. loveni* № А-3 (2022) (слева) и *L. flexuosa* № F-9 (2022) (справа).

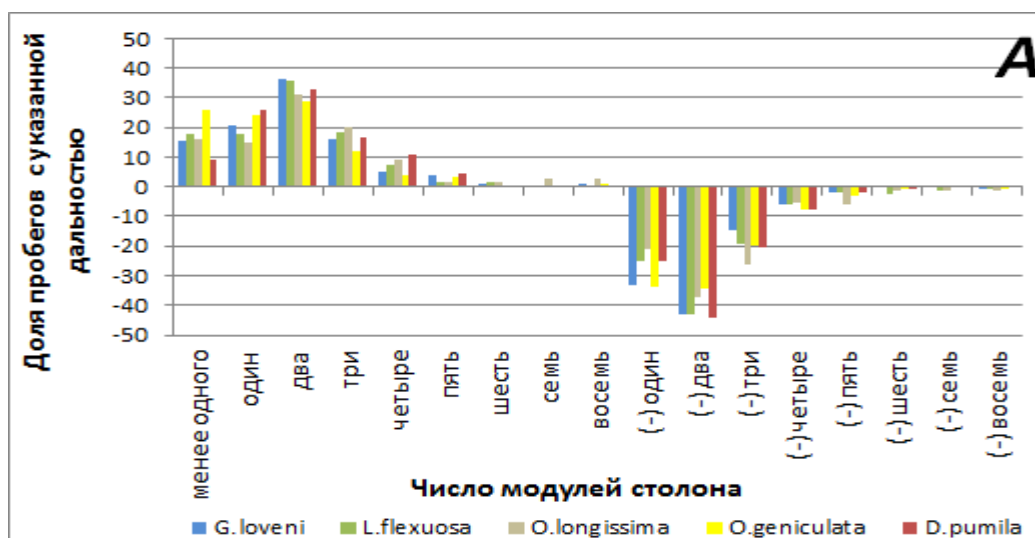
Обозначения. В левом столбце порядковый номер наблюдения; в крайнем правом – количество пройденных модулей столона (знак «→» означает движение частицы от верхушки столона); во втором справа столбце - время, за которое частица проделала весь путь; сплошные и пунктирные стрелки – направление движения и модули столона, через которые частица прошла; сплошные стрелки – по направлению к верхушке столона, а пунктирные – в обратном направлении;  $\sigma$  – отсутствие поступательного движения.

Наблюдения проведены на трёх колониях *G. loveni*, четырёх колониях *L. flexuosa*, трёх колониях *O. longissima*, трёх колониях *O. geniculata*. Регистрацию дальности в каждой из них проводили неоднократно в течение нескольких дней. Суммарно были зарегистрированы траектории движения 311 частиц для *G. loveni*, 373 для *L. flexuosa*, 341 для *O. longissima*, 374 для *O. geniculata*. Исследования первых трёх видов были проведены в июне 2022 года, *O. geniculata* - в июне 2023 года.

## Результаты

Частицы движутся по столону как в направлении верхушки роста [(+)ГПТ], так и в обратном – от неё [(-)ГПТ]. Протяжённые ГПТ к верхушке столона называются *магистральными*, а от верхушки столона к материнскому побегу – *компенсаторными*. Кроме них могут быть и локальные короткие ГПТ. Обозначения (+)ГПТ и (-)ГПТ относятся ко всем течениям гидроплазмы: как локальным, так и протяжённым.

Больше всего было зарегистрировано траекторий длиной в два модуля столона, как в направлении верхушки столона, так и в обратном (рис. 2). Далее примерно в равном соотношении находятся траектории длиной в три модуля столона, один модуль и менее одного модуля. Длинные траектории (четыре модуля и более) также встречались, хотя и в меньшем количестве. Тем не менее таких протяжённых пробегов частиц среди магистральных ГПТ (направленных к верхушке столона) и среди компенсаторных ГПТ (от верхушки столона) было до 15% в каждом из четырёх исследованных видов гидроидов.



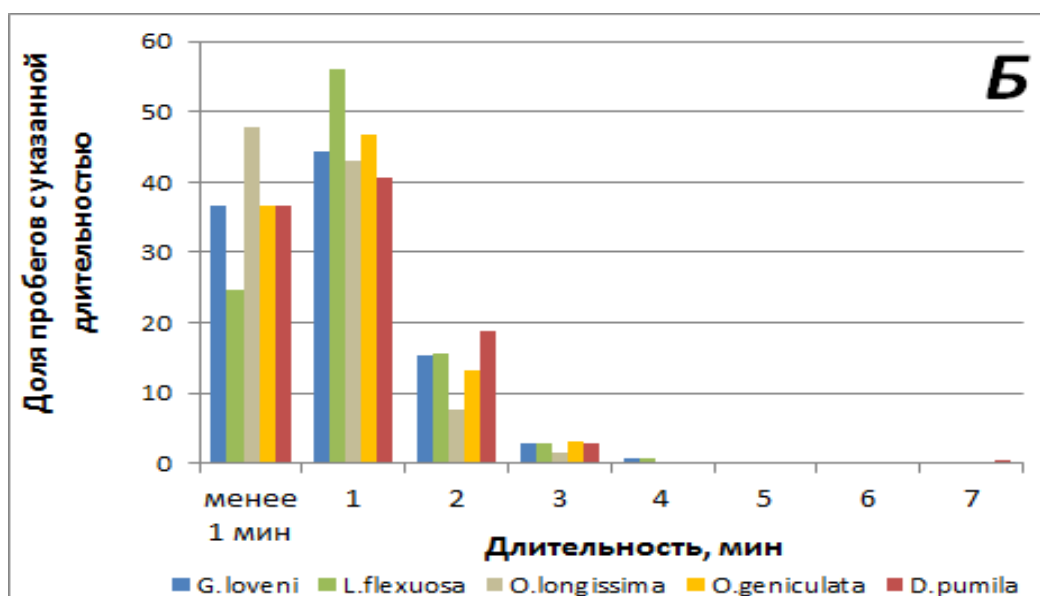


Рис. 2. Вариационные ряды дальности перемещения (А) и длительности пробегов (Б) распознаваемой частицы в гидроплазме по столону всех исследованных колоний четырёх видов *Campanulariidae*. Для сравнения приведены аналогичные данные, полученные ранее на *Dуnатеnа рumilа* (Дементьев, Марфенин, 2022).

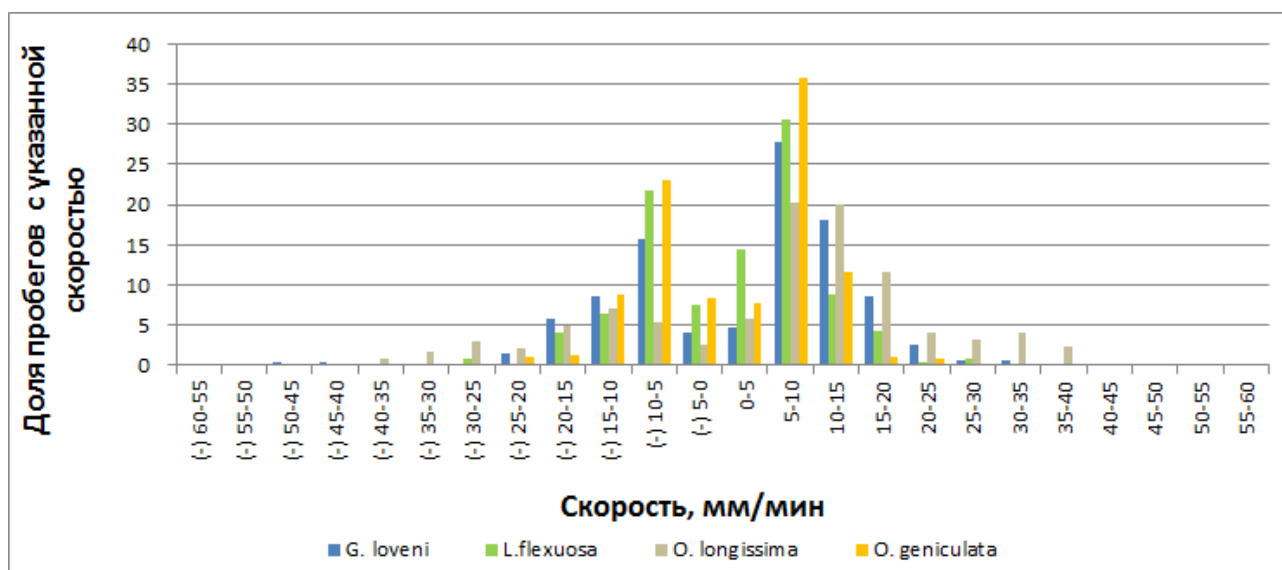


Рис. 3. Вариационные ряды скорости перемещения распознаваемых частиц в гидроплазме по столону всех исследованных колоний четырёх видов *Campanulariidae*. Скорости в диапазоне от (-) 60 до 0 мм/с относятся к направленным от верхушки столона (-) ГПТ, а в диапазоне от 0 до (+) 60 мм/с - к направленным к верхушке столона (+) ГПТ.

По длительности пробега в обоих направлениях: к верхушке столона и от неё - преобладали краткосрочные перемещения длительностью менее 1 мин (37% для *G. loveni*, 25% для *L. flexuosa*, 48% для *O. longissima*, 37% для *O. geniculata*), 1 мин (44%, 56%, 43%, 47% соответственно) и 2 мин (15%, 16%, 8%, 13% соответственно). В совокупности они составляли более 95% всех наблюдений для каждого из четырёх видов (рис. 2). Длительности пробега 3-4 мин составляли 1-4% наблюдений, а длительностей свыше 4 мин не зарегистрировано вовсе. При этом быстрые перемещения были характерны как для частиц, проходивших короткие

дистанции (один-два модуля столона), так и длинные, которые проходили всю дистанцию от материнского побега до дистального модуля столона с верхушкой роста всего за 1-2 мин.

Значительных различий в протяжённости и продолжительности перемещения частиц к верхушке столона и от неё в сторону материнского побега не обнаружено.

Разделив длины траекторий на длительность пробега соответствующих частиц (т.е. пройденное расстояние на время), мы вычислили скорость перемещения частиц. Рассмотрим вариационные ряды частоты встречаемости скоростей у четырёх видов (рис. 3). Больше всего скоростей находится в диапазоне от 5 до 10 мм/с для (+) ГПТ и от -10 до -5 мм/с для противоположно направленных (-) ГПТ. На втором месте по встречаемости находятся скорости от 10 до 15 мм/с (и от -15 до -10 мм/с), на третьем – от 5 до 0 мм/с (и от -5 до 0 мм/с). Высокие скорости (более 20 мм/с) зарегистрированы единично для *G.loveni*, *L.flexuosa* и *O.geniculata*, однако в столоне *O.longissima* они встречаются чаще и составляют до 34% всех наблюдений.

## Обсуждение

Проведённая регистрация траекторий перемещения частиц в полости столона уникальна и представляет интерес для понимания принципов функционирования распределительной системы гидроидов, как примера нецентрализованной биологической системы. Выяснилось, что прослеженные визуально отдельные частицы либо их скопления могли преодолевать безостановочно предельно большие расстояния (с учётом размеров используемых нами колоний). Это расстояние покрывало восемь модулей столона: семи сформированных и растущего нулевого. В абсолютных значениях это составляет от 31 до 42 мм в разных колониях. Величина просвета столона составляет в среднем 0.1 мм, т.е. частицы преодолевают расстояние в 300-400 раз больше того места, в котором они исходно находились. Если сравнить с размерами самих частиц, то пройденное расстояние в тысячи раз больше, чем они сами.

Однако точные данные, полученные на основе цейтраферной микровидеосъёмки, дают основание утверждать, что регистрируемые ГПТ непротяжённые (Дементьев, Марфенин, 2018, 2019, 2021), и частицы переносятся не более чем на расстояние двух-трёх модулей столона.

Установлена продолжительность таких единичных актов перемещения частиц. В подавляющем большинстве случаев частицы проходят через весь столон за 1-2 мин, а иногда и менее чем за минуту. Так, в колонии *G.loveni* № А-3 (2022) частица прошла весь столон длиной 42.9 мм за 2 мин, а в колонии *O.longissima* № \*-3 (2022) частицы преодолели дистанцию 39.9 мм за 1 мин. Столь высокие скорости позволяют чрезвычайно быстро распределять пищу по колониальному организму. Следовательно, транспорт пищевых частиц в колониях максимально эффективен, если частицы за однонаправленный акт перемещения могли быстро проходить расстояние от материнского побега до верхушки роста столона.

Принцип работы этой системы описан в виде гипотетической модели «рокировки объёмов гидроплазмы». Суть модели в том, что при движении в трубковидной полости столона столб жидкости (гидроплазмы) частично заходит в ближайший побег, а частично проходит дальше. Ближайший побег реагирует сжатием на расширение своей полости из-за притока гидроплазмы (Дементьев, Марфенин, 2022). Выходящая из него порция гидроплазмы оказывается сзади столба гидроплазмы, движущегося в столоне. Получается, что головная порция столба в результате захода в побег и затем выхода из него оказывается в хвосте того же столба гидроплазмы, т.е. происходит «рокировка». Очередной побег начинает выполнять роль двигателя, выталкивая часть гидроплазмы из себя. Поочередное участие побегов в продвижении гидроплазмы в столоне может теоретически обеспечить транспортировку частиц на неограниченное расстояние.

Однако работа этого механизма не столь упорядочена. Передняя порция столба гидроплазмы может не зайти в очередной побег, если его ценосарк сопротивляется расширению, а это происходит в тех случаях, когда ценосарк недавно сжимался, и требуется некоторое время на его релаксацию. Возможно, при получении порции гидроплазмы ценосарк побега не сразу сжимается, а со значительной задержкой. Или же в момент прохождения столба жидкости под побегом этот побег сам начинает выдавливать избыточную гидроплазму, накопившуюся в нём – например, после переваривания пищи.

Понять, насколько транспорт пищевых частиц не случаен и эффективен, помогают проведённые нами наблюдения. Из обобщённых данных по всем колониям следует, что подавляющее большинство траекторий частиц короткие – один-два модуля столона (рис. 2). Более протяжённых траекторий от материнского побега к верхушке столона немного (до 15% в каждом из четырёх исследованных видов гидроидов), но они есть, причём довольно быстрые. Частицы преодолевают всю длину столона за 1-2 мин (рис. 2). Следовательно, отдельные ГПТ, переносящие частицы, проходят безостановочно расстояние, в два-три раза превышающее возможности локального течения.

Представленные результаты косвенно подтверждают гипотезу о механизме эстафетного движения (Марфенин, Дементьев, 2017, 2022). Принципиально важно, что для осуществления такого транспорта частицам вовсе не обязательно заходить в промежуточные побеги. Видимо, правомерно предположение о «рокировке пустых объёмов гидроплазмы» - перемещения их из положения в авангарде ГПТ в арьергард ГПТ посредством временного захода в промежуточные побеги (Марфенин, Дементьев, 2019; Дементьев, Марфенин, 2022).

Таким образом, пища способна далеко и быстро перемещаться по столону колоний четырёх видов Campanulariidae (*G. loveni*, *L. flexuosa*, *O. longissima*, *O. geniculata*) посредством распределительной системы пульсаторно-реверсивного типа. Настоящее исследование подтверждает, что перемещение пищи не обязательно складывается из серии коротких пробежек и заходов в побеги.

## Выводы

1. В столоне четырёх видов гидроидов Campanulariidae (*Gonothyraea loveni*, *Laomedea flexuosa*, *Obelia longissima*, *Obelia geniculata*) больше всего траекторий частиц длиной один-два модуля столона как в направлении верхушки столона, так и в обратном.
2. По длительности пробега в обоих направлениях: к верхушке столона и от неё - преобладали краткосрочные перемещения длительностью менее 1 мин (37% для *G. loveni*, 25% для *L. flexuosa*, 48% для *O. longissima*, 37% для *O. geniculata*), 1 мин (44%, 56%, 43%, 47% соответственно) и 2 мин (15%, 16%, 8%, 13% соответственно). В совокупности они составляли более 95% всех наблюдений для каждого из четырёх видов.
3. Протяжённые траектории частиц (четыре модуля столона и более) составляют до 15% в каждом из четырёх исследованных видов гидроидов. Протяжённые перемещения частиц происходят с нестройной периодичностью. Отдельные частицы безостановочно проходят от одного конца колонии до другого.

## Финансирование

Исследование/проект выполнен при поддержке гранта Российского научного фонда № 22-24-00209.



## Список литературы

1. Дементьев В.С., Марфенин Н.Н. Влияние опреснения на рост, пульсации ценосарка и перемещение гидроплазмы у колониального гидроида *Dynamena pumila* (L., 1758) // Журнал общей биологии. – 2018. – Т. 79, № 5. – С. 376-392. DOI: 10.1134/S0044459618050044.
2. Дементьев В.С., Марфенин Н.Н. Воздействие температуры на рост, пульсации ценосарка и перемещение гидроплазмы у колониального гидроида *Dynamena pumila* (L., 1758) // Журнал общей биологии. – 2019. – Т. 80, № 1. – С. 22-42. DOI: 10.1134/S0044459619010032.
3. Дементьев В.С., Марфенин Н.Н. Эффективность распределительной системы гидроида *Dynamena pumila* (L., 1758) при различных абиотических воздействиях // Журнал общей биологии. – 2021. – Т. 82, № 5. – С. 323-336. DOI: 10.31857/S0044459621050031.
4. Дементьев В.С., Марфенин Н.Н. Экспресс-перемещение частиц в столоне колониального гидроида *Dynamena pumila* (L., 1758) // Журнал общей биологии. – 2022. – Т. 83, № 3. – С. 170-182. DOI: 10.31857/S0044459622030046.
5. Марфенин Н.Н., Дементьев В.С. Парадокс протяженных течений гидроплазмы в колониальном гидроиде *Dynamena pumila* (Linnaeus, 1758) // Журнал общей биологии. – 2017. – Т. 78, № 4. – С. 3-20.
6. Марфенин Н.Н., Дементьев В.С. Продольные пульсации столона у колониального гидроида *Dynamena pumila* (Linnaeus, 1758) // Журнал общей биологии. – 2018а. – Т. 79, № 2. – С. 85-96.
7. Марфенин Н.Н., Дементьев В.С. Рост, пульсации ценосарка и перемещение гидроплазмы у колониального гидроида *Dynamena pumila* (L., 1758) в проточной и непроточной кюветах // Журнал общей биологии. – 2018б. – Т. 79, № 2. – С. 97-107.
8. Марфенин Н.Н., Дементьев В.С. К вопросу о протяженности гидроплазматических течений у колониального гидроида *Dynamena pumila* (L., 1758) // Журнал общей биологии. – 2019. – Т. 80, № 5. – С. 348-363. DOI: 10.1134/S0044459619050051.
9. Марфенин Н.Н., Дементьев В.С. Побег как генераторы гидроплазматических течений в колониальном гидроиде *Dynamena pumila* (L., 1758) // Журнал общей биологии. – 2020. – Т. 81, № 6. – С. 421-443. DOI: 10.31857/S0044459620060032.
10. Марфенин Н.Н., Дементьев В.С. Влияние потребления пищи на функционирование пульсаторно-реверсивной распределительной системы у гидроидов – идиографический подход // Журнал общей биологии. – 2022. – Т. 83, № 2. – С. 83-105. DOI: 10.31857/S0044459622020038.
11. Dementyev V.S., Marfenin N.N. Effect of air exposure on the growth and distribution system in the colonial hydroid *Dynamena pumila* (L., 1758) // Invertebrate Zoology. – 2021. – Vol. 18, No. 2. – P. 69-79. DOI: 10.15298/invertzool.18.2.01.
12. Marfenin N.N., Dementyev V.S. Functional morphology of hydrozoan stolons: stolonial growth, contractility, and hydroplasmic movement in *Gonothyrea loveni* (Allman, 1859) // Marine Biology Research. – 2017. – Vol. 13, No. 5. – P. 521-537. DOI: 10.1080/17451000.2016.1276292.



УДК 574.587:001.891.55

Рубрика 34.05.17

ОПТИМИЗАЦИЯ ГИДРОБИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ БЕНТАЛИ ПРИ ПОМОЩИ ТНПА

USING ROV TO OPTIMIZE RESEARCH OF BOTTOM COMMUNITIES

**Шушков Даниил Алексеевич<sup>1</sup>, Шкрябин Александр Алексеевич<sup>1</sup>, Зуев Юрий Алексеевич<sup>2</sup>, Зуева Надежда Викторовна<sup>3</sup>, Гусев Дмитрий Владilenovich<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Северный (Арктический) федеральный университет имени М. В. Ломоносова, Архангельск

<sup>2</sup> Санкт-Петербургский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ГосНИОРХ» им. Л.С. Берга»), Санкт-Петербург

<sup>3</sup> Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург

**Shushkov Daniil Alekseevich<sup>1</sup>, Shkryabin Alexandr Alekseevich<sup>1</sup>, Zuyev Yury Alekseevich<sup>2</sup>, Zuyeva Nadezhda Viktorovna<sup>3</sup>, Gusev Dmitry Vladilenovich<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Northern (Arctic) Federal University, Arkhangelsk

<sup>2</sup> Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, Saint-Petersburg

<sup>3</sup> Russian State Hydrometeorological University, Saint-Petersburg

**Аннотация**

Видеорезы выполненные с помощью ТНПА позволили получить необходимые рекогносцировочные данные о рельефе, составе и распространении макрофитов, таксономическом составе массовых беспозвоночных на мягких грунтах. Предложены решения по оптимизации использованных моделей ТНПА для производства гидробиологических работ.

**Ключевые слова**

Бентос, водолазные работы, подводные исследования, телеуправляемый подводный аппарат

Прибрежные районы водоемов настолько разнообразны, что требуют применения целого комплекса различных методов при исследовании донных сообществ. Использование подготовленных водолазов позволяет полноценно исследовать все разнообразие условий бентали. Однако работа специалиста под водой крайне дорога, затратна по времени, обладает ограниченной производительностью и требует высокой квалификации подводников в различных областях. Поэтому, из-за ограниченности времени и крайне высокой стоимости водолазных исследований, приходится принимать решения о методах исследования непосредственно в период проведения рекогносцировочных работ. Это может отрицательно влиять на качество выполняемых работ.

Широкое распространение и относительная доступность телеуправляемых необитаемых подводных аппаратов (ТНПА) делает возможным их использование для различных гидробиологических задач. В частности, опыт прибрежных исследований авторов позволяет составить алгоритм оптимизации исследований бентали в таких районах (Зуев, Павлова, 2011; Зуев, Зуева, 2013; Зуев, 2023).

С помощью ТНПА может быть полностью выполнено рекогносцировочное описание. Подводный аппарат выполняет видеосъемку с фиксацией ее глубины по заданному направлению. Оператор может корректировать работу видеосистемы и перемещение ТНПА в зависимости от рельефа дна, условий освещенности и других факторов.

Далее, по полученным материалам в лабораторных условиях, без ограничений по времени и с привлечением необходимых специалистов, могут быть определены оптимальные методы сбора биологических материалов и намечена сетка станций проботбора. Это может быть как стандартный дночерпательный отбор проб, так и, в зависимости от условий, применены различные методы водолазного сбора (Голиков, Скарлато, 1965; Пропп, 1971). Необходимо отметить вариант, когда видеоразреза может быть достаточно для описания бентали или потребуется только ограниченный отбор образцов, например для уточнения видовых списков и получения размерно-массовых кривых. В отдельных случаях можно даже обойтись образцами отобранными ТНПА.

Алгоритм комплексных исследований был опробован на основании реальных данных, полученных в ходе экспедиции «Арктический плавучий университет – 2023» в районе о. Вайгач и о. Северный архипелага Новая Земля.

В ходе исследований применялись два ТНПА малого класса, разработанных в филиале САФУ в г. Северодвинске. Первый из них – «Полярник» – имеет габаритные размеры 700×500×200 мм (Д×Ш×В) и массу 8 кг, оснащен 8-ю двигателями, расположенными в классической векторной конфигурации (4 погружных и 4 маршевых двигателя). Второй аппарат – «Лемминг» – характеризуется габаритными размерами 500×350×250 мм и массой 6 кг, имеет 6 двигателей, расположенных в уникальной конфигурации под углом к основным осям движения. Оба аппарата оснащены камерой высокого разрешения, которая в реальном времени передает изображение на береговую станцию, позволяет ориентироваться под водой и вести запись погружения. Также на них установлены специальные подводные манипуляторы, при помощи которых можно производить сбор образцов со дна (Мотов, Шушков, 2022; Шкрябин, Шушков, Шкрябин, 2023).

Исследования проводились в 4 различных районах, в которых были выполнены разрезы на глубинах от 1 до 22 метров протяженностью от 15 до 45 метров. Основным фактором, ограничивающим глубину погружения и протяженность разрезов, являлась длина кабель-троса ТНПА. Так как при проведении исследований использовался кабель-трос длиной 50 метров. Описание разрезов приведено в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристика выполненных разрезов.

Район исследований	Координаты, С.Ш., В.Д.	Характеристики разреза	Погодные условия
Остров Вайгач	69.708, 60.014	Глубина от 1 до 3 м, протяженность 45 м	Спокойное море
Залив Русская гавань, архипелаг Новая Земля	76.190, 62.601	Глубина от 1 до 2 м, протяженность 25 м	Слабое волнение
Мыс Желания, архипелаг Новая Земля	76.956, 68.562	Глубина от 1 до 4 м, протяженность 40 м	Слабое волнение

Залив Иванова, архипелаг Новая Земля	76.977, 67.202	Глубина 22 м, протяженность 15 м	Спокойное море
---	-------------------	-------------------------------------	-------------------

Анализ видеоматериала позволил установить, что на всех исследованных участках дночерпательная съемка позволит определить видовой состав и количественные характеристики массовых видов на мягких грунтах. Однако водолазные разрезы необходимы для получения данных о более полном видовом составе и биомассе донных беспозвоночных включая виды с низкой плотностью и сообщества, расположенные на твердых грунтах.

Таким образом, на данный момент технические возможности ТНПА «Полярник» и «Лемминг» позволяют проводить исследования только на рекогносцировочном уровне, поскольку они проектировались для проведения обзорных работ. Для повышения их эффективности при выполнении научных исследований требуется модернизация существующего программного и аппаратного обеспечения, а также использование кабель-троса длиной не менее 150 м. Во-первых, необходимо доработать систему программной стабилизации аппаратов, которая позволит с большой точностью удерживать заданный курс в условиях течения и иных возмущающих воздействий. Во-вторых, помимо записи видеоизображения необходимо также добавить запись текущей глубины, температуры воды и расстояния, пройденного с начала разреза. В-третьих, на аппараты должны быть установлены устройства позволяющие делать лазерные метки для определения масштаба (горизонтальные метки) и контроля пройденного расстояния и изменения глубины (три вертикальные метки на максимальном расстоянии друг от друга). Также, на аппараты можно установить дополнительное оборудование, которое упростит исследования. Так, можно предусмотреть модификации конструкции манипулятора таким образом, чтобы он мог отбирать образцы в зависимости от их типа. На аппарат могут устанавливаться датчики для записи характеристик и параметров качества воды.

В итоге, видеоразрезы выполненные с помощью ТНПА позволили получить необходимые рекогносцировочные данные о рельефе, составе и распространении макрофитов и таксономическом составе массовых беспозвоночных на мягких грунтах. Что позволяет планировать дальнейшие гидробиологические работы как стандартными дночерпательными методами, так и с использованием водолазной съемки.

### **Благодарность**

Авторы искренне признательны руководству экспедиции «Арктический плавучий университет – 2023» за отличную организацию полевых работ.

### **Список литературы:**

1. Голиков А.Н., Скарлато О.А. 1965. Гидробиологические исследования в заливе Посьет с применением водолазной техники. // Исследования фауны морей СССР. № 3(9). С. 5–21.
2. Зуев Ю.А., Павлова Л.В. 2011. Особенности распределения мегабентоса в верхней сублиторали Кольского залива (Баренцево море) // Доклады Академии наук. Т. 439. № 5. С. 713–717.
3. Зуев Ю.А., Зуева Н.В. 2013. Опыт исследования макрозообентоса каменистой литорали Ладожского озера // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. № 30. С. 134–147.

4. Зуев Ю.А. 2023. Особенности распределения массовых видов ракообразных на прибрежном склоне Ладожского озера // Биология внутренних вод. № 2. С. 210–223.
5. Мотов С.Л., Шушков Д.А. 2022. Обзор поколений телеуправляемых необитаемых подводных аппаратов серии «Полярник» // Арктические исследования: от экстенсивного освоения к комплексному развитию. Материалы конференции. Архангельск. С. 478–481.
6. Пропп М.В. 1971. Экология прибрежных донных сообществ Мурманского побережья Баренцева моря (по материалам водолазных работ). Л.: Наука. 128 с.
7. Шкрябин А.А., Шушков Д.А., Шкрябин А.А. 2023. Разработка системы электродвижения телеуправляемого необитаемого подводного аппарата «Лемминг» // Актуальные вопросы инновационного развития Арктического региона РФ. Сборник материалов конференции. Архангельск. С. 328–333.

УДК 597.585.2-115.8(261.1)

Рубрика 34.33.33

СЕВЕРОАТЛАНТИЧЕСКИЕ МОРСКИЕ ОКУНИ-ГИГАНТЫ РОДА *SEBASTES*  
 THE NORTH-ATLANTIC GIANT REDFISH GENIUS *SEBASTES*

**Рольский Алексей Юрьевич<sup>1</sup>, Артамонова Валентина Сергеевна<sup>2</sup>,  
 Махров Александр Анатольевич<sup>2</sup>, Попов Виктор Иванович<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Полярный филиал “Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии” (ФГБНУ “ПИНРО” им. Н.М. Книповича), Мурманск

<sup>2</sup> ФГБУН Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН (ИПЭЭ РАН), Москва

**Rolskii Aleksei Yurievich<sup>1</sup>, Artamonova Valentina Sergeevna<sup>2</sup>,  
 Makhrov Alexander Anatolievich<sup>2</sup>, Popov Victor Ivanovich<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Polar Branch, Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (VNIRO) (PINRO named after N.M. Knipovich), Murmansk

<sup>2</sup> Institute of Ecology and Evolution RAS (IPEE, RAS), Moscow

## Введение

В Северной Атлантике обитает четыре вида морских окуней рода *Sebastes*: окунь-клювач *S. mentella* Travin, 1951; малый морской окунь *S. viviparus* Kroyer, 1845; золотистый окунь *S. norvegicus* Linnaeus, 1758; американский окунь *S. fasciatus* Storer, 1856. Однако, еще на начальных этапах исследований морских окуней исландско-гренландского района были обнаружены особи, промежуточные по морфологии между *S. mentella* и *S. norvegicus*, так называемые окуни «гиганты» ("giants"), достигающие размеров более 60 см (Захаров, 1969). Позднее такие особи были обнаружены в море Ирмингера над океаническими глубинами (Johansen et al., 2000). По морфологии и внешним признакам эти рыбы ближе к *S. norvegicus*, но отличаются от них особенностями строения отолитов и средним количеством жаберных тычинок, кроме того, они способны обитать на больших глубинах (более 500 м), что не характерно для *S. norvegicus*. По результатам иммунологического, а позже и гистологического анализов было установлено, что большинство самок «гигантов» стерильно (Алтухов и др., 1967; Нефедов, 2002, Филина и др., 2014). Некоторые авторы относили «гигантов» к виду *S. norvegicus*, а их стерильность объясняли воздействием низких температур на их молодь (Захаров, 1969), в то время как другие авторы считали, что эти особи с большой долей вероятности являются межвидовыми гибридами (Нефедов, 2002, Johansen et al., 2000, Bunke et al., 2013).

Несмотря на то, что исследованию окуней «гигантов» Северной Атлантики посвящено множество работ, таксономический статус этих рыб до сих пор не вполне понятен. Постепенно накапливаются данные в пользу того, что эта группа окуней неоднородна, хотя эти рыбы и образуют скопления в определенных районах Северной Атлантики. В связи с этим, целью настоящей работы было определение статуса североатлантических «гигантов» с привлечением методов молекулярно-генетического анализа.

## Материалы и методы

Материал для исследования был собран в море Ирмингера из уловов пелагическим тралом на глубинах 320-725 м в 2011-2021 гг. (рис. 1). Для анализа были отобраны 17 экз. окуней «гигантов» (8 самок и 9 самцов) с использованием следующих критериев: нехарактерные для *S. mentella* и *S. norvegicus* размеры, масса тела, а также недоразвитость гонад (табл. 1).

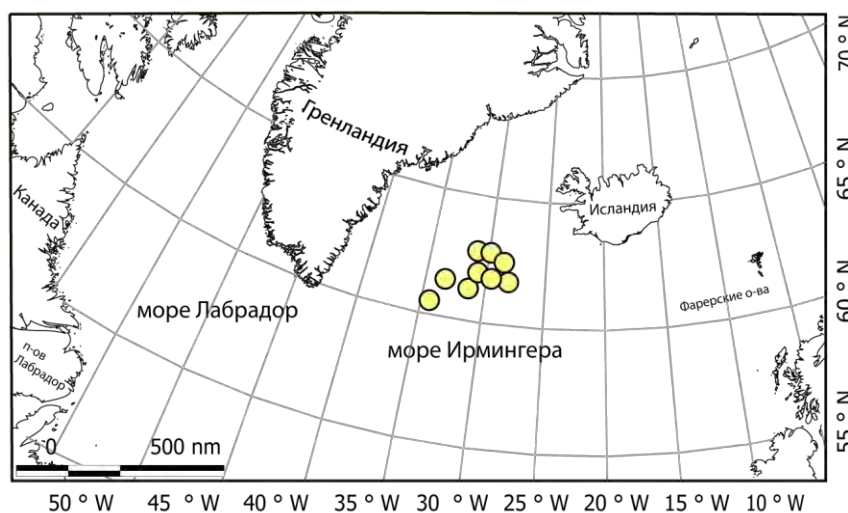


Рис 1. Район отлова североатлантических «гигантов»

В ходе биологического анализа у рыб измеряли длину, массу, определяли пол и стадию зрелости гонад [Методическое руководство по..., 2015].

Тотальную ДНК выделяли из тканей, фиксированных 96% этанолом (1:5) при помощи набора реагентов для выделения геномной ДНК из биологического материала «ДНК-ЭКСТРАН-2» (ЗАО «Синтол», Москва) в соответствии с инструкцией изготовителя.

Аmplification отдельных локусов контрольного региона мтДНК (*D-loop*) и второго интрона ядерного гена, кодирующего белок *S7* (*RP2 S7*), являющихся специфичными для каждого из видов североатлантических *Sebastes* [Artamonova *et al.*, 2013, Rehbein, 2013], проводили с использованием праймеров и условий, описанных ранее [Hyde, Vetter, 2007, Rehbein, 2013].

Секвенирование проводили на базе Межинститутского Центра коллективного пользования «ГЕНОМ» ИМБ (Москва). Результаты секвенирования анализировали с использованием BioEdit v. 7.0.5 [Hall, 1999].

## Результаты

Длина исследованных рыб варьировала от 433 до 790 мм, масса – от 1305 до 7900 г. Гонады самок имели небольшие размеры и тонкую, непигментированную оболочку (рис. 2б), что позволило отнести таких рыб к неполовозрелым (стадия II). В отличие от самок, большинство самцов были половозрелыми и имели III стадию зрелости гонад (табл. 1). У всех проанализированных рыб, за исключением двух особей, наблюдалась разная степень ожирения внутренних органов, которое в норме не характерно для североатлантических *Sebastes*.



По результатам изучения ядерного (*RP2 S7*) и митохондриального (*D-loop*) локусов, видоспецифичных для североатлантических *Sebastes*, было установлено, что в изученной выборке «гигантов» три особи являются гибридами. Так, анализ хроматограмм последовательности *RP2 S7* показал, что у таких рыб, начиная с определенного нуклеотида, наблюдается наложение пиков, то есть последовательности ДНК двух гомологичных хромосом, начиная с этого нуклеотида, перестают соответствовать друг другу.



Рис 2. Североатлантический морской окунь «гигант» (самка, стадия зрелости II) (а) и внешний вид гонад (б)

Детальный анализ таких последовательностей позволил установить, что две особи являются гибридами *S. mentella* x *S. norvegicus* и одна рыба - *S. norvegicus* x *S. viviparus* (табл. 1). Исследование митохондриального локуса *D-loop* таких рыб показало, что материнским видом одной особи является *S. norvegicus*. У другой гибридной особи (рыба 14), выявлен редкий гаплотип мтДНК, носителей которого некоторые исследователи относят к виду *S. norvegicus* [Shum et al., 2017; Shum, Pampoulie, 2020].

Таблица 1. Характеристика изученного материала

№	Дата	Глубина, м	Длина, мм	Масса, г	Пол	Зрелость	Ожирение органов	Вид согласно:	
								<i>D-loop</i>	<i>S7</i>
1.	18.06.11	594	690	6745	F	II	есть	<i>S. norvegicus</i>	<i>S. norvegicus</i>
2.	08.07.12	600	640	4135	F	II	есть	-	<b><i>S. mentella</i> x <i>S. norvegicus</i></b>
3.	18.05.13	670	663	4710	M	II	есть	<i>S. norvegicus</i>	<i>S. norvegicus</i>
4.	18.05.13	670	695	5935	M	III	есть	<i>S. norvegicus</i>	<i>S. norvegicus</i>
5.	24.05.13	675	563	2800	F	II	есть	<i>S. norvegicus</i>	<i>S. norvegicus</i>
6.	24.05.13	700	668	4815	M	II	нет	<i>S. norvegicus</i>	<i>S. norvegicus</i>
7.	26.05.13	625	433	1305	M	III	есть	<i>S. norvegicus</i>	<i>S. norvegicus</i>
8.	09.06.13	650	480	1625	M	IV	есть	<i>S. norvegicus</i> *	<i>S. norvegicus</i>
9.	10.06.13	600	508	1665	F	II	нет	<i>S. norvegicus</i>	<b><i>S. norvegicus</i> x <i>S. viviparus</i></b>
10.	04.05.15	670	790	7745	M	III	есть	<i>S. norvegicus</i> *	<i>S. norvegicus</i>
11.	24.06.16	330	467	1480	F	II	есть	<i>S. norvegicus</i>	<i>S. norvegicus</i>
12.	05.05.17	700	750	7900	M	III	есть	<i>S. norvegicus</i>	<i>S. norvegicus</i>
13.	18.07.18	600	490	1804	F	II	есть	<i>S. norvegicus</i>	<i>S. norvegicus</i>
14.	20.05.18	530	570	3355	F	II	есть	<i>S. norvegicus</i> *	<b><i>S. mentella</i> x <i>S. norvegicus</i></b>

15.	09.06.21	725	760	6895	M	III	есть	<i>S. norvegicus</i>	<i>S. norvegicus</i>
16.	21.06.21	320	570	2910	F	III	есть	<i>S. norvegicus</i>	<i>S. norvegicus</i>
17.	21.06.21	320	497	1970	M	III	есть	<i>S. norvegicus</i>	<i>S. norvegicus</i>

- нет данных, \*- гаплотип отмечен только в море Ирмингера и не обнаружен в других частях ареала *S. norvegicus*

### Заключение

Результаты настоящего исследования позволили уточнить статус североатлантических окуней «гигантов», которые периодически встречаются в траловых уловах в пелагиали моря Ирмингера и на глубоководных участках исландско-гренландского района. Установлено, что по крайней мере некоторые особи «гигантов» являются межвидовыми гибридами морских окуней рода *Sebastes*. Недоразвитость гонад таких рыб и факт стерильности большинства самок «гигантов» согласуется с общей концепцией о том, что при скрещивании особей разных видов нарушение воспроизводительных способностей гибридных особей скорее правило, чем исключение.

### Финансирование

Работа выполнена в рамках госзадания (тема 6: Экология и биоразнообразие водных сообществ 0109-2018-0076 АААА-А18-118042490059-5).

### Список литературы

1. Алтухов Ю.П., Нефедов, Г. Н., Паюсова А.Н. Цитофизиологический анализ дивергенции золотистого и клюворылового окуней Северо-Западной Атлантики // Изменчивость теплоустойчивости клеток животных в онто- и филогенезе: сб. ст. Отв. ред. Б.П. Ушаков. – Л.,1967. – С. 4-5.
2. Методическое руководство по определению стадий зрелости гонад североатлантических морских окуней рода *Sebastes* (Scorpaenidae) / сост. Е.А. Филина, В.И. Попов, Ю.И. Бакай, А.Ю. Рольский, Г.А. Макеенко. - Мурманск: Изд-во ПИНРО, 2015. - 29 с.
3. Нефедов Г.Н. О гибридном происхождении западногренландской популяции золотистого окуня // Вопр. рыболовства. – 2002. – Т.3, №1 (9). – С.65-72.
4. Захаров Г.П. Экология и промысел морских окуней *Sebastes marinus* L. и *Sebastes mentella* T. в районе Исландии и Гренландии: автореф. дис. ... канд. биол. наук. – М., 1969. – 25 с.
5. Филина Е.А., Рольский А.Ю., Попов В.И., Макеенко Г.А. Результаты гистологических исследований гонад гибридных особей морских окуней моря Ирмингера // в сборнике тезисов Международной конференция молодых ученых «Проблемы и перспективы развития рыбохозяйственного комплекса на современном этапе» 22-24 октября 2014 г., Мурманск. – С.1-2.
6. Artamonova V. S., Makhrov A. A., Karabanov D. P., Rolskiy A. Yu., Bakay Yu. I., Popov V. I. Hybridization of beaked redfish (*Sebastes mentella*) with small redfish (*S. viviparus*) and diversification of redfishes in the Irminger Sea // J. of Natural History. – 2013. – Vol. 1, № 47 (25-28). – P. 1791-1801.

7. Bunke C., Hanel R., Trautner J.H. Phylogenetic relationships among North Atlantic redfish (genus *Sebastes*) as revealed by mitochondrial DNA sequence analyses // J. of Applied Ichthyology. – 2013. – Vol. 29, № 1. – P. 82-92.
8. Hyde J.R., Vetter R.D. The origin, evolution, and diversification of rockfishes of the genus *Sebastes* (Cuvier) // Molecular Phylogenetic and Evolution. – 2007. – Vol. 44. – P. 780–811.
9. Hall T. A. BioEdit: a user-friendly biological sequence alignment editor and analysis program for Windows 95/98/NT // Nucl. Acids. Symp. Ser. 41 – 1999. – P. 95-98.
10. Johansen T., Nævdal G., Daniélsdóttir A.K., Hareide N.R. Genetic characterization of giant *Sebastes* in the deep water slopes in the Irminger Sea // Fish. Res. – 2000. – Vol. 45, № 3. – P. 207-216.
11. Rehbein H. Differentiation of fish species by PCR-based DNA analysis of nuclear genes // European Food Res. and Technology. – 2013. – Vol. 236, № 6. – P. 979-990.
12. Shum P., Pampoulie C. Molecular identification of redfish (genus *Sebastes*) in the White Sea indicates patterns of introgressive hybridization // Polar Biol. 2020. V. 43. P. 1663–1665.
13. Shum P., Moore L., Pampoulie C., Di Muri C., Vandamme S., Mariani S. Harnessing mtDNA variation to resolve ambiguity in 'Redfish' sold in Europe // PeerJ. 2017. 5:e3746.

УДК 574.21 574.587 574.633

Рубрика 34.35.33

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОД СЕВЕРНОГО КАСПИЯ ИНДЕКСОМ ГУДНАЙТ-УОТЛЕЯ  
ASSESSMENT OF NORTHERN CASPIAN WATER QUALITY BY THE GOODNIGHT-  
WATLEY INDEX

**Кашин Роман Дмитриевич, Минакова Елена Владимировна, Жаткина Ольга Вячеславовна**

*Волжско-Каспийский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии («КаспНИРХ»), Астрахань, Россия*

**Kashin Roman Dmitrievich, Minakova Elena Vladimirovna, Zhatkina Olga Vyacheslavovna**

*The Volga-Caspian branch of the All-Russian Research Institute for Fisheries and Oceanography («CaspNIRKH»), Astrakhan, Russia*

### **Введение**

Каспийское море является изолированной акваторией, где аккумулируются различные вещества абиотического и антропогенного происхождения, воздействие которых негативно сказывается на гидробионтах [Агатова и др., 2017]. Органическое вещество (ОВ) играет важную роль в круговороте химических элементов в водной экосистеме [Дегтярева, 2013], влияя на накопление в донных отложениях тяжелых металлов, углеводов и других токсических соединений [Виленский, Даценко, 1985, Мур, Рамамурти, 1987, Немировская, 2004].

Оценка степени загрязнения возможна разными методами, один из которых – биоиндикация. Биоиндикация – оценка качества среды обитания по состоянию живых организмов в природных условиях [Ляшенко, 2012]. Биоиндикационные исследования в водоемах на разных уровнях организации жизни являются интегрирующим фактором изучения водных экосистем и должны носить системный характер в рамках гидроэкологического мониторинга водной среды [Зинченко и др., 2016].

Одним из первых звеньев поглощения и передачи ОВ являются бентосные организмы. В связи с достаточной продолжительностью развития донных беспозвоночных и их оседлым образом жизни именно зообентос характеризует состояние акватории [Зыков, Валиулин, 2016]. К организмам-биоиндикаторам относятся малощетинковые черви, чья численность является показательной, т. к. в результате сильного органического загрязнения олигохеты получают массовое развитие [Крылова, 2009].

Олигохеты входят в рацион леща. Это представители инфауны, свободноживущие черви, питающиеся грунтом, детритом и водорослями [Hunt, 1925, Атлас беспозвоночных..., 1968, Яблонская, 1975]. Развитие их зависит от глубины, гидродинамической активности вод, типа грунта [Попченко, 1988, Childress, 1995; Nijboer et al., 2004; Батурина, Лоскутова, 2010]. Олигохеты характеризуются широкой экологической валентностью к кислороду и толерантностью к низкому содержанию кислорода [Дегтярева и др., 2019].

Метод оценки качества вод олигохетным индексом Гуднайта-Уотлея основан на том, что отдельные группы бентонтов встречаются преимущественно в чистых водах, а олигохеты легко переносят загрязнение и достигают большой численности в донных отложениях, обогащенных легкоусвояемой органикой. Индекс рассчитывается по отношению численности олигохет к общей численности бентосных организмов в процентах. На практике данный индекс используется с 6 градациями качества вод (в модификации Пареле): в диапазоне величин индекса 0-17 % – очень чистая; 17-33 % – чистая; 34-50 % – умеренно загрязненная; 51-67 % – загрязненная; 68-84 % – грязная; 85-100 % – очень грязная [Лебедева и др., 2002].

Цель работы состояла в определении органического загрязнения северо-западной части Каспийского моря индексом Гуднайта-Уотлея. Актуальностью данной работы является отсутствие в настоящее время исследований по определению загрязненности акватории Северного Каспия органическим веществом.

### **Данные и методы**

Пробы были отобраны в западной части Северного Каспия в июне-сентябре 2022 г. во время экспедиционных работ Волго-Каспийского филиала ФГБНУ «ВНИРО» («КаспНИРХ»). Во время трех съемок, проведенных в июне-июле, июле-августе и сентябре-октябре, было отобрано и исследовано 188 проб. Материал был отобран в соответствии с методическими указаниями [Романова, 1983]. Отбор проб осуществлялся дночерпателем «Океан-50» площадью забора 0,1 м<sup>2</sup>. Отобранный материал промывался через сито из газа № 23. Организмы помещались в банку и заливались водой с последующим добавлением формалина с разведением до 4 %. В лабораторных условиях были определены общая численность зообентоса и численность олигохет, рассчитаны показатели индекса Гуднайта-Уотлея [Атлас беспозвоночных..., 1968].

Исследуемая акватория была районирована в соответствии с принятой в гидробиологических исследованиях Волжско-Каспийского филиала ФГБНУ «ВНИРО» («КаспНИРХ»). Были выделены районы «Западный», «Центральный I», «Центральный II», «Глубоководный» (рисунок 1).



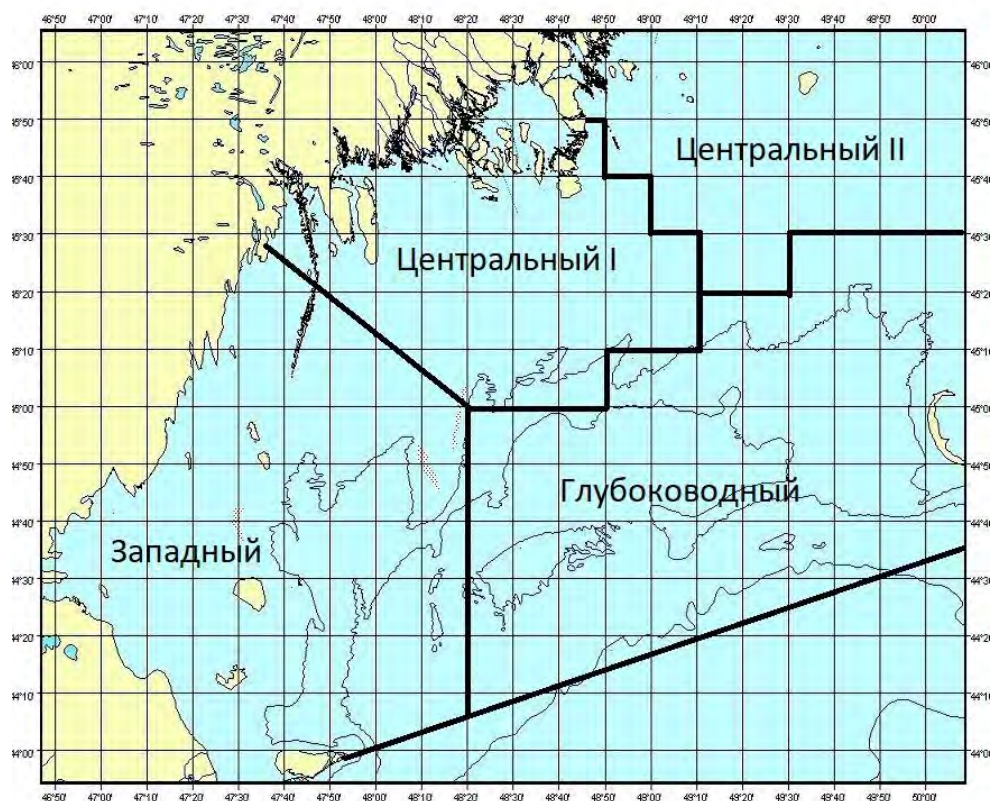


Рисунок 1 – Районирование западной части Северного Каспия

## Результаты

Численность олигохет изменялась от 10 до 4120 экз./м<sup>2</sup>. На фоне снижения численности бентоса от июня к октябрю в результате потребления ихтиофауной, количество олигохет (как слабо используемых бентических организмов [Каспийское море. Фауна..., 1985]) уменьшалось в течение летнего периода и увеличилось осенью.

За весь период наблюдений минимальные величины индекса Гуднайта-Уотля регистрировались в районе «Глубоководный» (табл. 1), в области, в наименьшей степени подверженной выносу органических веществ с волжским стоком. Максимальные значения зафиксированы в районе «Центральный II», области стока восточных рукавов р. Волги, что указывает на преимущественное поступление органического вещества по востоку.

Таблица 1 – Индекс Гуднайта-Уотля, %

Период	Район			
	Западный	Глубоководный	Центральный I	Центральный II
Июнь-июль	36	38	44	59
Июль-август	22	21	41	56
Сентябрь-октябрь	34	23	52	65



В июне-октябре в пределах района «Западный» средняя численность олигохет составила 501,67 экз./м<sup>2</sup>, при средней численности зообентоса 1376,3 экз./м<sup>2</sup>. Индекс Гуднайта-Уотля характеризовал воды акватории как «чистые» (июль-август) и «умеренно загрязненные» (июнь-июль, сентябрь-октябрь).

В районе «Центральный-I» при численности олигохет, составившей в среднем за весь период 755,67 экз./м<sup>2</sup>, и средней численности зообентоса 1668 экз./м<sup>2</sup>, индекс Гуднайта-Уотля соответствовал качеству вод «умеренно загрязненная» в летний период и «загрязненная» осенью.

В районе «Центральный-II» численность олигохет в среднем составила 918 экз./м<sup>2</sup>, бентоса – 1517 экз./м<sup>2</sup>. Таким образом, в течение всего исследуемого периода воды акватории по индексу Гуднайта-Уотля характеризовались как «загрязненные».

Средняя численность олигохет по району «Глубоководный» была равна 581,33 экз./м<sup>2</sup>, численность всех бентосных организмов – 1989 экз./м<sup>2</sup>. По индексу Гуднайта-Уотля воды акватории оценивались как «умеренно загрязненные» в июне-июле и как «чистые» в июле-августе и сентябре-октябре.

По всей исследуемой акватории выявлена тенденция снижения индекса Гуднайта-Уотля к июлю-августу, что обусловлено сезонной минерализацией органического вещества. В «Западном» и «Глубоководном» районах максимум индекса отмечен в июне-июле. Для районов «Центральный I» и «Центральный II» был характерен осенний пик. Наибольшей степенью загрязнения вод в течение всего исследуемого периода отличался район Центральный II. Значения индекса Гуднайта-Уотля на участках месторождений были минимальны в июне-июле и сентябре-октябре.

## Выводы

Таким образом, использование индекса Гуднайта-Уотля показало, что наиболее напряженная экологическая ситуация складывается в области стока восточных рукавов р. Волги. По всей исследуемой акватории выявлена тенденция снижения индекса Гуднайта-Уотля к июлю-августу, что обусловлено сезонной минерализацией органического вещества.

## Список литературы

1. Агатова А.И., Торгунова Н.И., Серебренникова Е.А., Духова Л.К. 2017. Пространственно-временная изменчивость органического вещества в водах Каспийского моря // Водные ресурсы. – Т. 46. – № 1. – С. 70-81.
2. Атлас беспозвоночных Каспийского моря / под ред. Я.А. Бирштейна. М.: Пищевая промышленность, 1968. – 414 с.
3. Батурина М.А., Лоскутова О.А. 2010. Олигохеты некоторых пресных водоемов Арктики // [Журнал Сибирского федерального университета. Биология](#). – Т. 3. – № 2. – С. 177-198.
4. Виленский В.Д., Даценко Ю.С. Микроэлементы в донных отложениях Учинского водохранилища: оценка изменений в бассейне Волжского источника водоснабжения // Водные ресурсы. – 1985. – № 4. – С. 128–135.
5. Дегтярева Л.В. Пространственное распределение органического вещества в донных отложениях Северного Каспия в зависимости от абиотических и биотических факторов среды // Естественные науки. – 2013. – № 2 (43). – С. 49-55.

6. Дегтярева Л.В., Кострыкина Т.А., Даирова Д.С., Кашин Д.В., Письменная О.А., Петренко Е.Л. [Отношение кольчатых и круглых червей к кислороду в западной части Северного Каспия](#). Вестник Астраханского Государственного Технического Университета. Серия: Рыбное хозяйство. – 2019. – № 1 (март). – С. 20-27.
7. Зинченко Т.Д., Головатюк Л.В., Абросимова Э.В., Промахова Е.В. Применение биотических идентификаторов для оценки качества поверхностных вод (на примере малых рек бассейна Нижней Волги) // Астраханский вестник экологического образования. – 2016. – № 3 (37). – С. 61-72.
8. Зыков И.Е., Ваулин Д.Е. Интегральная оценка численности макрозообентоса при определении индекса Гуднайта-Уитлея // Международный научно-исследовательский журнал. – 2016. – № 12 (54). – Ч. 1. – С. 22-24.
9. Каспийское море. Фауна и биологическая продуктивность / под ред. Е.А. Яблонской. М.: Наука, 1985. – 276 с.
10. Крылова Е.Н. Оценка качества воды и донных отложений Телецкого озера по составу и количеству олигохет // Мир науки, культуры, образования. – 2009. – № 1 (13). – С. 30-32.
11. Лебедева Н.В., Криволицкий Д.А., Пузаченко Ю.Г., Дьяконов К.Н., Алешенко Г.Н., Смуров А.В., Максимов В.Н., Тикунов В.С., Огуреева Г.Н., Котова Т.В. География и мониторинг биоразнообразия. М.: Издательство Научного и учебно-методического центра, 2002. – 432 с.
12. Ляшенко О.А. Биоиндикация и биотестирование в охране окружающей среды: учебное пособие. СПб: ГТУРП, 2012. – 67 с.
13. Мур Дж., Рамамурти С. Тяжелые металлы в природных водах: Контроль и оценка влияния: Пер. с англ. М.: Мир, 1987. – 288 с.
14. Немировская И.А. Углеводороды в океане (снег – лёд – вода – взвесь – донные осадки). М.: Научный Мир, 2004. – 328 с.
15. Попченко В.И. Малощетинковые черви. Флора и фауна водоемов Европейского Севера. Л.: Наука, 1988. – С. 51 – 58.
16. Романова Н.Н. Методические указания к изучению бентоса южных морей СССР. М.: ВНИРО, 1983. – 14 с.
17. Яблонская Е.А. Многолетние изменения биомассы разных трофических групп бентоса Северного Каспия // Труды ВНИРО. – 1975. – Т. CVIII. – С. 50-64.
18. Childress J.J. Are there physiological and biochemical adaptations of metabolism in deep-sea animals? // Trends in Ecology and Evolution. – 1995. – V. 10. – P. 30-36.
19. Hunt O.D. The food of the bottom fauna of the Plymouth. I. Marine Biol. Assoc. U. K. – 1925. – Vol. 13. – P. 560-599.
20. Nijboer R.C., Wetzel M.J., Verdonschot P.F.M. Diversity and distribution of Tubificidae, Naididae, and Lumbriculidae (Annelida: Oligochaeta) in the Netherlands: an evaluation of twenty years of monitoring data // Hydrobiology. – 2004. – V. 520. – P. 127-141.

УДК 574.5

Рубрика 34.35.33

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ФАУНЫ ДВУСТВОРЧАТЫХ МОЛЛЮСКОВ СУБЛИТОРАЛЬНОЙ И БАТИАЛЬНОЙ ЗОН КУРИЛЬСКИХ ОСТРОВОВ (АНАЛИЗ МАТЕРИАЛОВ ЭКСПЕДИЦИЙ 1948-2019 ГГ.)

PRELIMINARY RESULTS OF THE STUDY OF THE FAUNA OF BIVALVES IN THE SUBLITTORAL AND BATHYAL ZONES OF THE KURIL ISLANDS (ANALYSIS OF THE MATERIALS OF THE EXPEDITIONS 1948-2019)

**Лисицына Ксения Николаевна, Каменев Геннадий Михайлович**

*Национальный научный центр морской биологии им. А.В. Жирмунского» ДВО РАН, Владивосток*

**Lisitsyna Kseniya Nikolaevna, Kamenev Gennady Mikhailovich**

*A.V. Zhirmunsky National Scientific Center of Marine Biology Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences, Vladivostok*

Курильские острова – цепь островов, вытянутая в широтном направлении и пересекающая несколько климатических зон, уже многие десятилетия вызывают интерес у морских биологов (Кусакин, Тараканова, 1977; Лукин, 1979; Сиренко, 1993; Кусакин, Лукин, 1995). Они являются одним из центров видообразования в северо-западной Пацифике и одним из основных путей миграции морских организмов с азиатского континента на американский и обратно (Скарлато, 1981). Курильские острова связывают морские фауны южных и северных районов дальневосточных морей России, одновременно выполняя роль естественного барьера, разделяющего глубоководные экосистемы Охотского моря и Тихого океана. В результате взаимодействия вод холодных и теплых течений, широтной зональности островов, вулканизма и ряда других факторов здесь создаются крайне разнообразные условия обитания, которые оказывают большое влияние на состав и распределение донных животных Курильских островов, включая двустворчатых моллюсков (Лукин, 1979; Скарлато, 1981; Кусакин, Лукин, 1995).

Однако, несмотря на повышенный интерес исследователей и промысловиков к данному региону, в настоящее время фауна и распределение видов двустворчатых моллюсков Курильских островов наименее изучены по сравнению с остальными районами дальневосточных морей России. Из-за особенностей гидрологического и метеорологического режимов, в частности наличия сильных течений и большого числа штормовых дней, сложного характера рельефа дна, представленного достаточно крутыми каменистыми склонами, сбор зоологического материала в данном регионе сильно затруднен.

Наиболее обширные исследования дальневосточных морей СССР, начиная с 1949 г., были организованы Институтом океанологии АН СССР (ИО РАН) (Скарлато, 1981; Сиренко, 1993). В период с 1949 по 1953 гг. ИО РАН провел 11 экспедиций на НИС «Витязь» в северо-западную часть Тихого океана, в ходе которых было собрано большое число траловых и дночерпательных проб донной фауны в районе Курильских островов. Во время обработки экспедиционного материала, основной упор был сделан на изучение донных животных, собранных в глубоководных (свыше 5000 м) районах Тихого океана (абиссальные океанические равнины и желоба) (Беляев, 1989). Однако большая часть материалов по

двустворчатым моллюскам, собранных в районе Курильских островов на глубинах менее 5000 м, до последнего времени так и не были обработаны.

Помимо этого в июле-сентябре 1969-1971 гг. в район Большой Курильской гряды были организованы 3 совместных гидробиологических экспедиции Института Биологии моря ДВО РАН (ИБМ) и Тихоокеанского научно-исследовательского рыбохозяйственного центра (ТИНРО) на э/с «Крылатка» для исследования распределения кормовых объектов каланов в донных сообществах верхней сублиторали Курильских островов (Лукин, 1979; Сиренко, 1993). Всего в ходе этих экспедиции было выполнено 430 станций на 130 гидробиологических разрезах и собрано 1070 проб на глубинах до 40 м.

Впоследствии сотрудники ИБМ приняли участие в 13 самостоятельных или совместных с ТИНРО и Тихоокеанским институтом биоорганической химии (ТИБОХ) морских экспедициях, которые исследовали донную фауну различных районов Курильских островов до глубины 1000 м. Однако материалы по двустворчатым моллюскам из этих экспедиций в основном оставались неидентифицированными.

Единственной на сегодняшний день обобщающей работой, в которой освещены фауна и распределение двустворчатых моллюсков северо-западной части Тихого океана, включая Курильские острова, является монография О. А. Скарлато (1981). В нее вошли результаты обработки всех имевшихся на тот момент материалов по *Bivalvia* из района Курильских островов, хранившихся в коллекции Зоологического института АН СССР, в которой были наиболее представлены материалы, собранные на глубинах до 100-200 м. В данной работе было отмечено 129 видов двустворок в составе фауны Курильских островов.

Впоследствии рядом исследователей были опубликованы отдельные работы, посвященные описаниям 9 новых, как для науки, так и для региона Курильских островов видов (Каменев, Надточий, 2000; Kamenev, Nadtochy, 1998; Kamenev, 1999, 2001, 2002, 2004a, b, 2007; Amano, Lutaenko, 2004).

На данный момент нами обработаны обширные, ранее неидентифицированные материалы по *Bivalvia* из сублиторальной и батинальной зон (глубины 0-3000 м) Курильских островов, хранящиеся в коллекциях ИО РАН и Национального научного центра морской биологии ДВО РАН (ННЦМБ ДВО РАН). Всего нами было изучено 1118 проб, собранных 10 экспедициями ИО РАН (108 проб) (НИС «Витязь» 1948 - 1970 гг., НИС «Академик Мстислав Келдыш» 1986 г.) и 13 экспедициями (867 проб) ННЦМБ ДВО РАН (1969-2019 гг.), а также коллекционные материалы из музеев ННЦМБ ДВО РАН и Дальневосточного федерального университета (ДФУ).

В результате нами было обнаружено 140 видов двустворчатых моллюсков (часть видов, отмеченных О. А. Скарлато, в просмотренных нами сборах не было обнаружено). Среди них 17 видов (12 %) оказались новыми для фауны Курильских островов, из которых 1 вид - новым для фауны России (*Limatula attenuata* (Dall, 1916)), и 1 вид - новым для науки. Для 9 видов, которые ранее были обнаружены в районе Курильских островов в единичных пробах, нами был расширен ареал. Так, 4 вида (*Dermatomya tenuiconcha* (Dall, 1913), *Musculus impressus* (Dall, 1907), *Limopsis oliveri* (Amano & Lutaenko, 2004), *Kellia comandorica* (Scarlato, 1981)), которые ранее отмечались только у отдельных островов, были обнаружены на протяжении всей Курильской гряды. Помимо этого, для 13 видов двустворок был расширен диапазон вертикальной встречаемости. Всего в составе фауны *Bivalvia* Курильских островов нами было отмечено 11 эндемичных видов, что составляет около 7 % от общего числа видов.

Стоит отметить, что эти данные не являются окончательными, т.к. исследования в районе Курильских островов в основном проводились на глубинах до 1000 м, а также в глубоководных районах (свыше 5000 м). Так, из всех обработанных нами проб только 17

были собраны на глубине свыше 1000 м (практически все они были отобраны в ходе экспедиций ИО РАН на НИС «Витязь»), в основном на глубинах 2500-3000 м. Примечательно, что на этих станциях было обнаружено сравнительно небольшое число видов, в основном представителей нижнебатиальной (*Delectopecten vancouverensis* (J. F. Whiteaves 1893), *Macoma shiashkotanika* (O. A. Scarlato 1981)) и абиссальной фаун (*Malletia sp.*, *Tindaria sp.*, *Neilonella sp.*). Видовой состав двустворчатых моллюсков на данных глубинах резко отличается от такового на станциях, собранных в верхней батиали. Вероятно, на глубинах 1000-3000 м на склонах Курильских островов происходит смена относительно мелководной фауны двустворчатых моллюсков на глубоководную. Однако для выяснения более точной глубины расположения границы смены фаун необходимы дополнительные исследования донной фауны нижней батиали Курильских островов.

Результаты нашей работы показывают, что фауна двустворчатых моллюсков Курильских островов на глубинах до 500 м уже изучена достаточно хорошо. В настоящее время, наибольший интерес представляет исследование глубин от 500 до 3000 м (нами обработано всего около 70 проб, собранных на этих глубинах), где ожидаются находки новых для науки и фауны России видов, многие из которых могут оказаться эндемиками данного региона.

### Финансирование

Данное исследование было поддержано проектом «Фундаментальные проблемы изучения и сохранения глубоководных экосистем в потенциально рудоносных районах Северо-Западной части Тихого океана», соглашения №075-15-2020-796 (грант № 13.1902.21.0012).

### Список литературы

1. Беляев, Г. М. Глубоководные океанические желоба и их фауна. Москва: Наука, 1989. 255 с.
2. Каменев, Г. М., Надточий, В. А. *Mendicula ferruginosa* (Forbes, 1844) (Bivalvia, Thyasiridae) из дальневосточных морей России // *Ruthenica, Russian Malacological Journal*. 2000. Т. 10. Вып. 2. С. 147-152.
3. Кусакин, О.Г., Тараканова, Т.Ф. Макробентос литорали острова Кунашир // Фауна прибрежных зон Курильских островов. Москва: Наука, 1977. С. 15- 48.
4. Кусакин, О. Г., Лукин, В. И. Подводный мир Курил. Владивосток: Дальнаука, 1995. 205 с.
5. Лукин, В. И. Гидробиологические исследования верхней сублиторали Большой Курильской гряды // Биология шельфа Курильских островов / под ред. О. Г. Кусакина. Москва: Наука, 1979. С. 5-10.
6. Сиренко, Б. И. Распределение бентоса в некоторых участках материкового склона Курильской гряды. Фауна материкового склона Курильской островной гряды // Исследование фауны морей. 1993. Т. 46 (54). С. 5–44.
7. Скарлато, О. А. Двустворчатые моллюски умеренных вод северо-западной части Тихого океана // Определители по фауне СССР, издаваемые Зоологическим институтом АН СССР. Вып. 126. 1981. 479 с.
8. Amano, K., Lutaenko, K. A. New fossil and Recent *Limopsis* (Bivalvia) from the Northwestern Pacific // *Veliger*. 2004. Vol. 47. N 1. P. 13-20.

9. Kamenev, G. M., Nadtochy, V. A. Two new species of *Lampeia* (Bivalvia: Thraciidae) from the Northwestern Pacific, with notes on *Lampeia adamsi* (MacGinitie, 1959) // *Veliger*. 1998. Vol. 41. P. 259-273.
10. Kamenev, G. M. Species of *Macoma* (Bivalvia: Tellinidae) from the Pacific coast of Russia, previously described as *Abrina* (Bivalvia: Semelidae) // *Malacologia*. 1999. Vol. 41. P. 209-230.
11. Kamenev, G. M. *Conchocele bisecta* (Conrad, 1849) (Bivalvia: Thyasiridae) from cold-water methane-rich areas of the Sea of Okhotsk // *Veliger*. 2001. Vol. 44. N. 1. P. 84-84.
12. Kamenev, G. M. Genus *Parvithracia* (Bivalvia: Thraciidae) with descriptions of a new subgenus and two new species from the Northwestern Pacific // *Malacologia*. 2002. Vol. 44. P. 107-134.
13. Kamenev, G. M. New species of the genus *Abrina* (Bivalvia: Semelidae) from the Commander and Kuril Islands // *Malacologia*. 2004a. Vol. 46. P. 157-168.
14. Kamenev, G. M. New species of the genus *Kellia* (Bivalvia: Kelliidae) from the Commander Islands, with notes on *Kellia comandorica* Scarlato, 1981// *Malacologia*. 2004b. Vol. 46. P. 57-71.
15. Kamenev, G. M. Genus *Samacar* Iredale, 1936 (Bivalvia: Arcidae) with descriptions of a new subgenus and two new species from the Northern Pacific // *Malacologia*. 2007. Vol. 39. P. 297-320.



УДК 57.014

Рубрика 34.15.59

**ВЫДЕЛЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ВЕЩЕСТВ ФИТОПЛАНКТОНА КУРШСКОГО ЗАЛИВА БАЛТИЙСКОГО МОРЯ, ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ В КАЧЕСТВЕ НОВЫХ АКТИВНЫХ ФАРМАЦЕВТИЧЕСКИХ СУБСТАНЦИЙ**

**ISOLATION AND STUDY OF PHYTOPLANKTON SUBSTANCES OF THE CURONIAN LAGOON OF THE BALTIC SEA POTENTIAL AS NEW ACTIVE PHARMACEUTICAL SUBSTANCES**

**Смирнов Алексей Николаевич<sup>1,2</sup>, Александров Сергей Валерьевич<sup>4</sup>, Буччони Микела<sup>2</sup>, Ламбертуччи Катя<sup>2</sup>, Маруччи Габриела<sup>2</sup>, Найданов Дмитрий Александрович<sup>3,4</sup>, Щербаков Сергей Александрович<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> СПбГУ, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> УНИКАМ, Камерино, Италия

<sup>3</sup> Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининград, Россия

<sup>4</sup> Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия

**Smirnov Aleksei Nikolaevich<sup>1,2</sup>, Aleksandrov Sergei Valeryevich<sup>4</sup>, Buccioni Michela<sup>2</sup>, Lambertucci Catia<sup>2</sup>, Marucci Gabriela<sup>2</sup>, Naidanov Dmitry Aleksandrovich<sup>3,4</sup>, Shcherbakov Sergei Aleksandrovich<sup>3</sup>,**

<sup>1</sup> SPbU, Saint-Petersburg, Russia

<sup>2</sup> UNICAM, Camerino

<sup>3</sup> Immanuel Kant Federal Baltic University, Kaliningrad, Russia

<sup>4</sup> Shirshov Institute of Oceanology, RAS, Moscow, Russia

## **Введение**

Поиск новых терапевтических средств против онкологических и нейродегенеративных заболеваний является актуальной задачей фармацевтики и внимание снова обращено на вещества растительного происхождения. Показано, что в метаболизме диатомовых водорослей участвуют как фитостерины, так и производные стероидов бактериального и животного происхождения. Эта особенность делает фитопланктон источником целых библиотек новых соединений на роль лигандов к мембранным рецепторам. Куршский залив Балтийского моря отличается высокой концентрацией биомассы фитопланктона и видовым разнообразием. Эти факторы делают акваторию перспективной для поиска биологически активных веществ.

Не так давно было показано, что некоторые классы веществ растительного происхождения имеют структурное сходство с некоторыми медиаторами человеческого организма. К таким классам, относятся, например, фитостерины, являющиеся структурными гормонимиметиками, в частности эстрогена и могут выступать агонистами или ингибиторами соответствующих рецепторов, потенциально позволяя их использовать в качестве лекарств, а также алкалоиды [1]. Только в последнее десятилетие началось *in vitro*

изучение биологически активных веществ, содержащихся в морской биомассе и на данный момент, требует большой экспериментальной работы [2]. Сапонины структурно состоят из агликона и углеводной части [3]. Получены данные о токсичном, апоптотическом, гемолитическом действии сапонинов на клетки *in vitro*, что обусловлено поверхностно-активными свойствами сапонинов, которые обеспечиваются наличием углеводной части. Агликон сапонинов, так же, как и фитостеринов имеет стериновый скелет, однако иной набор заместителей. Поэтому исследование агликонов самих по себе наряду с фитостеринами является перспективным. Выделение агликона осуществляется количественно путем сапонификации - кислотного гидролиза. Согласно натурным исследованиям и спутниковым данным распределения хлорофилла "а", Куршский залив Балтийского моря характеризуется как гиперτροφный водоем и относится к акваториям с наибольшей биомассой фитопланктона, достигающей уровня "гиперцветения" вод, особенно в условиях потепления климата [4,5]. Это позволяет собрать достаточно большое количество биоматериала для проведения количественных исследований выделяемых фракций на предмет биологической активности в отношении модельных клеточных линий человека.

Качественное содержание флавоноидов и других полифенолов, а также подбор составов подвижных фаз для препаративной жидкостной хроматографии может быть осуществлено методом тонкослойной жидкостной хроматографии [6,7]. При этом, гидролиз и визуализацию сапонинов с отделением агликона можно проводить *in situ*, используя 10% серную кислоту в качестве одной из подвижных фаз и проявителя одновременно [8].

Настоящее исследование направлено на поиск новых соединений, обладающих потенциальной биологической активностью в отношении раковых клеточных линий человека и способных влиять на развитие нейродегенеративных заболеваний. К таким соединениям относятся изофлавоны, фитостерины, алкалоиды и иные соединения биологического происхождения, способные имитировать лиганды к определенным рецепторам.

## Материалы и методы

Отбор образцов проводился с поверхностного слоя (0 м) с помощью батометра. Предварительная пробоподготовка осуществлялась в тот же день, по прошествии не более 6-и часов с момента отбора. Отбор проб производился с поверхности Куршского залива 2-10 июля 2023 со следующих станций: # 1 [54°57'73, 20°33'33], 2 [54°58'20, 20°49'80], 4 [54°55'00, 21°02'15], 7 [55°04'20, 20°48'00], 9 [55°03'30, 21°06'00], 11л [55°01'02, 20°42'00], 407 [55°15'13, 20°86'07], 439 [55°16'25, 20°84'89], 440 [55°01'34, 20°62'07], ФМТП\_8 [NA]. Концентрирование проб для анализа с помощью ТСХ осуществляли 1 л взеси седиментацией центрифугированием в пробирках на 50 мл по 5 мин при 3.500 об/мин. Осадок высушивали на бытовой сушилке при 50 °С, количественно объединяли и консервировали в этаноле для последующей транспортировки с хладэлементами.

Заморозку образцов для последующего культивирования осуществляли в 1 мл взеси, концентрированной с 50 мл, содержащей 5% ДМСО и 3х фертилизатор по Гилларду при -20 °С, транспортировали в криобоксе.

Для сопоставления массы сухих взвесей с концентрацией хлорофилла "а", являющегося корреляционным показателем биомассы фитопланктона использовали стандартную методику ГОСТ 17.1.04.02-90 [9]. Пробы воды объемом 30-50 мл фильтровали через мембранные фильтры «МФАС-МА-6» с диаметром пор 0,3 мкм. Затем фильтр с фитопланктоном помещали в 90% раствор ацетона. Содержание в планктоне хлорофилла «а» определяли по стандартной методике спектрофотометрическим методом. Мембранный фильтр с концентрированным на нем фитопланктоном вместе с ацетоновым экстрактом помещали в

пробирку, гомогенизировали и центрифугировали в течение 10 минут со скоростью 7000 об./мин для удаления светорассеивающей взвеси. Ацетоновую вытяжку с пигментами переносили в кварцевую кювету и проводили измерения на спектрофотометре. Оптическую плотность измеряли на 4 длинах волн: 750, 664, 647, 630 нм. Расчет концентрации хлорофилла «а» производили по стандартным формулам.

Скрининг на наличие потенциально биоактивных веществ осуществляли методом градиентной тонкослойной бумажной хроматографии (ТСХ) на пластинах Сорбфил силикагель 60 с использованием хлороформа, метанола и воды (65:35:10) в качестве подвижной фазы, а также концентрированной серной кислоты и метанола (10:90) в качестве второй подвижной фазы в некоторых случаях в с целью качественного определения наличия флавоноидов и сапонинов в образце с сапонификацией подвижной фазой. Также осуществляли качественный анализ на флавоноиды пробой Шианда (металлическим магнием и соляной кислотой) [10]. Индивидуальные полосы, активные в ультрафиолетовом диапазоне, были экстрагированы в 100 мкл этанола из силикагеля, извлеченного с пластины, доведены до 500 мкл метанолом, отфильтрованы через 0.45 мкм фильтры из политетрафторэтилена и проанализированы методом квадрупольной масс-спектрометрии в режимах позитивной и негативной ионизации.

В качестве среды для культивации в лабораторных условиях готовили искусственную пресную воду. Смесь 100% солевых стоковых растворов была доведена стерилизованной дистиллированной водой до расчетной солености в 1 промилле, соответствующей средней солености Куршского залива, после чего к полученной искусственной среде был добавлен фертилизатор F/2 по Гилларду, таким образом достигая примерно двукратно большей концентрации биогенов в среде по отношению к средней концентрации в период цветения (5.25 мг/л - общий азот, 0.75 мг/л - общий фосфор при соотношении 7:1 в заливе; 12.35 мг/мл - общий азот, 1.123 - общий фосфор в фертилизаторе F/2 по Гилларду, согласно спецификации). Первичную наработку биомассы после разморозки криовиал проводили в колбах Эрленмейера при перемешивании на магнитной мешалке в условиях стерильного помещения с пассивным газообменом. Световой цикл 14/10 осуществляли с помощью лампы от инкубатора AquaMedic plankton light reactor 2. Спустя неделю, детектируемую в микроскоп культуру перенесли в сам инкубатор, предварительно стерилизованный 70% этанолом и ультрафиолетом в объем среды 4 л. Спустя 10 дней с помощью подсчета клеток в камере Ньюбауэра и фотометрии на хлорофилл зафиксировали окончание логарифмической фазы роста с популяцией клеток 1 млн/мл на плато.

Полученная суспензия объемом 3.5 литра была упарена на роторном испарителе при 50 °С до сухого остатка массой 8.2879 г, представляющим собой смесь биомассы и солей среды культивирования. Масса чистой биомассы фитопланктона составила 1.2879 г. Сухой остаток был ресуспендирован в воде в объеме 50 мл и гомогенизирован в течение 20 сек диспергатором ИКА Т8.01 и 30 минут на ультразвуковой бане. Взвесь центрифугировали при 10000 об/мин в течение 20 минут, супернатант декантировали для анализа, осадок сушили в сушильном шкафу при 50 °С, после чего таким же образом экстрагировали 80% метанолом, 90% этанолом и дихлорметаном. Экстракцию микро- и макрофитов в полевых условиях осуществляли аналогичным образом, за исключением этапа концентрирования, который осуществлялся путем центрифугирования при 3500 об/мин по 5 мин водных проб. Осадок сушили, консервировали в этаноле и транспортировали в лабораторию, где сушили вновь для оценки массы седимента перед экстракцией.

Макрофиты сушили, измельчали в агатовой ступке и так же консервировали этанолом для последующей транспортировки. В лабораторных условиях производили сушку при 50 °С для определения сухой биомассы, после чего проводили экстракцию аналогично фитопланктону.

## Результаты и обсуждение

Тонкослойная жидкостная хроматография экстрактов водных взвесей в 80% MeOH и 90% EtOH показала наличие до 7-и отдельных полос, возбуждение которых при 365 нм приводит к синей флуоресценции (Рис 1.А). Повторная хроматография тех же пластин с 10% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>/MeOH с последующей просушкой при 115 С по методу не привела к проявлению окраски, характерной для изофлавонов и агликонов сапонинов. Период отбора проб в начале июля 2023 г. характеризовался значительно более низкими концентрациями хлорофилла "а" (19 - 62 мкг/л, в среднем 41 мкг/л) по сравнению с периодом "гиперцветения" воды в Куршском заливе (конец июля - сентябрь), для которых характерны концентрации хлорофилла более 75-100 мкг/л (до 120-150 в восточной части) [4, 5], поэтому возможно не все классы соединений представлены в данный период.

Результаты масс-спектрометрии в режиме положительной ионизации (ESI+), полученного в результате тонкослойной бумажной хроматографии экстракта, обладающего флуоресценцией в синей области при возбуждении на 365 нм выявили пики m/z 122, 155, 327.3, 349.1, 372.2, 393.2, 416.2, 437.2, 460.2, 481.2. Первые два пика по всей видимости принадлежат никотинамиду [M+H] и [M+Na], структура остальных соединений пока не установлена и требует дополнительной очистки хроматографическим разделением внутри класса, однако по совокупности качественных данных (способ экстракции, подвижность в ТСХ и наличие синей флуоресценции при возбуждении на 365 нм) можно отнести эти соединения к классу алкалоидов. Этот класс соединений растительного происхождения также обладает структурной схожестью со многими метаболитами человека и аффинностью к рецепторам, в частности, аденозина и допамина (например кофеин).

Четкой зависимости между количеством/интенсивностью проявленных полос и концентрацией хлорофилла "а" на станции в период исследований не наблюдалось. Можно особо отметить станцию 11л, в экстракте с которой проявилось 6 разделенных полос (концентрации экстрактов, наносимых на ТСХ-пластину были нормированы на исходные массы сухих остатков). Возможно, таким же образом, как качественное определение изофлавонов и сапонинов сильно зависит от видового состава, там же целесообразно искать корреляцию и с проявленными полосами алкалоидов. Экстракты, полученные пропусканием 10 литров взвеси со станций 440, 439' из содержимого стакана сети Апштейна (50 мл) (Рис 1.А. "зоо"), показали отсутствие полос алкалоидов на достаточном для детектирования уровне при анализе нормированных объемов экстрактов, что указывает на то, что именно фитопланктон является их источником.

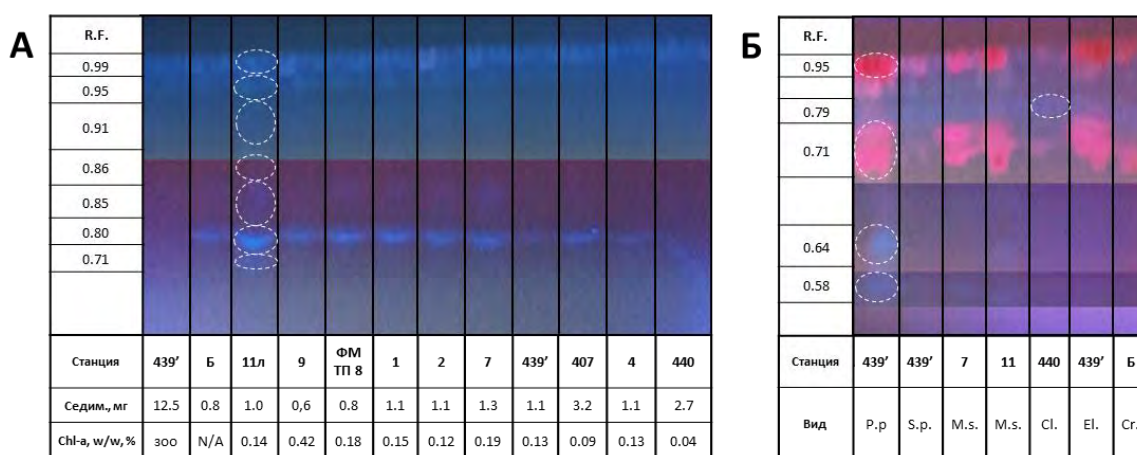


Рисунок 1. Пример хроматограмм при возбуждении 365 нм, ПФ CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>:MeOH:H<sub>2</sub>O = 65:35:10. А. Экстракты взвесей со станций Куршского залива; Б. Экстракты макрофитов Куршского залива; R.F. - retention factor (фактор удержания) "зоо" - фракция взвеси,

полученная из планктонной сети; P.p. - *Potamogeton perfoliatus*; S.p. - *Stuckenia pectinata*; M.s. - *Myriophyllum spicatum*; Cl. - *Cladophora*; El. - *Elodea*; Cr. - *Ceratophyllum*;

Согласно литературным данным, в количестве, достаточном для качественного анализа сапонины продуцируют виды *Coscinodiscus wailesii* и *Phaedactylum tricorntutum*, а флавоноиды - *Cryptomonas marina*, *Dunaliella tertiolecta*. Использование методов качественного анализа на сапонины и изофлавоны (Реагент Шинода и проявка ТСХ пластин в 10% серной кислоте) экстрактов взвесей из воды Куршского залива наличия таковых не выявила, из чего можно сделать предположение, что ни перечисленных в литературе, ни каких-либо иных видов, являющихся продуцентами этих двух классов соединений в изученных точках залива не обитает. Нужно отметить, что соотношение интенсивностей между синей эмиссией и красной хлорофилла, а также количество проявленных синих полос значительно ниже, чем у тотальных экстрактов фитопланктона с точек отбора, а где-то они вообще не проявлены, что указывает на перспективность изучения отдельных видов фитопланктона на предмет содержания различных алкалоидов. Среди прибрежных станций (407, 439' и 440) наиболее проявлен пик флуоресценции с R.F. 0.80 у станции 407. Если рассматривать идентифицированный видовой состав полевых образцов, то наибольшая разница между станциями заключается в представленности видов *Actinocyclus normanii* и *Microcystis sp.* в количестве 42.97% суммарной биомассы для станции 407, 20.95% для станции 439' и 2.26% для станции 440 (присутствие этих таксонов положительно скоррелировано относительно друг друга).

Экстракты макрофитов, исследованные по тем же методикам показали помимо четкого разделения хлорофилла "а" и "б", основанного на различной растворимости этих форм в полярных растворителях (R.F. 0.71 и 0.95), также показали присутствие соединений, способных к возбуждению флуоресценции при экспозиции 365 нм (Рис 1.Б). Для одного из доминирующих видов в прибрежной зоне вида макрофитов рдеста пронзеннолистного (*Potamogeton perfoliatus* L.) установлено наличие двух полос синей флуоресценции. Согласно литературным данным, общий экстракт данного вида проявил антиоксидантную активность в энзиматическом тесте, что указывает на перспективность дальнейших исследований уже на клеточных монокультурах и определении индивидуальных действующих веществ [11].

Среди жизнеспособных видов после разморозки криовиалы со станции 440 спустя три недели хранения идентифицированы *Crucigenia quadrata*, *Cyanodictyon sp.* (предположительно) *imperfectum* и *Aphanothece sp.* (на 5-10-й дни культивирования). После переноса небольшой клеточной массы в инкубатор Aqua Medic 2 планировалось проводить ступенчатую очистку индивидуальных культур, однако воспроизводимый отбор и исследование проб показало, что через неделю от начала культивирования, в инкубаторе отсутствовали следы других культур или контаминации, кроме *Aphanothece sp.*. Хроматограммы, снятые в различных условиях 80% экстракта с сухой массы представлены на рис. 2. Детектируется каротин (RF 0.90) хлорофилл (R.F. 0.78), феофитин (RF 0.76), ксантины и каротиноиды (RF 0.75). Экспозиция в ультрафиолете (365 нм) показала наличие еще двух полос (RF 0.02 и 0.19), которые могут относиться как к алкалоидам, так и к активным в УФ флавоноидам, при этом полоса с R.F. 0.02 может относиться к сапонидам. Сапонины в использованной подвижной фазе остаются неподвижными, при этом проявка метанольным раствором серной кислоты также показала наличие веществ на старте, а использование того же раствора в качестве подвижной фазы с последующей проявкой привело к исчезновению полосы, что характерно для углеводов, в то время как флуоресцентными свойствами той же полосы может обладать агликон сапонины.



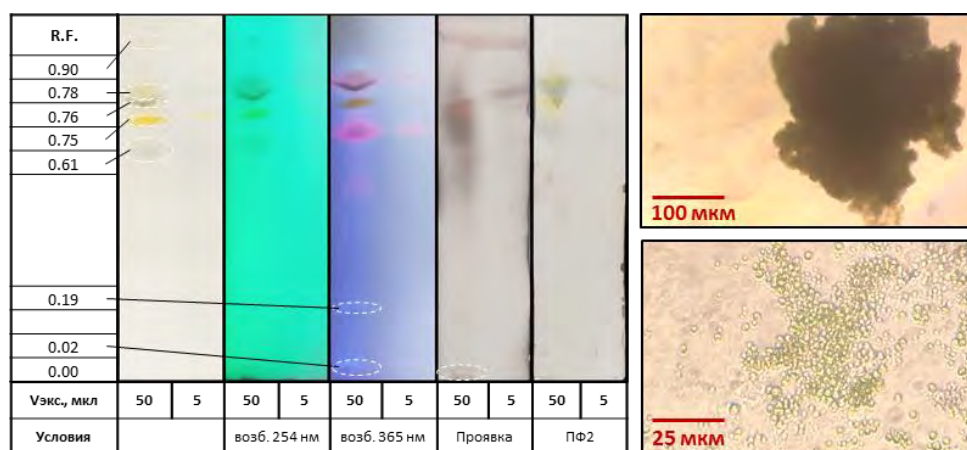


Рисунок 2. Пример хроматограммы экстракта *Aphanothece sp.*. ПФ  $\text{CH}_2\text{Cl}_2:\text{MeOH}:\text{H}_2\text{O} = 65:35:10$ ; ПФ2: 10%  $\text{H}_2\text{SO}_4/\text{MeOH}$  использован в качестве второй подвижной фазы после первой хроматографии с последующей проявкой при 115 °С в течение 15 минут; Проявка: опрыскивание пластины 10%  $\text{H}_2\text{SO}_4/\text{MeOH}$  с последующей проявкой при 115 °С в течение 15 минут. Справа - оптические микрофотографии культуры на предметном стекле (100x сверху справа и 400x снизу справа).

Масс-спектрометрический анализ экстракта наработанной в лабораторных условиях монокультуры показал присутствие предположительно 7-гидроксиизофлавона  $m/z$  238 в режиме позитивной ионизации. Данное уже соединение показало противовирусную активность, а его производные - также антибактериальную и антиоксидантную [12–14]. Идентификация и выделение других веществ в достаточном для биологических исследований количестве потребует наработки большего объема биомассы и исследований.

## Заключение

Исследование общих экстрактов взвесей Куршского залива Балтийского моря позволило получить данные о содержании биологически активных веществ фитопланктона различных областей, при этом было обнаружено до 7-и отдельных полос, которые при возбуждении на длине волны 365 нм проявляли синюю флуоресценцию и классифицированы как алкалоиды. Повторная хроматография, а также отдельный качественный анализ с использованием 10%  $\text{H}_2\text{SO}_4/\text{MeOH}$  не привела к обнаружению окраски, характерной для изофлавонов и агликонов сапонинов, что указывает на отсутствие этих классов соединений в исследованных пробах в детектируемом количестве, и, в свою очередь, видов, продуцирующих эти соединения в большом количестве. Наблюдаемые полосы алкалоидов не имели четкой зависимости от концентрации хлорофилла "а" в воде, при этом на станции 11л было обнаружено максимальное разнообразие соединений.

Экстракты из макрофитов также показали наличие некоторых соединений, способных к флуоресценции при экспозиции 365 нм, в частности высокое содержание в *Potamogeton perfoliatus* (Рдест пронзеннолистный). Исследование культур *Aphanothece sp.* выявило наличие двух полос, которые могут быть связаны с алкалоидами или активными в УФ флавоноидами, помимо каротина, хлорофилла и феофитина. Масс-спектрометрический анализ этой монокультуры показал присутствие 7-гидроксиизофлавона, который имеет потенциал для биологических исследований.

В целом, результаты исследования указывают на наличие алкалоидов в исследованных образцах фитопланктона и макрофитов Куршского залива, а также возможность успешной



транспортировки и культивации монокультур с наработкой веществ в лабораторных условиях для дальнейших исследований. Однако, для полной идентификации и изучения этих соединений потребуются дополнительная работа, включая больший объем биомассы и целевые анализы *in vitro*.

Результаты предлагаемого исследования могут помочь идентифицировать соединения-кандидаты на роль новых активных компонентов фармацевтических субстанций, которые в перспективе можно нарабатывать в линиях фитопланктона исследованной акватории наподобие используемых в биотехнологических компаниях клеточных линиях млекопитающих, либо синтезировать химическим путем.

### **Благодарность**

Авторы благодарят Екатерину Бубнову и Кречика Виктора за техническую поддержку при осуществлении работ, помощь при оформлении тезисов, а также Марику Герб за помощь при идентификации макрофитов.

### **Финансирование**

Исследование выполнено в рамках Плавучего университета БФУ.

### **Список литературы:**

1. Ohnemus U., Uenalan M., Inzunza J., Gustafsson J.Å., Paus R. The Hair Follicle as an Estrogen Target and Source // *Endocr Rev. Oxford Academic*, 2006. Vol. 27, № 6. P. 677–706.
2. Serventi L., Chitchumroonchokchai C., Riedl K.M., Kerem Z., Berhow M.A., Vodovotz Y., Schwartz S.J., Failla M.L. Saponins from soy and chickpea: Stability during beadmaking and *in vitro* bioaccessibility // *J Agric Food Chem. American Chemical Society*, 2013. Vol. 61, № 27. P. 6703–6710.
3. Moses T., Papadopoulou K.K., Osbourn A. Metabolic and functional diversity of saponins, biosynthetic intermediates and semi-synthetic derivatives // *Crit Rev Biochem Mol Biol. Crit Rev Biochem Mol Biol*, 2014. Vol. 49, № 6. P. 439–462.
4. Александров С. В. Влияние климатических изменений на уровень эвтрофирования Куршского залива // *Вестник Российского государственного университета им. И. Канта*. 2010. № 1. С. 49-57.
5. Aleksandrov S., Krek A., Bubnova E., Danchenkov S. Eutrophication and effects of algal bloom in the south-western part of the Curonian Lagoon alongside the Curonian spit // *Baltica*. 2018. Vol. 31, No. 1. P. 1-12.
6. Franke A.A., Custer L.J., Wang W., Shi C.Y. HPLC analysis of isoflavonoids and other phenolic agents from foods and from human fluids // *Proc Soc Exp Biol Med. Proc Soc Exp Biol Med*, 1998. Vol. 217, № 3. P. 263–273.
7. Kagan I.A., Flythe M.D. Thin-layer chromatographic (TLC) separations and bioassays of plant extracts to identify antimicrobial compounds // *J Vis Exp. J Vis Exp*, 2014. № 85.

8. Krishnamurthy P., Tsukamoto C., Yang S.H., Lee J.D., Chung G. An improved method to resolve plant saponins and sugars by TLC // *Chromatographia*. Springer, 2012. Vol. 75, № 23–24. P. 1445–1449.
9. ГОСТ 17.1.4.02-90. Вода. Методика спектрофотометрического определения хлорофилла - а [Электронный ресурс]. URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/10583/> (дата обращения: 20.09.2023).
10. Vacek J., Klejdus B., Lojková L., Kubán V. Current trends in isolation, separation, determination and identification of isoflavones: a review // *J Sep Sci*. J Sep Sci, 2008. Vol. 31, № 11. P. 2054–2067.
11. Rezaq S., Mahmoud M.F., El-Shazly A.M., El Raey M.A., Sobeh M. Anti-Inflammatory, Antipyretic, and Analgesic Properties of Potamogeton perfoliatus Extract: In Vitro and In Vivo Study // *Molecules*. Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI), 2021. Vol. 26, № 16.
12. Pereira R., Pereira A.L., Ferreira M.M., Fontenelle R.O.S., Saker-Sampaio S., Santos H.S., Bandeira P.N., Vasconcelos M.A., Queiroz J.A.N., Braz-Filho R., Teixeira E.H. Evaluation of the antimicrobial and antioxidant activity of 7-hydroxy-4', 6-dimethoxy-isoflavone and essential oil from *Myroxylon peruiferum* L.f // *An Acad Bras Cienc. Academia Brasileira de Ciências*, 2019. Vol. 91, № 2. P. e20180204.
13. Singh H., Pratap R. A convenient one-pot synthesis of 7-hydroxy-isoflavones from resorcinol with substituted phenylacetic acids // *Tetrahedron Lett*. Pergamon, 2006. Vol. 47, № 46. P. 8161–8163.
14. Wang H.Q., Meng S., Li Z.R., Peng Z.G., Han Y.X., Guo S.S., Cui X.L., Li Y.H., Jiang J.D. The antiviral effect of 7-hydroxyisoflavone against Enterovirus 71 in vitro // *J Asian Nat Prod Res*. J Asian Nat Prod Res, 2013. Vol. 15, № 4. P. 382–389.

УДК 595.36

Рубрика: 34.35.33

ТРОФИЧЕСКАЯ ЭКОЛОГИЯ ИНТРОДУЦИРОВАННОГО КАМЧАТСКОГО КРАБА (*PARALITHODES CAMTSCHATICA*) ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БАРЕНЦЕВОМОРСКОЙ ПОПУЛЯЦИИ

TROPIC ECOLOGY OF THE INTRODUCED RED KING CRAB (*PARALITHODES CAMTSCHATICA*) IN THE EASTERN PART OF THE BARENTS SEA

**Манушин Игорь Евгеньевич, Блинова Дарья Юрьевна**

*Полярный филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ПИНРО» им. Н. М. Книповича)*

**Manushin Igor Evgenyevich, Blinova Darja Yuryevna**

*Polar branch of the FSBSI “VNIRO” (PINRO named after N. M. Knipovich)*

Камчатский краб заселялся в Баренцево море, в основном, в 1960-е годы в Кольский залив (33° восточной долготы). В начале 1990-х краб стал массово попадать в орудия лова недалеко от места выпуска, а ещё через 10 лет – и восточнее 38° восточной долготы. Как было показано, взрывной рост численности акклиматизированного крупного хищника привёл к быстрой нехватке пищевых ресурсов в области первоначального распространения краба и, следовательно, к его экспансии на западном и восточном направлениях (Камчатский краб..., 2021). Особый интерес представляет заселение крабом юго-восточной, мелководной, части моря. В силу сложившихся популяционных особенностей, взрослые крабы, и особенно самцы, после линьки и спаривания уходят на большие глубины для откорма. Считается, что это помогает снизить конкуренцию за пищевые ресурсы между молодью и половозрелой частью популяции и избежать выедания крупными самцами своей молоди. Поэтому отход от классической модели миграций и заселение крупными самцами юго-восточных мелководий позволяет по-новому оценить адаптационные возможности камчатского краба. Одной из важнейших характеристик для понимания происходящих изменений в баренцевоморской популяции краба, является его питание.

Желудки крабов отбирались, в основном, в ходе траловой летне-осенней съёмки, когда взрослые особи мигрировали на места откорма. Пробы отбирались на акватории восточнее 38° восточной долготы с 2001 г., когда крабы массово появились на востоке своего баренцевоморского района обитания. Из-за специфики съёмок пробы отбирались не каждый год. Всего было собрано 792 желудка (табл. 1). Размеры самок колебались от 66 мм по ширине карапакса до 192, самцов – от 89 до 241 мм.

Таблица 1. Объём проанализированного материала по питанию камчатского краба в восточной части баренцевоморского района распространения.

Год	Количество крабов, экз.		
	Самки	Самцы	Всего
2001	18	48	66
2002	1	20	21

2003	65	84	149
2004	18	32	50
2005	11	27	38
2006	41	59	100
2007	10	58	68
2009	17	29	46
2011	22	46	68
2020	30	75	105
2021	15	66	81

При рассмотрении питания камчатского краба в восточной части его баренцевоморского района можно выделить два периода: до 2008 г. и после него. Первый характеризуется относительно низкими значениями общего индекса наполнения желудка (ОИНЖ) – в основном менее 8 продецимилле, а второй – его более высокими значениями (Рис. 1а). Кроме того, в первый период отмечалось наибольшее количество пустых желудков, достигшее максимума в 2006 г., когда более четверти всех желудков не содержали пищи. Следует отметить, что высокое значение ОИНЖ и снижение количества пустых желудков в 2004 г. произошло из-за увеличения потребления крабом отходов рыбного промысла (Рис. 1б). Так как камчатский краб является хищником, то потребление нехарактерной для него пищи вызвано, очевидно, нехваткой жертв – представителей бентоса. Косвенным подтверждением этому служит и увеличение количества пустых желудков. Самое низкое значение ОИНЖ, самая высокая доля пустых желудков и почти полное отсутствие рыбных отходов в питании краба приходится на 2006 г., когда с начала года район массового откорма камчатского краба был закрыт для тралового промысла, что привело к существенному сокращению падающих на дно рыбных отходов.

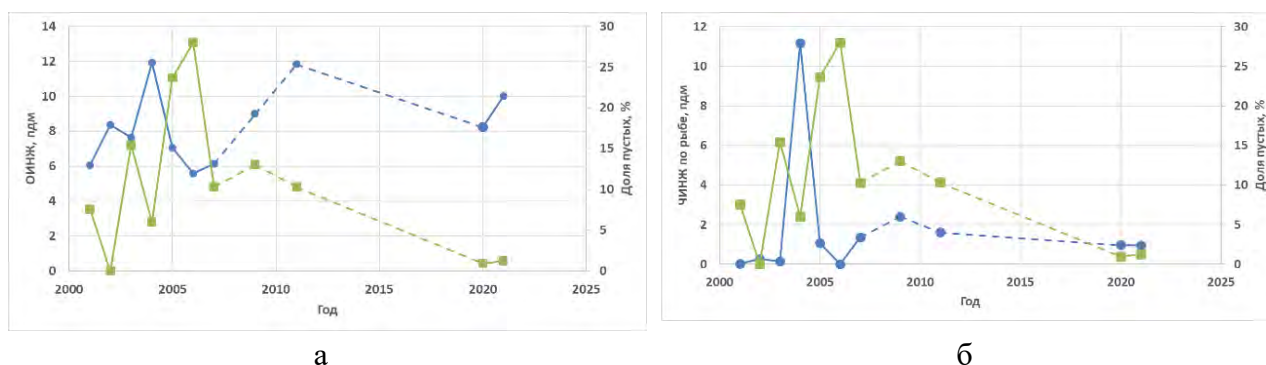


Рис. 1. а – общий индекс наполнения желудка (синий) и доля пустых желудков (зелёный), б – частный индекс наполнения желудка по рыбе (синий) и доля пустых желудков (зелёный) в восточной части баренцевоморского района в 2001 – 2021 гг.

После 2008 г. доля пустых желудков стала уменьшаться, ОИНЖ превысил 8 продецимилле, а доля рыбных отходов не превышала 2 продецимилле. Продолжающийся рост численности краба и сокращающееся количество его жертв вынудило интродуцента сменить пищевое поведение во второй раз – вместо откорма на больших глубинах краб начал осваивать мелководья юго-восточной части моря. Приняв, что ловушечный промысел краба отражает концентрацию крупных самцов в местах их откорма, можно видеть тенденцию к уменьшению глубины кормовых районов (Рис. 2). После 2008 г. средневзвешенная (по массе выловленных крабов) глубина вылова краба стала меньше 150 м.

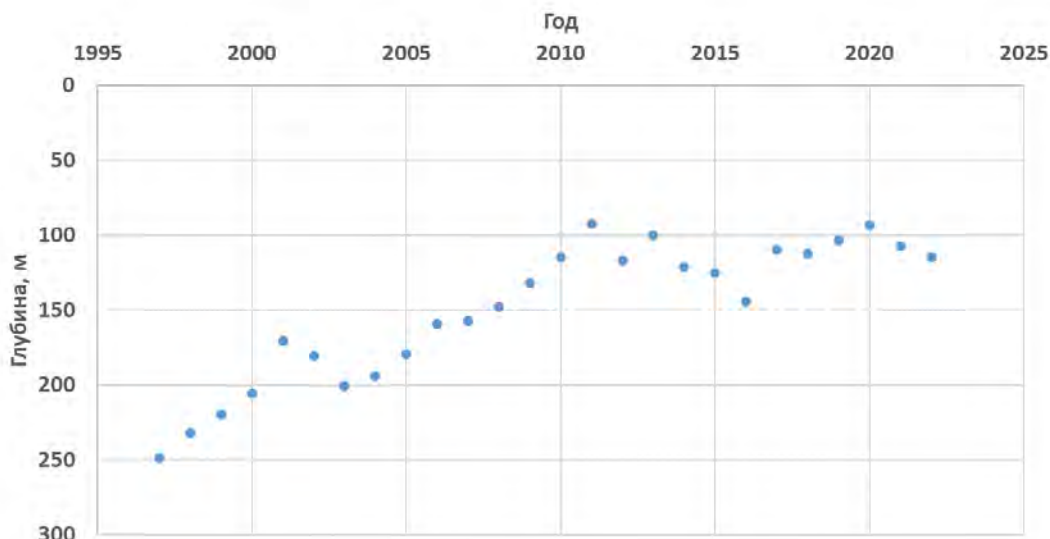


Рис. 2. Средневзвешенная (по массе выловленных крабов) глубина вылова краба при российском промысле в Баренцевом море

Спектр жертв камчатского краба также несколько изменился. В целом, существует тренд к уменьшению потребления иглокожих: являясь наиболее доступной пищей, они выедаются крабом в первую очередь. Кроме того, стало увеличиваться потребление моллюсков, т.к. наибольшие биомассы на вновь занятых акваториях образуют двустворчатые моллюски.

Таким образом, камчатский краб, интродуцированный в Баренцево море, обладает большой пищевой пластичностью и хорошей адаптационной способностью, хорошо подстраиваясь под условия новой для него экосистемы.

### Список литературы:

1. Камчатский краб в Баренцевом море. Издание 3-е, переработанное и дополненное. Коллектив авторов, главный редактор Бизиков В.А. Москва: ВНИРО. 2021. 712 с.

УДК 592

Рубрика 34.33.15

НОВЫЕ ДАННЫЕ О ТОНКОМ СТРОЕНИИ АНАЛЬНЫХ МЕШКОВ ЭХИУРИДЫ  
*BONELLIA VIRIDIS* (ANNELIDA: BONELLINAE)

NEW DATA ON THE FINE STRUCTURE OF THE ANAL SACS OF THE ECHIURID  
*BONELLIA VIRIDIS* (ANNELIDA: BONELLINAE)

**Кузнецов Пётр Алексеевич<sup>1,2</sup>, Ересковский Александр Вадимович<sup>3,4</sup>, Темерева Елена Николаевна<sup>1,5</sup>**

<sup>1</sup> МГУ им. М. В. Ломоносова, Москва

<sup>2</sup> Университет Экс-Марсель, Марсель

<sup>3</sup> СПбГУ, Санкт-Петербург

<sup>4</sup> ИБР РАН им. Н. К. Кольцова, Москва

<sup>5</sup> НИУ ВШЭ, Москва

**Kuznetsov Petr Alekseevich<sup>1,2</sup>, Ereskovsky Alexander Vadimovich<sup>3,4</sup>, Temereva Elena Nikolaevna<sup>1,5</sup>**

<sup>1</sup> Lomonosov MSU, Moscow

<sup>2</sup> IMBE, Aix Marseille University, Marseille

<sup>3</sup> SPSU, Saint-Petersburg

<sup>4</sup> Koltzov IDB RAS, Moscow

<sup>5</sup> HSE University, Moscow

## Введение

Эхиуриды – небольшая группа вторично несегментированных морских бентосных червей. Они прячут свое тело глубоко в толще субстрата, выставляя на поверхность грунта только хобот [Gislen, 1940]. Из-за такого скрытного образа жизни эхиуриды редко целиком попадают в руки исследователей и многие детали их анатомии и физиологии остаются не изученными. Анальные мешки – особые органы выделения характерные только для эхиурид [Pilger 1993]. Развитие и происхождение анальных мешков эхиурид до сих пор остаются плохо изученными. Детальное изучение строения анальных мешков самок *Bonellia viridis* прольет свет на механизм работы выделительной системы и эволюционное происхождение отдельных ее элементов.

## Материал и методы

Материалом для настоящей работы послужили самки *Bonellia viridis* собранные в Марсельском заливе у острова План. Материал был изучен с использованием методов световой, сканирующей электронной и трансмиссионной электронной микроскопии,



гистологии и гистохимии. На основе данных компьютерной микротомографии была построена трехмерная реконструкция.

## Морфология

У всех исследованных нами *B. viridis* была найдена пара анальных мешков, которые отходят латерально от клоаки. Их обширные концевые мешки занимают заднюю четверть туловища и связаны со стенкой тела тонкими мезентериальными перемычками. От концевых мешков отходят многочисленные первичные трубочки, каждая из них на своем конце несет ресничную воронку. От первичных трубочек ответвляются идентичные им по строению вторичные трубочки, которые также несут на конце ресничную воронку.

Ресничная воронка имеет колоколообразную форму. В ней можно выделить гладкую узкую зону шейки в основании и коническую часть, плотно покрытую ресничками. На дистальном конце в конической части воронка открывается в просвет трубочки, который ведет в полость концевого мешка. Мешки открываются парой независимых отверстий в просвет клоаки.

## Гистология и ультраструктура

Все элементы, составляющие анальные мешки (воронки, трубочки, концевые мешки), имеют трехслойную стенку, детали строения которой различаются на разных участках. Стенка образована внутренним эпителием, слоем неклеточного матрикса и внешним, обращенным в полость тела, эпителием, который представляет собой целомическую выстилку – перитонеум. Только коническая часть ресничной воронки, на дистальном крае покрыта не перитонеумом, а кубическим ресничным эпителием, который лежит на прозрачном внеклеточном матриксе. Ресничный эпителий выстилает и внутреннюю часть воронки. Однако в области шейки (в основании воронки) он лежит на более плотном внеклеточном матриксе. В основании воронки различимы кольцевые мышцы, которые опоясывают просвет, ведущий в трубочку. Кроме того, не плотная мышечная сетка из отдельных кольцевых, продольных и диагональных мышечных клеток есть в области трубочек.

Клеточный состав внутреннего эпителия трубочек заметно отличается от такового воронки. На гистологических срезах его просвет выстлан относительно крупными клетками неправильной формы. Клетки внутреннего эпителия трубочки несут редкие реснички и имеют многочисленные бурые включения в цитоплазме, которые заметны и на гистологических срезах, и при вскрытии.

Концевой мешок имеет особую гистологическую организацию. Внутренний эпителий концевого мешка представлен высокими клетками (более 50 мкм) с ядрами, расположенными на разном уровне. Они имеют прозрачную цитоплазму и осуществляют апокринную секрецию. Эпителий лежит на толстом слое плотного внеклеточного матрикса (более 30 мкм толщиной), который пронизан мышечной сетью, состоящей из пучков продольных, кольцевых и диагональных мышечных клеток. Эта мышечная сеть является общей для концевого мешка и для клоаки. Концевой мешок отделен от клоакального отдела кишечника сфинктером.

Клетки перитонеума связаны между собой адгезивными контактами и подостланы слоем внеклеточного матрикса, толщина которого в мешках и трубочках минимальна (от 0.2 до 1 мкм), однако в области шейки воронки она достигает значительной толщины (от 2 в основании до 6 мкм в дистальной части). Ядро клеток перитонеума несет ядрышко, в цитоплазме обнаруживаются митохондрии и многочисленные везикулы с электронно-светлым содержимым.

Внутренний эпителий воронки и внешний ресничный эпителий конической части воронки состоит из высоких или кубических клеток с многочисленными ресничками и микроворсинками. Корешковый аппарат представлен одним вертикальным и двумя горизонтальными исчерченными корешками, помимо них в глубь клетки от базального тела отходят тонкие пучки микротрубочек, которые достигают середины клетки, доходя до уровня ядра. В апикальной части клетки соединены апикальными адгезивными контактами. В цитоплазме ресничных клеток содержатся пучки филаментов, которые опоясывают клетку в передней трети или проходят вертикально от апикальной части до середины. Цитоплазма заполнена немногочисленными везикулами с прозрачным содержимым и митохондриями. В апикальной части клетки расположен комплекс Гольджи. Базальная мембрана ресничных клеток конической части воронки не выражена, а внеклеточный матрикс прозрачный и почти не содержит волокон. Клетки внутреннего эпителия шейки немного отличаются от таковых в конусовидной части. В частности у этих клеток выражены гемидесмосомы.

Внутренний эпителий трубочек несет многочисленные микроворсинки и редкие реснички. Корешковый аппарат представлен двумя горизонтальными и одним вертикальным исчерченными корешками. В апикальной части клетки внутреннего эпителия трубочек связаны адгезивными контактами. Цитоплазма клеток внутреннего эпителия содержит многочисленные везикулы с электронно-плотным и светлым мелко гранулированным содержимым. Преимущественно в базальной части клеток расположен крупный гранулярный ЭПР. Внутренний эпителий трубочек лежит на плотном внеклеточном матриксе. Кроме того, отдельные клетки регулярно разрушаются, а их содержимое выводится в полость анального мешка.

### Обсуждение

Считается что анальные мешки выполняют выделительную функцию, захватывая продукты обмена вместе с целомической жидкостью из целома и выводят их в клоаку [Baltzer, 1931; Stephen and Edmonds, 1972; Harris and Jaccarini, 1981; Ruppert et al., 2004; Schmidt-Rhaesa, 2007, Lehrke and Bartolomaeus, 2011]. Кроме того, предполагается, что они могут в некоторой степени участвовать и в газообмене, и в осморегуляции [Brusca and Brusca, 2003].

Анальные мешки эхиурид имеют разное строение. Они отличаются присутствием или отсутствием определенных частей и различной формой. У некоторых видов Bonelliinae (например, *Alomasoma nordpacificum*, *Ikedella misakiensis*, *Pseudobonellia biuterina*) каналцы, отходят непосредственно от стенки задней кишки, а концевой мешок отсутствует [Lehrke and Bartolomaeus, 2011]. По форме различают два главных типа анальных мешков: с трубчатым (*Thalassematinae*, кроме *Urechis* spp.) и мешковидным (*Bonellinae* и *Urechis* spp.) концевым мешком [Stephen and Edmonds, 1972]. Каналцы описаны для большинства видов *Bonellinae*, однако отсутствуют у всех известных *Thalassematinae*.

Таким образом у *Bonelliinae* анальные мешки характеризуются наибольшей морфологической сложностью, в их составе можно выделить больше всего структурных элементов (концевой мешок, трубочки, воронки). Кроме того, у *B. viridis* трубочки первого порядка дают начало трубочкам второго порядка.

Согласно ультраструктурным данным [Lehrke and Bartolomaeus, 2011] анальный мешок у *Thalassema thalassenum* (*Thalassematinae*) представляет собой модифицированный метанефридиальный проток, который соединяет целомическую полость с внешней средой через клоаку. При этом количество ресничных воронок многократно увеличено. Метанефридии, которые обладают более чем одной реснитчатой воронкой, также известны и у других аннелид, например у *Capitella capitata* [Eisig, 1887]. Таким образом анальный мешок

представляет собой лишь часть выделительной системы: подоциды на сосудах осуществляют фильтрацию, а метанефридий модифицирует ультрафильтрат и выводит его.

Выделенные нами 4 морфологические зоны в анальных мешках выполняют специальные функции. Конус ресничной воронки загоняет целомическую жидкость в трубочки с помощью направленного в центр биения ресничек. В зоне шейки лежит внутренний эпителий, который формирует узкий просвет ведущий в трубочку и осуществляет фильтрацию от клеток содержащихся в целоме (целомоциты и ооциты). В трубочке происходит частичное накопление целомической жидкости и вероятно модификация, на что указывают многочисленные пузырьки в цитоплазме эпителиальных клеток, которые могут участвовать в эндо-, экзо- и трансцитозе. Кроме того, в цитоплазме клеток внутреннего эпителия трубочек содержатся многочисленные гранулы, которые, возможно, представляют собой продукты обмена. В концевой мешок, вероятно, поступает уже модифицированный ультрафильтрат, где он накапливается. Сокращение мускулатуры концевого мешка выводит его содержимое в клоаку, откуда синхронно с фекальным шнуром продукты обмена покидают тело.

Гомология ресничных воронок у разных видов эхиурид не вызывает сомнения, они имеют сходное строение на гистологическом и ультраструктурном уровне. Однако трубочки *B. viridis* имеют тонкое строение, которое крайне сходно с описанным ранее для *T. thalassemum* [Lehrke and Bartolomaeus, 2011] строением концевых мешков. Такая схожесть может говорить не только об общей функции, но и о едином происхождении этих структур. Стоит так же отметить, что для *T. thalassemum* характерен анальный мешок с сидячими воронками, у них отсутствуют трубочки, которые соединяют воронки с мешком как у *B. viridis*. Однако гистологическая организация концевого мешка *B. viridis* кардинально отличается и от описанного ранее концевого мешка *T. thalassemum* [Lehrke and Bartolomaeus, 2011] и от строения трубочек *B. viridis*. Вероятно, концевой мешок *B. viridis* не гомологичен концевому мешку *T. thalassemum* и мог возникнуть как дивертикул кишечника или же как особый модифицированный отдел метанефридия. В поддержку кишечного происхождения концевого мешка говорит его организация: стенка мешка содержит толстый плотный внеклеточный матрикс, пронизанный мышечной сетью, так же, как и в клоаке. Эпителий концевого мешка хоть и отличается от эпителия клоаки, но имеет больше сходств с кишечным эпителием чем с трубочками.

Выявленные особенности организации анальных мешков самок *B. viridis* проливают свет на то, как функционируют отдельные зоны анального мешка и их гомологию с метанефридиями других кольчатых червей.

## Финансирование

Исследование выполнено при поддержке гранта РФФИ (№ 20-04-00096).

## Список литературы:

1. Baltzer F. Echiurida. In: Kükenthal W (ed) Handbuch der zoologie // Walter De Gruyter & Co, Berlin. – 1931. – Vol. 2. – P. 62–168
2. Brusca R.C., Brusca G.J. The Echiura. In: Brusca RC, Brusca GJ (eds) Invertebrates // Sinauer Associates Inc., Publishers, Sunderland, Massachusetts. – 2003. – P. 451–459.
3. Eisig H. Monographie der Capitelliden des Golfes von Neapel und der angrenzenden Meeres-Abschnitte nebst Untersuchungen zur vergleichenden Anatomie und Physiologie. Fauna und Flora des Golfes von Neapel und der angrenzenden Meeresabschnitte – 1887.

4. Gislén, T. Investigations on the ecology of Echiurus // Lunds Univ. Arsskr., new ser. 36. – 1940. – P. 1-39.
5. Harris R.R., Jaccarini V. Structure and function of the anal sacs of *Bonellia viridis* (Echiura: Bonelliidae) // J Mar Biol Assoc UK. – 1981. – Vol. 61. – P. 413–430.
6. Lehrke J., Bartolomaeus T. Ultrastructure of the anal sacs in *Thalassema thalasseum* (Annelida, Echiura) // Zoomorphology. – 2011. – Vol. 130. – P. 39–49.
7. Pilger J.F. Echiura. In: Harrison FW, Rice ME (eds) Microscopic anatomy of invertebrates // Wiley-Liss, New York. – 1993. – P. 185–236.
8. Ruppert E.E., Fox R.S., Barnes R.D. Echiura and Sipuncula. In: Ruppert EE, Fox RS, Barnes RD (eds) Invertebrate zoology. A functional evolutionary approach // Brooks/Cole Thomson Learning, USA. – 2004. – P. 490–502.
9. Schmidt-Rhaesa A. The evolution of organ systems // Oxford University Press, Oxford. – 2007.
10. Stephen A.C., Edmonds S.J. Phylum Echiura. In: Stephen A.C., Edmonds S.J. (eds.) The Phyla Sipuncula and Echiura // Trustees of the British Museum. London. – 1972. – P. 343–528.

УДК 674.622, 674.625

Рубрика 69.09.07

ИНВАЗИЙНЫЕ КРАБЫ КАК НОВЫЕ ПИЩЕВЫЕ ОБЪЕКТЫ РЫБ В БАРЕНЦОВОМ И  
КАРСКОМ МОРЯХ

INVASIVE CRABS AS NEW FOOD ITEMS OF FISHES IN THE BARENTS AND KARA  
SEAS

**Долгов Андрей Викторович**

<sup>1</sup> Полярный филиал ВНИРО (ПИНРО им. Н.М. Книповича), Мурманск

<sup>2</sup> Мурманский арктический университет (МАУ), Мурманск

<sup>3</sup> Томский государственный университет (ТГУ), Томск

**Dolgov Andrey Viktorovich**

<sup>1</sup> Polar Branch of VNIRO (PINRO), Murmansk

<sup>2</sup> Murmansk Arctic State University (MASU), Murmansk

<sup>3</sup> Tomsk State University (TSU), Tomsk

## **Введение**

С конца 1980-х гг. в Баренцевом и Карском моря появились 3 новых вида крабов. В конце 1980-х гг. в Баренцевом море стал отмечаться глубоководный краб *Geryon trispinosus* (Беренбойм и Долгов, 1997), в 1990-е гг. после долгого периода акклиматизации резко возросла численность камчатского краба *Paralithodes camtschaticus* (Камчатский краб..., 2021), а в 1996 г. был обнаружен краб-стригун опилио *Chionoecetes opilio*, численность которого быстро увеличилась (Краб-стригун опилио..., 2016). Несколько позже, в 2012-2013 гг. краб-стригун появился в Карском море (Краб-стригун опилио..., 2016).

Появление новых для экосистем видов крабов, тем более с учетом их высокой численности, могло привести к изменениям в трофической структуре сообществ рыб этих морей. С учетом многолетнего мониторинга питания массовых видов рыб в Баренцевом и Карском морях, который выполняется Полярным филиалом ВНИРО (ПИНРО им. Н.М. Книповича) в этих морях, основной целью настоящего исследования было оценить роль новых видов крабов в питании рыб.

## **Данные и методы**

В работе использованы данные по питанию массовых видов рыб, обработанные стандартным количественно-весовым методом, в Баренцевом море - всего более 550 тыс. желудков 60 видов рыб за 1984-2022 гг. (Долгов, 2016), в Карском море - более 3 тыс. желудков 20 видов рыб за 2007-2022 гг. (Долгов и др., 2014).

## Результаты и обсуждение

Значение трех новых видов крабов в Баренцевом море в питании рыб значительно различалось.

Глубоководный краб регулярно, но в незначительных количествах (менее 0,2 % по массе в среднем за год) отмечался в питании трески с середины 1980-х гг. (Беренбойм и Долгов, 1997) до 2011 г. Позднее этот вид встречался в питании трески в 2013 и 2016 г., а в 2017-2022 г. в желудках трески отсутствовал (рис. 1). В питании других массовых видов рыб глубоководный краб не встречался, лишь в 2014 г. был отмечен в питании звездчатого ската (0,60 % по массе в среднем за год).

Камчатский краб, несмотря на его высокую численность с начала 1990-х гг., появился в питании трески лишь в 2000-е гг., однако его роль была невысокой - сначала 0,1-0,2 %, затем до 0,5-0,6 % по массе. Это было связано с обитанием молоди в прибрежной зоне, губах и заливах на небольших глубинах, слабым перекрытием районов обитания молоди краба и трески, а также крупными размерами и наличием защитных шипов более взрослых крабов (Долгов и Бензик, 2021). Лишь в 2020-2021 г. массовая доля крабов в питании трески увеличилась до 0,8-0,9 % по массе, а в 2022 г. - до 3,2 % по массе (рис. 1), причем в 2022 г. треска питалась крупными особями с мягкими кожными покровами после линьки, откушенными у крупных крабов ногами.

Камчатский краб встречался также в питании других видов рыб. В питании пикши этот вид появился в 2011 г., регулярно стал встречаться только с 2016 г., но его массовая доля в 2011-2022 г. среднем не превышал 0,02 % (максимально 0,19 % в среднем за год). В питании звездчатого ската камчатский краб был отмечен только в 2009 г. (2,33 % по массе), в питании пятнистой зубатки - в 2011 г. и 2019 г. (7,8 и 11,5 % по массе соответственно, но было исследовано всего по 18 желудков в каждом году).

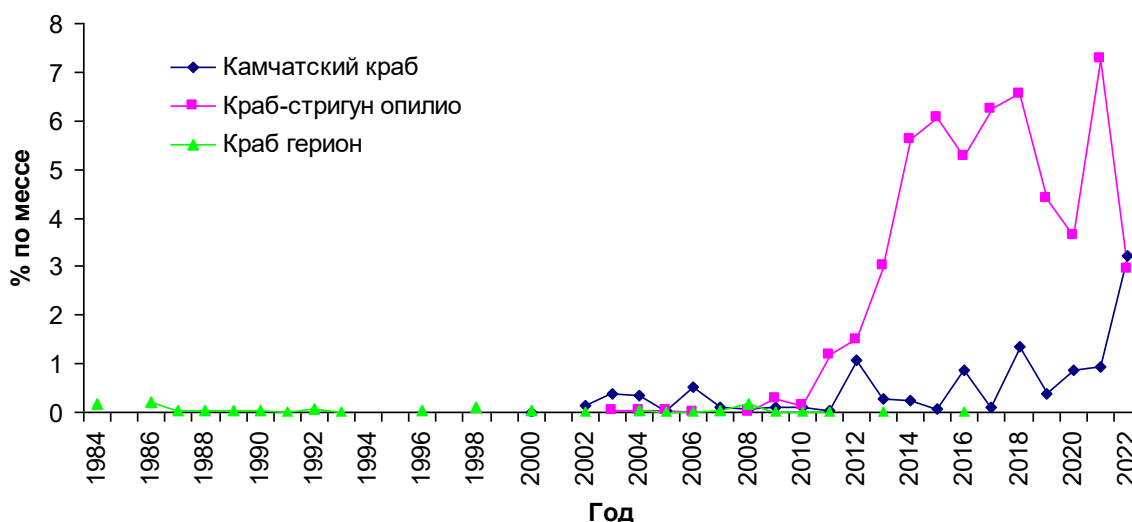


Рис 1. Значение трех видов крабов в питании трески в Баренцевом море в 1984-2022 гг., % по массе.



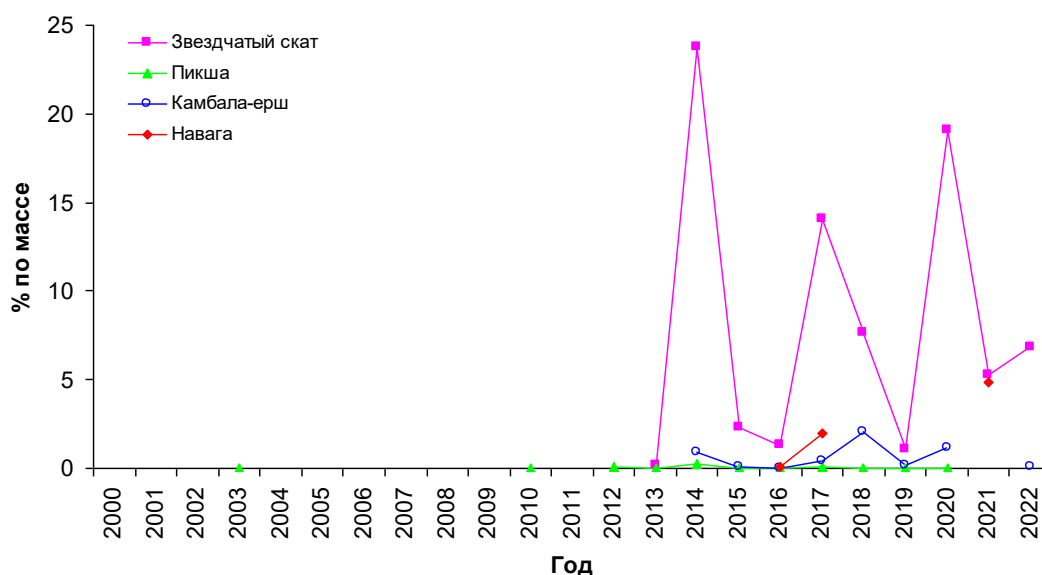


Рис 2. Значение краба-стригуна опилию в питании донных рыб в Баренцевом море в 2000-2022 гг., % по массе.

В отличие от глубоководного и камчатского крабов, краб-стригун опилию стал отмечаться в питании рыб в Баренцевом море с 2003 г. и стал важным объектом питания трески и других донных рыб в Баренцевом море (до 3-7 % по массе в среднем за год). Всего в 2003-2014 гг. этот вид был отмечен в питании 7 видов рыб (треска, пикша, камбала-ерш, звездчатый и северный скаты, арктический шлемоносный бычок и европейский керчак)(Долгов, Бензик, 2016), а его личинки на стадии мегалоба - в питании сайки (Прокопчук, 2016). Позднее он стал встречаться в питании черного палтуса, наваги и пятнистой зубатки.

В питании трески массовая доля стригуна в 2003-2010 гг. не превышала 1 %, затем увеличилась до 1,5 % в 2011-2012 гг. и в 2013-2022 гг. составляла от 2,9 до 7,2 % (рис.1). Значение стригуна в питании трески в последние годы стало сравнимым или даже превышало значение традиционных объектов ее питания (эвфаузииды, гиперииды, северная креветка и др.), что позволило сделать вывод о том, что этот вид стал важным объектом питания трески в Баренцевом море (Holt et al., 2021).

В питании пикши стригун появился в 2003 г., регулярно встречался с 2010 г., но его массовая доля в среднем не превышала 0,05 % (максимально - 0,2 % по массе в среднем за год)(рис.2). В питании камбалы-ерша и звездчатого ската этот вид крабов регулярно встречался с 2013-2014 гг., его массовая доля в среднем составляла 0,22 и 8,15 % соответственно (максимально - 2,1 и 23,7 % по массе за год соответственно) (рис.2).

В питании других видов стригун встречался только в отдельные годы - у черного палтуса в 2017 г. (0,02 % по массе) и в 2022 г. (2,22 %), у наваги - в 2016 (0,05 % по массе), 2017 г. (1,97 %) и в 2021 г. (4,87 %), у пятнистой зубатки - в 2014 г. (0,26 % по массе), 2018 г. (0,66 %) и в 2020 г. (5,03%).

Кроме того, личинки и взрослые особи стригуна стали встречаться в питании пелагических и непромысловых донных рыб в Карском море. В 2007-2013 гг. особи этого вида в питании донных рыб (более 1400 желудков 20 видов) не встречались (Долгов и др., 2014). Только в 2013 г. личинки стригуна на стадии мегалоба (1-5 экз. в одном желудке) были обнаружены в 2 желудках сайки (Прокопчук, 2016, 2017). В 2016 г. стригун был впервые отмечен в питании европейского керчака, в 2019 г. - в питании люмпена Фабрициуса.

В 2022 г., по предварительным данным, стригун встречался в питании 6 видов рыб (полярный, бледный и полуголый ликоды, липарис Парра, арктический шлемоносный бычок и европейский керчак), хотя их массовая доля и частота встречаемости относительно невелики. В 2022 г. в питании этих видов рыб встречались как личинки на стадиях зоеа и мегалопа (до 9 экземпляров в одном желудке), так и молодь шириной карапакса 8-22 мм (1-3 экз. в одном желудке).

## Выводы

Таким образом, три новых для экосистемы Баренцева и Карского морей вида крабов показывают различные варианты их роли в пищевых сетях этих морских экосистем.

Глубоководный краб практически не играет какой-либо существенно роли в питании донных видов рыб. Камчатский краб, благодаря крупным размерам взрослых особей и обитанию молоди в прибрежной зоне на небольших глубинах, довольно мало подвержен хищничеству со стороны рыб даже крупных видов, хотя в конце 2021 г. и в начале 2022 г. было отмечено резкое увеличение потребления треской крупными особями этого краба.

Краб-стригун опилио стал важным объектом питания трески и ряда других промысловых видов рыб в Баренцевом море, а с 2022 г. стал отмечаться в питании различных непромысловых видов рыб и в Карском море, причем хищничеству подвержены особи на всех стадиях развития от личинок на стадиях зоеа и мегалопа до взрослых особей. Благодаря высокой численности, относительно небольшим размерам и широкому распределению, только этот вид крабов стал значимым компонентом в трофических цепях Баренцева и Карского морей.

## Список литературы:

1. Беренбойм Б.И., Долгов А.В. Новый вид краба *Geryon tridens* в питании трески в Баренцевом море // Исследования промысловых беспозвоночных в Баренцевом море : Сб. науч. трудов. / ПИНРО. – Мурманск : Изд-во ПИНРО. – 1997. – С.15-19.
2. Долгов А.В., Бензик А.Н. Краб-стригун как объект питания рыб в Баренцевом море // Краб-стригун опилио *Chionoecetes opilio* в Баренцевом и Карском морях / К.М. Соколов, В.А. Павлов, Н.А. Стрелкова [и др.], ПИНРО. – Мурманск: ПИНРО, 2016. – С. 140–153.
3. Долгов А.В., Бензик А.Н. Камчатский краб как объект питания донных рыб // Камчатский краб в Баренцевом море. Изд. 3-е, перераб. и доп. – Москва: ФГБНУ «ВНИРО». – 2021. – С. 347–359.
4. Долгов А.В., Бензик А.Н., Четыркина О.Ю. Питание непромысловых рыб и их роль в продуктивности экосистемы Карского моря // Труды ВНИРО. – 2014. – Т.152. – С.190-208.
5. Краб-стригун опилио *Chionoecetes opilio* в Баренцевом и Карском морях / К.М. Соколов, В.А. Павлов, Н.А. Стрелкова [и др.], ПИНРО. – Мурманск: ПИНРО, 2016. – 242 с.
6. Камчатский краб в Баренцевом море. Изд. 3-е, перераб. и доп. – Москва: ФГБНУ «ВНИРО». – 2021. – 712 с.
7. Прокопчук И.П. Питание сайки личинками краба-стригуна опилио // Краб-стригун опилио *Chionoecetes opilio* в Баренцевом и Карском морях / К.М. Соколов, В.А. Павлов, Н.А. Стрелкова [и др.], ПИНРО. – Мурманск: ПИНРО, 2016. – Т.57, №4. – С. 154–157.

8. Прокопчук И.П. Питание сайки *Boreogadus saida* в Карском море // Вопросы ихтиологии. – 2017. – С. 445–456.
9. Holt R.E., Hvingel C., Agnalt A.-L., Dolgov A.V., Hjelset A.M., Bogstad B. Snow crab (*Chionoecetes opilio*), a new food item for North-East Arctic cod (*Gadus morhua*) in the Barents Sea // ICES Journal of Marine Science. – 2021. – Vol. 78, No. 2. – P. 491–501.

УДК 574.52

Рубрика 34.35.33

## ГРАНИЦЫ И ГРАДИЕНТЫ СУБЛИТОРАЛЬНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ У МАТЕРИКОВЫХ ПОБЕРЕЖИЙ ЯПОНСКОГО И ОХОТСКОГО МОРЕЙ

## BOUNDARIES AND GRADIENTS OF SUBLITTORAL VEGETATION NEAR THE MAINLAND COASTS OF THE SEA OF JAPAN AND THE SEA OF OKHOTSK

**Дуленин Александр Алексеевич**<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Хабаровский филиал ВНИРО, Хабаровск*

**Dulenin Alexander Alexeevich**<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Khabarovsk branch of VNIRO, Khabarovsk*

### **Введение**

В современной науке о растительности преобладают взгляды на растительный покров как на континуум, выделение границ внутри которого условно [Миркин и др., 2001]. В тоже время, проблемы соотношения дискретности и континуальности, границ и градиентов довольно активно обсуждаются [Кафанов, 2005, 2006; Жирков, 2010; Миркин, Наумова, 2012 и т.д.]. Исследование биотических границ и градиентов имеет большую практическую значимость, поскольку выявляет специфику распределения промысловых организмов, в частности, формирующих наибольшие ресурсы макрофитов [Блинова, 2007, 2014; Ресурсы ..., 2020]. Плавное изменение структуры растительности в пространстве обуславливается воздействием ряда абиотических факторов, формирующих комплексные абиотические градиенты [Вальтер, 1982; Пузаченко, 2004], а резкие изменения, формирующие ценотические границы, как правило связаны с наличием географических препятствий [Жирков, 2010]. Флористические границы и градиенты в морях Дальнего Востока России уже обсуждались в литературе [Перестенко, 1994; Клочкова, 1996, 1998; Семкин и др., 2010а, б, в]. Было выполнено вертикальное зонирование фитали отдельных районов [Гусарова, 1975; Перестенко, 1994]. Фитоценотические границы ранее были выявлены у Курильских островов [Гусарова, 1975; Евсеева, 2009]. Тем не менее, причины и закономерности формирования границ и градиентов в структуре подводной растительности морей Дальнего Востока России почти не исследованы. Отдельные аспекты распределения сублиторальной растительности протяженных районов приматериковых частей Японского и Охотского морей обсуждались автором [Дуленин, 2015, 2019; Дуленин, Гусарова, 2016]. Цель настоящего сообщения состоит в том, чтобы, объединив ранее полученные результаты, объяснить основные черты сложения, сходства и различия сублиторальной растительности этих районов.

### **Данные и методы**

Исследованы два соседних района в северо-западных частях Японского и Охотского морей (СЗЯМ и СЗОМ, соответственно), разделенных лиманом реки Амур. Первый район протяженностью 600 км расположен от мыса Туманный (47° 24' N, 139° 03' E) до мыса Южный (51° 41' N, 141° 07' E) в Японском море [Люция ..., 2004] с береговой линией, ориентированной с юга на север. Второй район протяженностью 1000 км - от Удской губы (54° 52' N, 135° 12' E) до полуострова Лисянского (59° 08' N, 145° 58' E) в Охотском море [Люция ..., 1971], с

береговой линией, ориентированной с юго-запада на северо-восток. Широтная (с юга на север) протяженность обоих районов - около 500 км. Геоморфологические характеристики берегов даны по руководству П.А. Каплина с соавторами [1991].

Водолазные съемки выполняли по описанным ранее [Блинова и др., 2005] методикам на глубинах от 2 до 12-20 м, местами до 35 м, как правило, до нижних границ пояса донной растительности. Для характеристики растительности СЗЯМ использовали данные съемки 2010 г. (711 станций), для СЗОМ - данные 2020 г. (492 станции). Дополнительно использованы данные съемок в обоих районах, полученные с 1999 по 2022 гг. Для обработки данных использовали процедуры регрессионного анализа.

## Результаты

В структуре растительности сублиторали СЗЯМ доминируют следующие виды, проранжированные по частоте встречаемости: *Agarum clathratum*, *Bossiella compressa*, *Saccharina japonica*, *Stephanocystis crassipes*, *Phyllospadix iwatensis*, *Saccharina cichorioides*, *Desmarestia viridis*, *Zostera asiatica*, *Neorhodomela larix*, *Sargassum pallidum*, *Odonthalia corymbifera*, *Costaria costata*, *Sargassum miyabei*, *Tichocarpus crinitus*, *Corallina officinalis*, *Ptilota asplenioides*, *Ulva lactuca*, *Ptilota filicina*, *Kjellmaniella crassifolia*, *Codium fragile*, *Corallina pilulifera*, группа видов корковых известковых водорослей. Растительность СЗЯМ характеризуется сочетанием континуальных и дискретных элементов своего сложения. Она имеет статистически значимые пространственные градиенты: показатели ее удельной биомассы растут в северном направлении ( $M=4.8\pm 0.2$  кг/м<sup>2</sup>,  $\alpha=0.09\pm 0.03$ ,  $R^2=0.02$ ,  $p<0.01$ ) и падают с глубиной ( $\alpha=-0.17\pm 0.01$ ,  $R^2=0.35$ ,  $p<0.01$ ). В тоже время, средняя ширина пояса растительности уменьшается от  $701\pm 77$  м на юге до  $361\pm 61$  м на севере, а средняя максимальная глубина его распространения - от  $17.0\pm 0.5$  м до  $12.0\pm 0.6$  м, соответственно. Дискретная ценотическая граница расположена у мыса Сюркум ( $50^{\circ} 07' N$ ,  $140^{\circ} 41' E$ ). К югу от мыса облик растительности определяет *Saccharina japonica*, а к северу - *S. cichorioides*. Ядро растительности приурочено к глубинам 2–6 м. Эти характеристики растительности опубликованы ранее [Дуленин, Гусарова, 2016; Дуленин, 2019]. Растительность развита почти вдоль всего побережья района. Она имеет поясную структуру: на глубинах 2-6 м формируются пояса с доминированием *Phyllospadix iwatensis*, сменяющиеся поясами *Saccharina japonica*, либо *S. cichorioides*, далее ниже, до глубины 8-10 м часто преобладает *Stephanocystis crassipes*, *Sargassum pallidum* и *Sarg. miyabei*, а еще ниже, до глубин 20 м и более, обычно формируется пояс *Agarum clathratum*. Такую структуру растительности формируют не менее 20 видов и многовидовых групп, доминирующих в ее структуре. Границы между ценотическими поясами относительно хорошо выражены, а их экотонные зоны довольно узки (как правило, шириной 2-20 м). Из 20 проанализированных доминантов для 10 отмечено статистически значимое изменение УБМ по широте и для 11 - по глубине.

Состав выявленных доминантов растительности СЗОМ немногочислен: *Saccharina latissima*, *Alaria esculenta*, *Sargassum miyabei*, *Pseudolessonia laminarioides* и многовидовые группировки красных водорослей. Внутри района растительность имеет континуальный характер. Показатели ее обилия статистически однородны вдоль тысячи километров протяженности района ( $M=2.14\pm 0.02$  кг/м<sup>2</sup>,  $\alpha=0.07\pm 0.04$ ,  $R^2<0.01$ ,  $p=0.09$ ), а доминантный состав на всем протяжении района остается постоянным. Суммарные удельные биомассы растительности несколько падают с глубиной ( $\alpha=-0.07\pm 0.03$ ,  $R^2=0.01$ ,  $p=0.01$ ). Ширина пояса растительности как правило от 50 до 700 м на разных участках. Ядро растительности района приурочено к глубинному диапазону 1–8 м. Растительность СЗЯМ разных участков имеет однородное сложение от сублиторальной каймы до нижней границы растительности, пояса отдельных ее доминантов не выражены. Для доминирующих видов макрофитов не отмечено статистически значимого снижения удельных биомасс с ростом глубины. На участках своего распространения они обычно распределяются равномерно на глубинах от 2-3 м до 10-12 м. Исключение составляет *Pseudolessonia laminarioides*, распространенная лишь на глубинах не

более 7 м. Только благодаря влиянию ее биомасс на мелководьях, складывается картина общего статистически значимого снижения удельных биомасс для пояса растительности СЗОМ в целом. Тем не менее, изменения общего облика растительности наблюдаются у границ района. Пояс макрофитов отсутствует вдоль 300 км побережья в северо-восточной части района. У северо-восточной границы, вдоль полуострова Лисянского, пояс растительности становится узким, до 10-50 м ширины и прерывистым, с проективным покрытием менее 30 % и УБМ менее 1 кг/м<sup>2</sup>. Разреженные поселения водорослей простираются до 20-35 м глубины. К западу от полуострова общий облик пояса растительности определяется *S. latissima*, а к востоку - *Sarg. miyabei*. По имеющимся данным [Белый, 2011], в северной части Охотского моря, к востоку от нашего района исследований, общая структура растительности существенно меняется: узкие «ленточные» поселения макрофитов у открытых берегов перемежаются с обширными «мозаичными» поселениями в бухтах. У северо-западной границы СЗОМ, в обследованной части Удской губы, растительность отсутствует или изрежена, ее структура сходна с таковой у полуострова Лисянского, с той разницей, что в Удской губе разреженные поселения растительности достигают лишь 5-7 м глубины. На участке преобладают поселения *S. latissima*.

Промысел макрофитов в СЗЯМ слабо развит, а в СЗОМ отсутствует, однако потенциально-промысловые ресурсы макрофитов приурочены к глубинам расположения ядра растительности в обоих районах (283 тыс. т в СЗЯМ и 228 тыс. т в СЗОМ, соответственно). Востребованные промысловые ресурсы в СЗЯМ формирует только *Saccharina japonica*, промысловые поселения которой расположены исключительно к югу от ценотической границы у мыса Сюркум. Таким образом, особенности пространственного распределения растительности районов обуславливают расположение ее ресурсов.

Анализ причин столь существенных различий структуры растительности двух соседних регионов показал следующее. Наличие дискретной фитоценотической границы в СЗЯМ обусловлено географическим препятствием - мысом Сюркум, вдающимся в море на 15 км. Берега мыса представляют собой отвесный клиф, уходящий под воду на глубину до 20 м, на котором пояс растительности узкий (не более 10-30 м) и прерывистый. На юге района таких границ нет, поэтому в целом характер растительности южного участка СЗЯМ сходен с таковой у северных побережий Приморского края [Паймеева, 1987; Паймеева, Гусарова, 1993, личные наблюдения]. Естественной северной границей района выступает вход в лиман реки Амур, где благодаря опреснению до 25-18‰ [Ушаков, 1953; Пищальник, Бобков, 2000] растительность морских водорослей-макрофитов исчезает.

В СЗОМ ситуация иная. В отличие от СЗЯМ, внутри этого района значительных географических препятствий нет, что обуславливает отсутствие фитоценотических границ на протяжении почти 1000 км его побережий. Однако у его северо-восточной границы расположен полуостров Лисянского, который вдается в море на 35 км. Полуостров - географическое препятствие и различный характер берегов к западу и к востоку от него, вызывает общую смену характера растительности на этом участке, формируя фитоценотическую границу. Берега полуострова имеют преимущественно абразионный характер и представляют собой отвесные клифы, уходящие в глубину на 20-30 м, где сменяются песками. Таким образом, хотя внутри СЗОМ дискретных фитоценотических границ нет, однако такую границу необходимо провести у северо-восточной границы района по полуострову Лисянского. Далее, у юго-западных границ района, в западной части Удской губы, берега также имеют абразионный характер. Они формируются отвесными клифами. Весьма умеренная волновая нагрузка на этом участке с максимальной высотой волн до 2 м [<http://www.esimo.ru/atlas/Ohot>], способствует оседанию аккумуляционных фракций грунта на дне. Вследствие этого, клифы сменяются песчаными равнинами уже на глубине 5-10 м, а ширина пояса твердых грунтов, пригодных для заселения растительностью, нередко не превышает 10 м. Кроме того, Северо-Охотоморским течением в Удскую губу переносятся льды, которые могут встречаться здесь до июля включительно, вследствие чего растительность этого участка подвергается интенсивному истиранию льдами. Кроме того, льды способствуют



выхолаживанию прибрежных вод, поэтому даже летом температуры воды здесь составляют от 0,5 до 4 °С, в среднем около 2°С. Низкие температуры воды также препятствуют развитию водорослевого пояса на участке. Изменение общего характера растительного покрова, связанное с воздействием описанного комплекса абиотических условий, позволяет установить еще одну фитоценотическую границу в Охотском море, совпадающую с юго-западной границей района исследований в Удской губе.

Континуальные изменения структуры растительности прослеживаются по количественным градиентам ее обилия. Наличие количественных градиентов в распределении растительности СЗЯМ объясняется следующими причинами. Ширина Татарского пролива на юге района - от 100 до 210 км, тогда как на севере - от 30 до 100 км. По мере уменьшения ширины пролива с юга на север, закономерно уменьшается и максимальная высота волн от 5 до 0,8 м, соответственно. Это приводит к снижению общей гидродинамической нагрузки с юга на север, и как следствие - к градиентному увеличению удельных биомасс тех видов, которые испытывают на юге района избыточную гидродинамическую нагрузку. С другой стороны, снижение гидродинамической нагрузки с юга на север совместно с выносом больших масс терригенного осадочного материала из лимана р. Амур, приводит к плавному уменьшению глубин смены абразионных и денудационных береговых склонов аккумулятивными отложениями - от 17-40 м на юге района до 10-12 м на севере. Ширина пояса твердых грунтов также уменьшается от 2-3 км на юге до первых сотен метров на севере. Эти обстоятельства приводят как к закономерному сужению пояса растительности с юга на север, так и к плавному уменьшению предельных глубин его формирования в этом направлении.

Формирование поясов сублиторальной растительности СЗЯМ следует объяснять преобладающими особенностями геоморфологического строения берегов района. На большей части его протяженности под прибрежным клифом располагается бенч. Его мелководная часть представляет собой выположенную валунно-глыбовую отмостку с незаметным уклоном дна. На расстоянии 50-100 м (местами до 2000 м) от берега, отмостка сменяется слабонаклонным валунным склоном. Структуре берега соответствует распределение растительности - в прибрежной, наиболее прибойной части отмостки формируются поселения филлоспадикса, за которыми следует пояс сахарин. В верхней части валунного склона бенча формируются пояса с доминированием стефаноцистиса и саргассумов, а в нижней, более пологой его части - пояс агарума. Четырехкратное превышение количества доминирующих видов в СЗЯМ по сравнению с СЗОМ следует объяснять большим топическим разнообразием этого района по сравнению с обследованной частью Охотского моря.

Статистическую однородность обилия растительности в СЗОМ по широте (за исключением изменения характера растительности у границ района) следует объяснять характером ее субстратов - на большей части ее протяженности преобладают однородные выровненные денудационные берега, обуславливающие формирование пояса слабонаклонных валунных грунтов. Валунные склоны на разных участках побережья (за исключением нескольких бухт и заливов) испытывают относительно равномерную волновую нагрузку. Ступенчатый характер берегов в виде клифа, выположенной отмостки бенча и его склона, обуславливающий формирование поясов растительности в СЗЯМ, у обследованных берегов Охотского моря отмечается редко. Вследствие этого растительность района на большей части его протяженности имеет однородный характер в широтном направлении. Что касается черт статистической однородности распределения растительности по глубине, они очевидно, объясняются довольно небольшими глубинами (10-12 м) смены денудационных фракций грунта на аккумулятивные и относительно равномерным уклоном дна отдельных участков. Несмотря на то, что растительность обычно заселяет весь пояс доступных твердых субстратов, в условиях их относительного топического однообразия, имеющегося градиента глубин оказывается недостаточно для формирования вертикальных градиентов обилия растительности и ее поясов. Формирование протяженного 300-километрового лишнего растительности участка в СЗОМ на северо-востоке района объясняется выровненным аккумуляционным характером его берегов. Кроме того, для этой части района характерна

наибольшая высота волн, достигающих высоты 7 м [<http://www.esimo.ru/atlas/Oxot>]. Вследствие разрушения берегов под действием волн, на указанном участке преобладают подвижные мелкогравийные грунты, непригодные для формирования поселений макрофитов.

### **Заключение**

Выполненный анализ позволяет заключить, что наличие границ и градиентов сублиторальной растительности больших морских прибрежных районов связано не столько с их протяженностью, сколько с характером береговой линии, геоморфологической структуры берегов и гидрометеорологических особенностей районов. Внутри короткого по протяженности района СЗЯМ с относительно сложной геоморфологической структурой берегов и клинально изменяющимися гидрометеорологическими условиями, формируется сублиторальная растительность с относительно богатым составом доминантов, имеющих статистически значимые градиенты обилия и сменяющихся по широте и по глубине. В то же время относительно однородная геоморфологическая структура берегов внутри СЗОМ обуславливает довольно бедный состав доминантов района, распределение которых внутри района, как правило, статистически однородно. Поясная структура растительности и ее фитоценоотические границы определяют расположение пригодных для промысла поселений макрофитов.

### **Финансирование**

Работа не имела финансовой поддержки.

### **Список литературы:**

1. Миркин Б.М., Наумова Л.Г., Соломещ А.И. Современная наука о растительности: учебник. М.: Логос, 2001. – 264 с.
2. Лоция Татарского пролива, Амурского лимана и пролива Лаперуза. СПб.: ГУНИО МО РФ, 2003. – С. 10–193.
3. Кафанов А.И. Континуальность и дискретность геомериды: биономический и биотический аспекты // Журн. общ. биол. – 2005. – Т. 66, № 1. – С. 28–54.
4. Кафанов А.И. Континуальность и дискретность живого покрова: проблема масштаба // Журн. общ. биол. – 2006. – Т. 67, № 4. – С. 311–313.
5. Жирков А.И. Жизнь на дне. Биогеография и биоэкология бентоса. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2010. – 453 с.
6. Миркин Б.М., Наумова Л.Г. Современное состояние основных концепций науки о растительности: монография. Уфа: АН РБ, Гилем, 2012. – 488 с.
7. Блинова Е.И. Водоросли-макрофиты и травы морей европейской части России (флора, распространение, биология, запасы, марикультура). М.: ВНИРО, 2007. – 113 с.
8. Блинова Е.И. Водоросли-макрофиты и травы дальневосточных морей России (флора, распространение, биология, запасы, марикультура). М.: ВНИРО, 2014. – С. 46-65.
9. Ресурсы и рациональное использование морских водорослей и трав дальневосточных морей России // под общ. ред. В.Н. Акулина. Владивосток, ТИНРО: 2020. – 268 с.
10. Вальтер Г. Общая геоботаника. М.: Мир, 1982. – 261 с.
11. Пузаченко Ю.Г. Математические методы в экологических и географических исследованиях: Монография. М.: Academia, 2004. – 409 с.

12. Перестенко Л.П. Красные водоросли дальневосточных морей России. СПб.: Ольга, 1994. – 331 с.
13. Ключкова Н.Г. Флора водорослей-макрофитов Татарского пролива и особенности ее формирования. Владивосток: Дальнаука, 1996. – 291 с.
14. Ключкова Н.Г. Водоросли-макрофиты дальневосточных морей России: дис. ... д-ра биол. наук. Петропавловск-Камчатский, 1998. – 277 с.
15. Семкин Б.И., Ключкова Н.Г., Гусарова И.С., Горшков М.В. Дискретность и континуальность флор водорослей-макрофитов дальневосточных морей России. I. Общий видовой состав. // Изв. ТИНРО. – 2010 а. – Т. 160. – С. 57–70.
16. Семкин Б.И., Ключкова Н.Г., Гусарова И.С., Горшков М.В. Дискретность и континуальность флор водорослей-макрофитов дальневосточных морей России. II. Зеленые (Chlorophyta), бурые (Phaeophyta), красные (Rhodophyta) // Изв. ТИНРО. – 2010 б. – Т. 162. – С. 104–112.
17. Семкин Б.И., Ключкова Н.Г., Гусарова И.С., Горшков М.В. Дискретность и континуальность флор водорослей-макрофитов дальневосточных морей России. III. Таксономические спектры // Изв. ТИНРО. – 2010 в. – Т. 163. – С. 217–227.
18. Гусарова И.С. Макрофитобентос сублиторальной зоны островов Итуруп, Уруп и Симушир (Большая Курильская гряда): Автореф. ... дис. канд. биол. наук. Л., 1975. – 23 с.
19. Евсеева Н.В. Макрофитобентос прибрежной зоны южных Курильских островов: состав, распределение и ресурсы: автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 2009. – 22 с.
20. Дуленин А.А. Распределение сублиторальной растительности материкового побережья Охотского моря (в пределах Хабаровского края) // Изв. ТИНРО. – 2015. – Т. 180. – С. 107–127.
21. Дуленин А.А. Распределение видов-доминантов макрофитов по глубине в северо-западной части Татарского пролива // Биол. моря. – 2019. – Т. 45, № 2. – С. 97–107.
22. Дуленин А.А., Гусарова И.С. Широтные изменения состава и структуры растительности в северо-западной части Татарского пролива // Биол. моря. – 2016. – Т. 42, № 4. – С. 272–279.
23. Лоция Татарского пролива, Амурского лимана и пролива Лаперуза. СПб.: ГУНИО МО РФ, 2003. – С. 10–193.
24. Лоция Охотского моря. Выпуск 2. Северная часть моря. Л.: ГУ МО СССР, 1971. С. 67–110.
25. Каплин П.А., Леонтьев О.К., Лукьянова С.А., Никифоров Л.Г. Берега. М.: Мысль, 1991. – 479 с.
26. Блинова Е.И., Вилкова О.Ю., Милютин Д.М., Пронина О.А., Штрик В.А. Методические рекомендации по учету запасов промысловых гидробионтов в прибрежной зоне. М.: Изд-во ВНИРО, 2005. – 80 с.
27. Белый М.Н. Видовой состав, особенности распределения водорослей-макрофитов в северной части Охотского моря и их значение как нерестового субстрата в районах размножения сельди. Дисс. канд. биол. наук. Магадан: МоТИНРО, 2011. – 175 с.
28. Паймеева Л. Г. Распределение и рост *Laminaria japonica* Aresch. f. *longipes* (Miyabe et Tokida) Petr. в северном Приморье // Промысловые водоросли и их использование. М., 1987. – С. 26–33.
29. Паймеева Л.Г., Гусарова И.С. Состояние зарослей *Laminaria japonica* f. *longipes* (Miyabe et Tokida) Petr. в северном Приморье // Комаровские чтения. – 1993. – Вып. 38. – С. 20–36.
30. Пищальник В.М., Бобков А.О. Океанографический атлас шельфовой зоны острова Сахалин. Часть 1. Южно-Сахалинск: СахГУ, 2000. – 174 с.
31. Ушаков П.В. Амурский лиман как фаунистический барьер // Фауна Охотского моря и условия ее существования. Л.: АН СССР, 1953. – С. 175–178.
32. <http://www.esimo.ru/atlas/Oxot>

УДК 597.585.2-169:574.3(261.1)

Рубрика 34.33.33

ПАРАЗИТЫ КАК ИНДИКАТОРЫ ФИЛОГЕНЕТИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ ОКУНЯ-КЛЮВАЧА *SEBASTES MENTELLA* (SEBASTIDAE)

PARASITES AS INDICATORS OF PHYLOGENETIC FEATURES OF THE BEAKED REDFISH *SEBASTES MENTELLA* (SEBASTIDAE)

**Бакай Юрий Иванович**

*Полярный филиал “ВНИРО” (“ПИНРО” им. Н.М. Книповича), Мурманск*

**Bakay Yuri Ivanovich**

*Polar Branch of the “VNIRO” (“PINRO” named after N.M. Knipovich), Murmansk*

## **Введение**

Эколого-паразитологический метод, использующий результаты сравнительного анализа данных о составе и специфике формирования сообществ паразитов, встречаемости отдельных их видов в качестве биомаркеров различий/сходства условий обитания, популяционной биологии и филогенетических особенностей их хозяев, является общепризнанным. Он применен автором на примере филогенетически молодых североатлантических окуней рода *Sebastes*, которым свойственна межвидовая гибридизация, ограничивающая использование генетико-биохимических и морфометрических данных в популяционных исследованиях этих рыб. Поэтому некоторые исследователи указывают на определенные преимущества применения паразитов как индикаторов экологии и популяционной биологии своих хозяев.

Морские окуни рода *Sebastes* населяют северную часть Тихого и Атлантического океанов. Четыре их вида: *S. fasciatus* - американский окунь; *S. mentella* - окунь-клювач (клювач); *S. norvegicus* (синоним *S. marinus*) - золотистый окунь; *S. viviparus* - малый окунь, симпатрически распределяющиеся во многих районах морей Северной Атлантики (СА) и смежного района Северного Ледовитого океана (СЛО), называют североатлантическими. В настоящее время обосновано существование трех популяций окуня-клювача: норвежско-баренцевоморской, североатлантической и банки Флемиш-Кап (Бакай, 2021, Melnikov, 2016).

## **Данные и методы**

Материалом для исследований послужили результаты полного паразитологического вскрытия (Быховская-Павловская, 1985) и видовой идентификации паразитов от 2358 особей окуня-клювача общей длиной (*TL*) 6-50 см в возрасте 5-26 лет, выполненных автором в 1983-2010 гг. в 24 районах морей СА и смежного района СЛО, охватывающих большую часть его ареала на акватории морей Баренцева, Норвежского, Ирмингера и Лабрадор (рис 1). Пробы рыб отобраны из уловов донным и пелагическим тралами на глубине 100-900 м в 32 рейсах научно-исследовательских и промысловых судов. Регистрация эктопоражений окуня-клювача (встречаемость копеподы *Sphyrion lumpi* и кожных пигментных пятен) проведена по оригинальной методике (Бакай, Карасев, 1995). Для анализа географических особенностей

сообществ паразитов клювача использованы расчеты мер сходства ( $L_0$ ) их состава на основе коэффициента Сёренсена-Чекановского по “взвешенному парно-групповому методу” (Бейли, 1970). Анализ темпа полового созревания окуня-клювача проведен по  $TL$  массового (50 %) созревания его особей. Принято положение о том, что степень обособленности сравниваемых групп рыб имеет обратную зависимость от значений  $L_0$  (Андреев, Решетников, 1978) и прямую зависимость от величины отличий темпа полового созревания их особей (Hall et al., 2015). Группировки окуня-клювача - группы его особей, имеющие определенную обособленность, вызывающую снижение обмена потоков генов между ними.

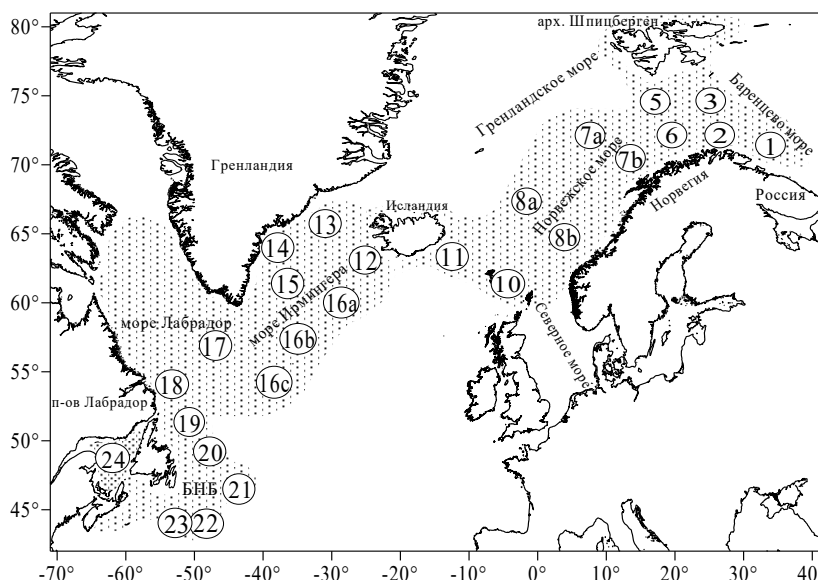


Рис. 1. Ареал и районы (1-24) исследования окуня-клювача в морях СА (Ирмингера, Лабрадор) и СЛО (Баренцево, Норвежское):

- 1 – Мурманская банка; 2 – Нордкинская банка; 3 – западная часть Баренцева моря;
- 5 – Западный склон Медвежинской банки; 6 – район Копытова; 7аb – северная часть пелагиали Норвежского моря; 8аb – южная часть пелагиали Норвежского моря; 10 – восток фарерской рыболовной зоны; 11-12 – батиаль Исландии; 13-14 – батиаль Гренландии;
- 15 – пелагиаль рыболовной зоны Гренландии; 16аbс – пелагиаль открытой части моря Ирмингера; 17 – пелагиаль моря Лабрадор; 18 – банка Гамильтон; 19 – Северная Ньюфаундлендская банка; 20 – северо-восток Большой Ньюфаундлендской банки (БНБ); 21 – банка Флемиш-Кап; 22-23 – южные склоны БНБ; 24 – залив Святого Лаврентия

Особей окуня-клювача в возрасте начала полового созревания и старше ( $> 6$  лет,  $TL > 26$  см), обитающих в пелагиали СА и Норвежского моря, относим к его “пелагическим группировкам”, а распределяющихся на смежных акваториях батиали Норвегии, Гренландии, Исландии и Канады (кроме банки Флемиш-Кап) - к “придонным группировкам”. Принятое районирование акватории исследований базируется на современных представлениях (Границы океанов..., 2000).

## Результаты

Ранее автором по итогам сравнительного анализа состава сообществ паразитов показано значительное преобладание доли (25,6 %) их специфичных роду *Sebastes* видов у морских окуней в северной Пацифике, по сравнению с 8,0 % в морях СА и смежного района СЛО (Бакай, 2013а). Вторым из них была характерна меньшая доля специфичных видов и в высокоспециализированных классах паразитов (Muxozoa, Monogenea, Hexanauplia) при отсутствии специфичности среди гельминтов, свидетельствуя об относительной молодости



отношений в системах “паразит - хозяин” у окуней рода *Sebastes* в морях СА и СЛО. Наряду с этим, большое видовое разнообразие (101 вид) *Sebastes* в Пацифике (Снытко, 2001) соответствуют гипотезе В.В. Барсукова (1981) о филогенетической молодости и тихоокеанском происхождении североатлантических видов *Sebastes*.

Экологическая дифференциация видов североатлантических *Sebastes*, выявленная посредством паразитологических данных, обусловлена процессами и направлением видообразования этих рыб, выраженными в смещении их обитания от побережья на большую глубину акватории шельфа, батиали и в мезопелагиаль, при росте миграционной активности в ряду видов окуней: малый → американский → золотистый → клювач. Такую последовательность видообразования *Sebastes* подтверждают итоги анализа сравнительной молодости отношений в их системах “паразит - хозяин”. Она имеет обратную зависимость доли (%) видов специфичных паразитов от всего их сообщества (Беклемишев, 1970) и характеризует относительный филогенетический возраст видов морских окуней (рис. 2). Указанные особенности видовой дифференциации североатлантических *Sebastes* согласуются с итогами генетических исследований, указывающих на максимальную среди них филогенетическую молодость окуня-клювача (Рольский и др., 2017).

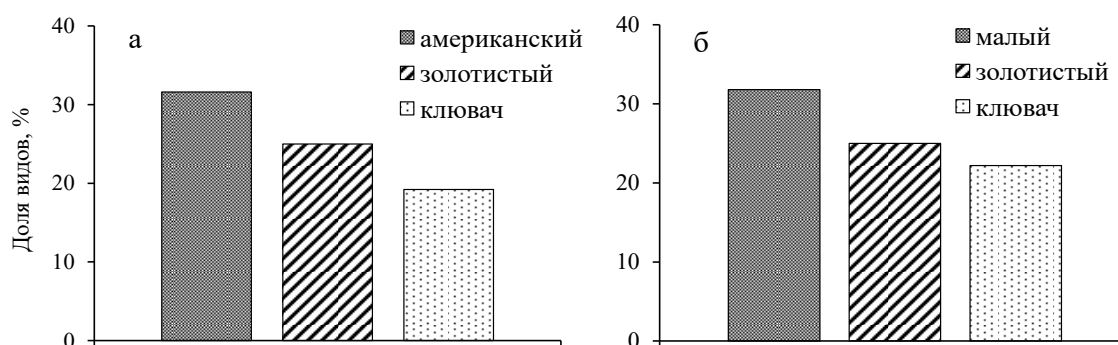


Рис. 2. Доля специфичных роду *Sebastes* видов паразитов от их общего количества у трех видов морских окуней в Северной Атлантике (а) и Северном Ледовитом океане (б)

Результаты наших исследований доказывают наличие миграции созревающих особей окуня-клювача североатлантической популяции из гренландской выростной области (районы 13-14) по двум направлениям, определяемым темпом полового созревания рыб. Так, раносозревающие особи окуня ( $L_{50} = 29-31$  см, возраст 9-11 лет) мигрируют в пелагиаль морей Ирмингера и Лабрадор (районы 15-17). Они формируют пелагическую группировку окуня, состоящую на 88-97 % из половозрелых рыб. Поздносозревающие особи клювача ( $L_{50} = 35-43$  см, 14-19 лет) не остаются в выростной области, как полагали ранее, а смещаются в батиаль (глубина 600-1200 м) Гренландии, Канады и Исландии, формируя придонную группировку этой популяции за счёт крупных, но большей частью (61-87 %) неполовозрелых рыб. Длина и возраст особей клювача его придонной группировки при  $L_{50}$  больше, чем пелагической, в среднем соответственно на 7,9 см и 5,3 года. Значимые отличия состава сообществ паразитов ( $L_0 = 70-78$  %), возрастного состава, темпов линейного и весового роста, созревания по размеру и возрасту рыб (Мельников, Бакай, 2006, 2009а, б) указывают на обособленность пелагической и придонной группировок клювача в морях СА (Бакай, 2021), подтвержденную итогами подводного мечения окуня (Sigurdsson et al., 2006). Кроме того, у особей окуня-клювача в пелагиали морей СА произошли и морфологические изменения, способствующие росту его миграционной активности: уменьшение толщины тела, длины головы и шипов на ней (Garabana, 2005).



Как и в морях СА, пелагическую группировку клявача в северной части Норвежского моря (районы 7ab) формируют раносозревающие особи ( $L_{50} = 29-31$  см, возраст 9-11 лет) с малой долей (3,3 %) неполовозрелых рыб. Длина и возраст при массовом созревании особей клявача придонной группировки в северо-восточной части Норвежского моря (районы 5-6) больше на 3,1 см и 2 года, а доля неполовозрелых рыб - 39,4 %. Более высокая мера сходства ( $L_0 = 91,4$  %) при малой доле (21,0 %) видов со значимыми различиями ( $p < 0,05$ ) в степени зараженности паразитами общих видов для клявача пелагической и придонной группировок в северной части Норвежского моря, по сравнению с этими показателями в морях СА (соответственно  $L_0 = 70,3-74,3$  %, доля общих видов со значимыми различиями в зараженности 42,9-59,1 %), указывают на меньшую обособленность таких группировок клявача норвежско-баренцевоморской популяции (Бакай, 2021). Наряду с этим, наличие синхронности межгодовой динамики инвазии окуня-клявача копеподой *Sphyrion lumpi* в этих биотопах СЛО (Бакай, 2011) доказывает возврат особей окуня-клявача из пелагиали в батиналь Норвежского моря на зимний период, в отличие от рыб в морях СА, где его единая пелагическая группировка североатлантической популяции обитает, очевидно, постоянно.

Окуня-клявача в пелагиали моря Ирмингера отличают регистрируемое нами многолетнее (1981–2022 гг.) отсутствие значимых колебаний и значимо более высокая зараженность этого хозяина единственным видоспецифичным паразитом - копеподой *S. lumpi* (рис. 3а) и встречаемость кожных пигментных пятен (рис. 3в) у его самок, отсутствующих в других районах ареала. Такие стабильные во времени и пространстве дискретность и значимые половые различия этих явлений обоснованы автором в качестве фенотипов (в понимании А.В. Яблокова (1982)) пелагической группировки североатлантической популяции окуня-клявача (Бакай, 2013б, 2015). Вероятной причиной постоянства половых различий зараженности, свойственных этому хозяину во всех его размерных группах, может являться наличие предполагаемого отбора на устойчивость к инвазии копеподой *S. lumpi*, доминирующего у самцов окуня этой популяции (Makhrov et al., 2011).

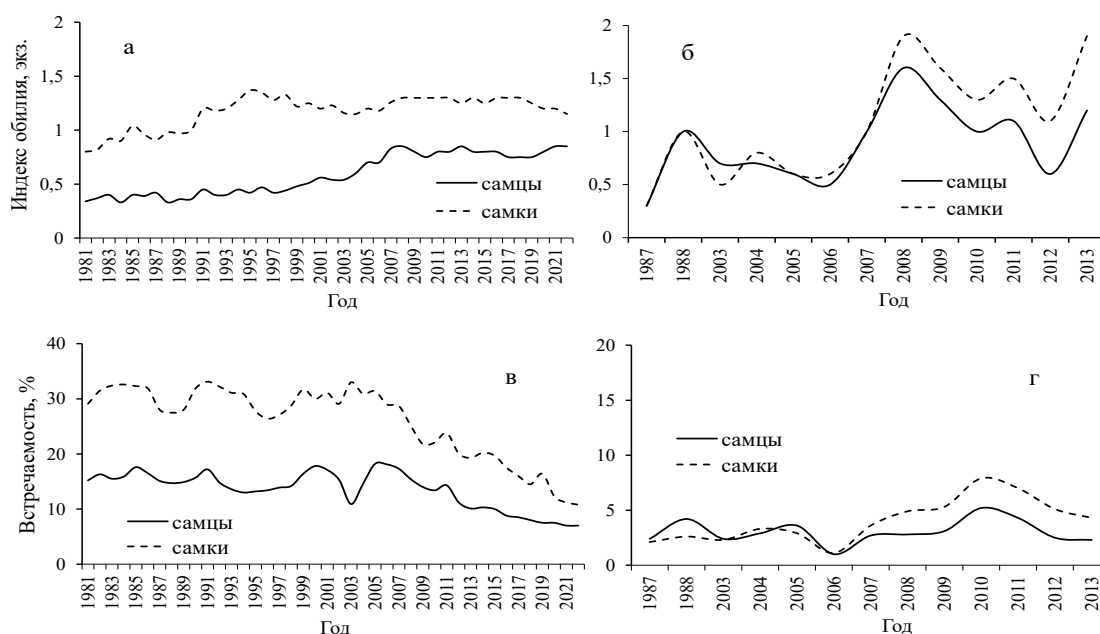


Рис. 3. Межгодовая динамика индекса обилия зараженности копеподой *Sphyrion lumpi* (а, б) и встречаемости кожных пигментных пятен (в, г) у особей окуня-клявача в пелагиали северных частей морей Ирмингера (а, в) и Норвежского (б, г) в 1981-2022 гг.

В пелагиали северной части Норвежского моря до 2008 г. показатели встречаемости этих

эктопаразитов у самок и самцов окуня были схожи, но в последующие годы значительно выросли и стали постоянно доминировать у самок (рис. 3б, г). Это свидетельствует, по мнению автора, о возникновении в этот период миграции части особей окуня-клювача из пелагиали моря Ирмингера через юго-западную в северную часть Норвежского моря с образованием смешанных скоплений особей двух его популяций.

Миграция окуня-клювача в Норвежское море, возникшая в начале 2000-х гг., указывает на существование “донорства” его североатлантической популяции в отношении норвежско-баренцевоморской популяции и вероятном источнике происхождения второй из них, очевидно, после завершения Последнего ледникового максимума. Итоги исследований, указавших на генетическую близость особей окуня-клювача морей Ирмингера и Норвежского по данным микросателлитного анализа структуры ДНК (Stefansson et al., 2009) и анализа ферментных локусов (Строганов и др., 2009), не противоречат этой гипотезе.

## Выводы

Межвидовые отличия состава сообществ паразитов филогенетически молодых североатлантических окуней рода *Sebastes* являются следствием их экологической дифференциации, обусловленной процессами и последовательностью видообразования, выраженными в уходе на большую глубину акватории шельфа, батиали и в мезопелагиаль.

Формирование внутрипопуляционных группировок в двух популяциях окуня-клювача на акватории больших глубин батиали и в мезопелагиали морей СА и Норвежского моря отражает присущую этому экологически пластичному и филогенетически наиболее молодому среди *Sebastes* виду стратегию на расширение ареала как направления современного этапа его микроэволюции. Такая жизненная стратегия вида снижает напряженность конкурентных отношений различного ранга в обоих биотопах при уменьшении возраста наступления половой зрелости и росте миграционной активности у его особей в мезопелагиали.

Усложнение экологической структуры вида согласуется с “гипотезой темпа жизни”, согласно которой быстрый темп жизни подразумевает более быстрый рост и раннее созревание, большую активность и скорость метаболизма (Hall et al., 2015). Продолжающийся процесс видообразования у окуня-клювача направлен, вероятно, на усиление обособленности особей его пелагических и придонных группировок. Результатом этого может стать и репродуктивная изоляция, предпосылки которой отмечены у клювача в Норвежском море.

Стабильные во времени и пространстве дискретность и значимые различия степени инвазии самцов и самок окуня-клювача копеподой *S. lumpi*, являясь феном пелагической группировки североатлантической популяции этого вида морских окуней, свидетельствуют о том, что видоспецифичные паразиты могут служить не только индикатором экологических особенностей, но и “родства” своего хозяина.

Итоги сравнительного анализа характеристик выявленных фенов окуня-клювача, указывающие на возникновение в начале 2000-х гг. миграции части его особей из пелагиали моря Ирмингера в Норвежское море, свидетельствуют о существовании “донорства” его североатлантической популяции в отношении норвежско-баренцевоморской популяции и вероятный источник происхождения второй из них.

## Благодарность

Автор признателен коллегам из Полярного филиала ФГБНУ “ВНИРО” В.И. Попову и М.Ю. Калашниковой за содействие в сборе и обработке анализируемых материалов.

## Список литературы

1. Андреев В.Л., Решетников Ю.С. Анализ состава пресноводной ихтиофауны Северо-Восточной части СССР на основе методов теории множеств // Зоологически журнал. – 1978. – Т. 57, вып. 2. – С. 165–174.
2. Бакай Ю.И. Эколого-паразитологическая характеристика окуня-клювача *Sebastes mentella* (Scorpaeniformes: Sebastidae) Норвежского моря и смежных вод // Вопросы ихтиологии. – 2011. – Т. 51, № 1. – С. 97–104.
3. Бакай Ю.И. К вопросу о происхождении североатлантических *Sebastes* (Scorpaenidae) на основе анализа их паразитофауны // Биология моря. – 2013а. – Т. 39, № 3. – С. 227–229.
4. Бакай Ю.И. Заражение копеподой *Sphyrion lumpi* как фен североатлантической популяции окуня-клювача *Sebastes mentella* (Sebastinae) // Паразитология в изменяющемся мире. Мат-лы Всерос. конф. – Новосибирск: Гарамонд, 2013б. – С. 20.
5. Бакай Ю.И. Кожные пигментные образования как фен североатлантической популяции окуня-клювача *Sebastes mentella* // Биология моря. – 2015. – Т. 41, № 2. – С. 145–148.
6. Бакай Ю.И. Сообщества паразитов как индикаторы экологии, внутривидовой и надвидовой структуры морских окуней рода *Sebastes* (Scorpaeniformes) Атлантического и Северного Ледовитого океанов: автореф. дисс. ... д-ра биол. наук. – М., 2021. – 48 с.
7. Бакай Ю.И., Карасев А.Б. Диагностика и регистрация эктопоражений морских окуней (методическое руководство); – Мурманск: Изд-во ПИНРО, 1995. – 22 с.
8. Бейли Н. Математика в биологии и медицине / перевод с англ. – М.: Мир, 1970. – 326 с.
9. Барсуков В.В. Морские окуни (Sebastinae) Мирового океана - их морфология, экология, распространение, расселение и эволюция: автореф. дисс. ... д-ра биол. наук. – Л., 1981. – 50 с.
10. Беклемишев В.Н. Биоценологические основы сравнительной паразитологии. – М.: Наука, 1970. – С. 143–154.
11. Быховская-Павловская И.Е. Паразиты рыб. Руководство по изучению. – Л.: Наука, 1985. – 120 с.
12. Границы океанов и морей / Главное управление навигации и океанографии МО РФ. 2-е изд., дополн. – СПб.: ЦКП ВМФ, 2000. – 206 с.
13. Мельников С.П., Бакай Ю.И. Биолого-экологическое обоснование мер регулирования промысла окуня-клювача в районе Исландии // Рыбное хоз-во. – 2006. – № 1. – С. 48–50.
14. Мельников С.П., Бакай Ю.И. Структура скоплений и основные популяционные характеристики окуня-клювача *Sebastes mentella* (Scorpaenidae) в пелагиали моря Ирмингера и смежных вод // Вопросы ихтиологии. – 2009а. – Т. 49, № 2. – С. 200–213.
15. Мельников С.П., Бакай Ю.И. Пополнение запаса окуня-клювача *Sebastes mentella* (Scorpaeniformes: Scorpaenidae) в пелагиали моря Ирмингера и смежных вод // Вопросы ихтиологии. – 2009б. – Т. 49, № 5. – С. 669–680.

16. Рольский А.Ю., Махров А.А., Артамонова В.С. Процессы видообразования морских окуней рода *Sebastes* Атлантического и Северного Ледовитого океанов // Современные проблемы биологической эволюции: мат. III Межд. конф. – М.: ГДМ, 2017. – С. 101–104.
17. Снытко В.А. Морские окуни северной части Тихого океана. – Владивосток: Тихоокеанский научно-исследовательский рыбохозяйственный центр, 2001. – 468 с.
18. Строганов А.Н., Лепесевич Ю.М., Мельников С.П. Биолого-генетическая характеристика окуня-клювача *Sebastes mentella* (Scorpaenidae) открытой части Норвежского моря // Вопросы ихтиологии. – 2009. – Т. 49, № 3. – С. 333–340.
19. Яблоков А.В. Состояние исследований и некоторые проблемы фенетики популяций // Фенетика популяций. – М.: Наука, 1982. – С. 3–14.
20. Garabana D. The genus *Sebastes* Cuvier, 1829 (Pisces, Scorpaenidae) in the North Atlantic: Species and stock discrimination using traditional and geometric morphometrics // PhD Thesis, University of Vigo, Spain. – 2005. – 306 p.
21. Hall M., Asten T., Katsis A. et al. Animal personality and pace-of-life syndromes: do fast-exploring fairy-wrens die young? [Electronic resource] // Frontiers in Ecology and Evolution. – 2015. – Режим доступа: <https://doi.org/10.3389/fevo.2015.00028>
22. Makhrov A., Artamonova V., Popov V., Rolskiy A., Bakay Yu. Comment on: Cadrin et al. (2010) “Population structure of beaked redfish, *Sebastes mentella*: evidence of divergence associated with different habitats // ICES J. Marine Science. Vol. 67: 1617–1630” // ICES J. Marine Science. – 2011. – Vol. 68(10). – P. 2013–2015.
23. Melnikov S.P. Intraspecies structure of beaked redfish *Sebastes mentella* of the Atlantic and Arctic oceans // J. of Ichthyology. – 2016. – Vol. 56, № 1. – P. 52–71.
24. Sigurðsson T., Thorsteinsson V., Gustafsson L. In situ tagging of deep-sea redfish: application of an underwater, fish-tagging system // ICES J. Marine Science. – 2006. – Vol. 63. – P. 523–531.
25. Stefansson M., Reinert J., Sigurðsson P. et al. Depth as a potential driver of genetic structure of *Sebastes mentella* across the North Atlantic Ocean // ICES J. Marine Science. – 2009. – Vol. 66. – P. 680–690.

УДК 574.91

Рубрика 34.23.35

ДИКАЯ ПОПУЛЯЦИЯ ГИГАНТСКОЙ УСТРИЦЫ (*MAGALLANA GIGAS* (THUNBERG, 1793)) НА АЗОВО-ЧЕРНОМОРСКОМ ПОБЕРЕЖЬЕ КРАСНОДАРСКОГО КРАЯ

WILD POPULATION OF GIANT OYSTER (*MAGALLANA GIGAS* (THUNBERG, 1793)) ON THE AZOV-BLACK SEA COAST OF THE KRASNODAR REGION

**Ананьева Марина Сергеевна<sup>1</sup>, Симакова Ульяна Вадимовна<sup>1</sup>, Тимофеев Виталий Анатольевич<sup>2</sup>, Семин Виталий Леонидович<sup>1</sup>, Колючкина Галина Антоновна<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН (ИО РАН), г. Москва*

<sup>2</sup> *Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН, Севастополь*

**Ananeva Marina Sergeevna<sup>1</sup>, Simakova Ulyana Vadimovna<sup>1</sup>, Timofeev Vitaly Anatolyevich<sup>2</sup>, Syomin Vitaly Leonidovich<sup>1</sup>, Kolyuchkina Galina Antonovna<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Shirshov Institute of Oceanology Russian Academy of Sciences, Moscow*

<sup>2</sup> *A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS RAS, Sevastopol*

## **Введение**

В начале-середине XX века в Черном море была широко распространена плоская европейская устрица – *Ostrea edulis* L., 1758 [Переладов, 2005]. После практически полного вымирания этого вида в конце 1970-х гг. из-за перелова, эпизоотий и пресса хищников [Переладов, 2005] в Азово-Черноморские морские устричные фермы стали завозить гигантскую устрицу *Magallana gigas* (Thunberg, 1793), устойчивую к патогенам, опасным для *O. edulis*. Институтом рыбного хозяйства (ВНИРО) была разработана программа по искусственной интродукции этого вида в черноморскую экосистему, в частности проводился выпуск личинок в воды Керченского пролива, черноморского побережья Крыма и Кавказа [Орленко, 2012]. В результате уже в 1980-х гг. стали отмечать первые единичные находки этого вида-интродуцента в диких популяциях на скалах [Переладов, 2005; Переладов, 2020]. Однако, по данным О.А. Скарлато, Я. И. Старобогатова [Скарлато, Старобогатов, 1972], первое упоминание дикой формы вида *M. gigas* в Черном море (Севастопольская бухта) относится к началу XX в. Кроме того, вид был отмечен Е. И. Драпкиным в 1956 в районе г. Новороссийск [Скарлато, Старобогатов, 1972]. Все эти находки были единичными.

В настоящее время известно, что дикая популяция интродуцента отмечена в прибрежных водах Румынии, Турции, Украины [Aydin et al., 2021] и Абхазии [Каталандзе и др., 2021]. Для этих районов находки подтверждены молекулярно-генетическими данными. Существует ряд работ по изучению дикой популяции гигантской в прибрежных черноморских водах Крыма [Слынько и др., 2018; Баяндина и др., 2021]. Но данные о распространении и генетической структуре популяции в прибрежных водах Кавказа и в Азовском море пока остаются недостаточными и включают упоминание отдельных находок в районе м. Большой Утриш и г. Геленджик [Переладов, 2005; 2020; Баяндина и др., 2021]. По данным некоторых авторов в Черном море могут встречаться не только *M. gigas* но и *Crassostrea virginica* (Gmelin, 1791), и



*Magallana angulata* (Lamarck, 1819) [Слынько и др., 2018]. Устрицы чрезвычайно изменчивы по форме раковины. Так в зависимости от типа субстрата *M. gigas* может иметь вытянутую, овально-укороченную, гладкую или фестончатую раковину. Это чрезвычайно осложняет идентификацию видовой принадлежности устриц. Поэтому целью настоящего исследования стала оценка распространения тихоокеанской устрицы *M. gigas* на Азово-Черноморском побережье Краснодарского края РФ, верификация ее видовой принадлежности молекулярно-генетическими методами и описание генетической структуры популяции этого вида.

## Материалы и методы

Сбор материала проводили в 2019-2023 гг. на побережье Краснодарского края РФ (рис. 1). Основной метод сбора материала – ручной водолазный сбор. Осматривали гидротехнические сооружения, скалы, валуны на глубинах до 9 метров, в бух. Инал проводили сбор макрозообентосных проб дночерпателем и тралом Сигсби.

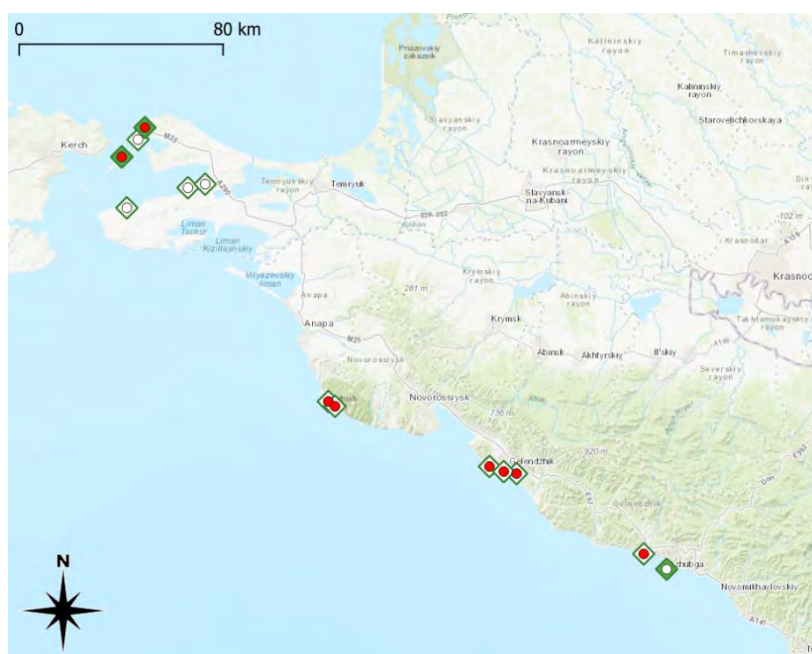


Рисунок 1. Карта-схема сбора материала. Красные круги – места обнаружения живых особей *M. gigas*, зеленые ромбы – места обнаружения пустых створок молодых особей, белые ромбы – не обнаружены пустые створки, белые круги – не обнаружены живые особи.

Для исследования разнообразия *M. gigas* было использовано 23 моллюска из дикой популяции у берегов Кавказа Черного моря (пос. Архипо-Осиповка – 1 (ноябрь 2021г.), Голубая бухта – 6 (июль 2020 г.), Геленджикская бухта – 15 (ноябрь 2021 г.), Заповедник Утриш – 1 июль 2023 г.)). А также 18 образцов, полученных из коммерческого хозяйства (Приморский край, надеждинский р-он, пос. Де-Фриз, д. Береговая База, выловлено 16.05.2022).

Для выделения ДНК использовали ткани мускула-замыкателя зафиксированные 96% этанолом. Выделение ДНК проводили с помощью DNeasy 96 Blood & Tissue Kit (Qiagen) в соответствии с протоколом производителя. ПЦР проводили с помощью HS-ScreenMix (Evrogen) и пары праймеров HCO2198 –LCO1490 [Folmer, et al, 1994] при температуре



отжига 54°C. Секвенирование проводили с помощью набора реактивов ABI PRISM® BigDye™ Terminator v. 3.1 с последующим анализом продуктов реакции на автоматическом секвенаторе Applied Biosystems 3500 Genetic Analyzer. Последовательности были обработаны и выровнены в программе CodoneCode Aligner (CodonCode Corporation, Dedham, Massachusetts). Для сравнения последовательностей с помощью алгоритма BLAST использовали базу данных GeneBank (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/>). Выравнивание, с использованием данных GeneBank проводили с помощью алгоритма ClustalOmega [Sievers, et. al, 2020]. Гаплотипная сеть (TCS-сеть) была построена методом статистической парсимонии [Clement et al., 2002] в программе Popart 1.7 [Leigh et al., 2015].

### Результаты и обсуждение

Большинство особей, найденных в ходе настоящего исследования, были молодыми – их размеры (высота раковины) не превышали 40 мм. Наиболее крупные особи отмечены в массовых поселениях на пирсе ЮО ИО РАН (до 52 мм). В районе порта Кавказ в штормовых выбросах были отмечены мертвые створки устриц с высотой раковины до 74 мм, в районе бух. Инал в траловых сборах – до 30 мм. Устрицы имели разную форму раковины, при этом левая створка, прикрепляющаяся к субстрату, всегда была чашеобразной, что позволяет отличить ее от *Ostrea edulis* [Скарлато, 1981]. Верхняя створка имела разную форму: при низкой плотности поселений (единичные экземпляры) она была плоской и гладкой, практически без фестонов (рис. 2б), а при образовании сплошного покрова становилась клювовидной и фестончатой (рис. 2а, г). Внутренняя поверхность раковин была гладкой и беловатой, а мускульные отпечатки – темно-фиолетовыми (рис. 2в).

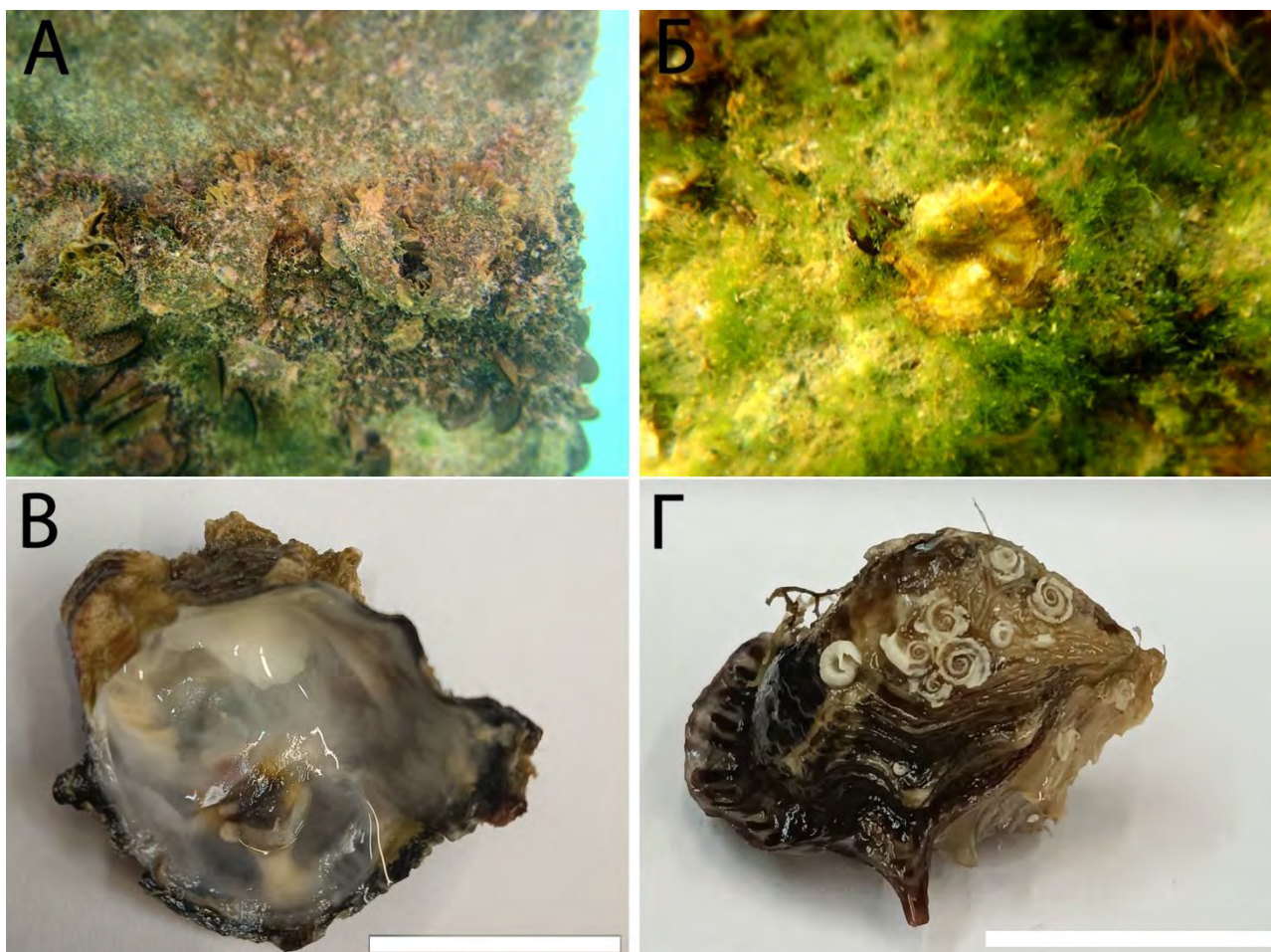


Рисунок 2. Фотографии устриц *M. gigas* из (а) Голубой бухты (июль 2023 г.), (б) пос. Ильич (июль 2023 г.), вид левой створки изнутри (в) и отделенной от субстрата устрицы, растущей в высокоплотных поселениях (г). Масштабный отрезок – 20 мм.

Наиболее массово устрицы встречались у уреза воды и на глубинах менее 1.5 м в двух районах – Голубая бухта (пирс ЮО ИО РАН, рис. 2 а) и Геленджикская бухта (оброст буев рыбацких сетей, рис. 2 г). Здесь гигантские устрицы образовывали сплошной покров всей поверхности от уреза воды до глубины около 30 см. На сваях пирса ниже этого пояса устриц располагался пояс мидий *Mytilus galloprovincialis* Lam. 1819, достигающий глубины до 1.0–1.5 м (рис. 2 а). Глубже устрицы встречены единично. Биотопы, в которых были отмечены устрицы – бетонные сваи гидротехнических сооружений в Голубой бухте и г. Геленджик, грядовый бенч в районе пос. Архипо-Осиповка, Голубой бухты и г. Геленджик, валунные навалы в районе Заповедника Утриш и Керченском проливе (пос. Ильич – рис. 2 б, коса Чушка близ п. Кавказ).

Впервые в настоящем исследовании была отмечена дикая популяция *M. gigas* в Азовском море (Керченский пролив – коса Чушка близ порта Кавказ и пос. Ильич). Мы предполагаем, что это связано с осолонением Азова, продолжающимся с 2007 г. При подробнейшем обследовании побережья в 2008-2009 гг. после разлива мазута пустых створок устриц в штормовых выбросах нами отмечено не было [Kolyuchkina et al., 2012], что указывает на корреляцию появления устриц с ростом солености в Азове и в проливе. Так, в период отбора проб соленость в прибрежных водах в пос. Ильич составляла 16‰. В Таманском заливе, где соленость достигала 17.5-20.0‰ устрицы, тем не менее, обнаружены не были.

Получены последовательности ДНК фолмеровского участка гена COI 41 моллюска длиной 649 п.н. Сходство между 40 последовательностями составляло 99.2-100%. Один образец (BLS1463, Геленджикская бухта) отличался от остальных: 97.7%-98.0% сходства. При сравнении с опубликованными данными (GeneBank) выявлено высокое сходство (99-100%) большинства последовательностей с образцами, обозначенными как *Magallana (Crassostrea) gigas*. Образец BLS1463 имел 100% сходства с образцами, обозначенными как *Magallana (Crassostrea) angulata*. Всего в исследованной выборке было выявлено 13 гаплотипов, среди которых: в Черном море – 10, а на Дальнем Востоке – 5. Один гаплотип является самым распространенным (в том числе и в мировой популяции) и встречен в каждой точке. Еще один гаплотип встречен в Геленджикской бухте и на Дальнем востоке. Остальные гаплотипы встречены единично.

На рисунке 3 представлена гаплотипная сеть, полученная на основании анализа 233 образцов *M. gigas* и 44 – *M. angulata* из различных регионов (стран). Сеть делится на два кластера, один из которых (включающий последовательности *M. gigas*) имеет отчетливо звездчатую структуру. Наиболее частый гаплотип распространен во всех регионах. Остальные преимущественно встречаются локально или регионально. Такая гаплотипная сеть говорит о недавней значительной экспансии данного вида, в настоящий момент имеющего всесветное распространение. Отдельный гаплотип, относимый к *M. angulata*, близок к португальским и дальневосточным образцам.

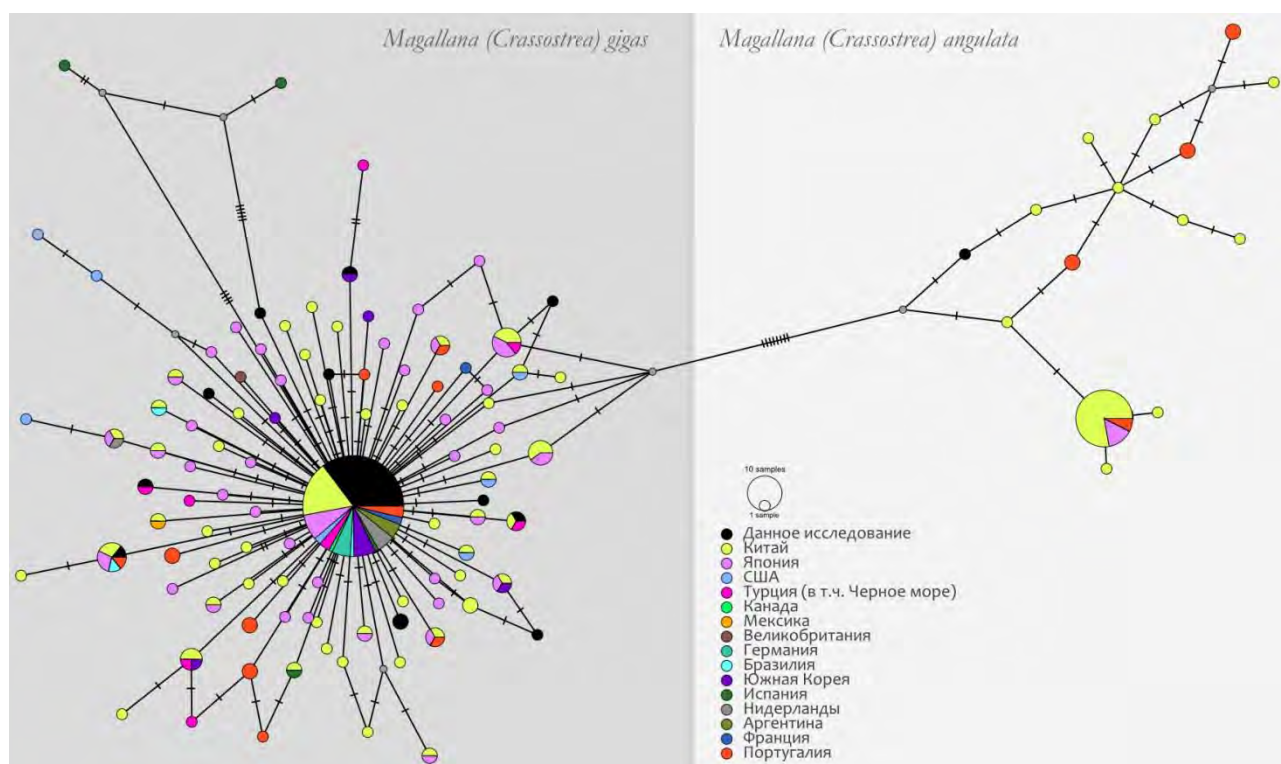


Рисунок 3. TCS-сеть гаплотипов участка гена COI (549 п.н.) образцов *Magallana (Crassostrea) gigas* (193 последовательности из базы данных + 40 данного исследования) и *Magallana (Crassostrea) angulata* (43 + 1). Засечки обозначают замены нуклеотидов. Серые круги – предположительные гаплотипы.



## Заключение

Встреченные нами моллюски в основном являются представителями чужеродного вида *M. gigas*. Генетическое разнообразие дикой популяции в Черном море у берегов Кавказа, оцененное на основе анализа последовательности участка гена COI, довольно высоко: оно сопоставимо с данными из других регионов. Например, количество гаплотипов в разных районах Тихого океана у побережья Китая (при выборке 15-20 особей для конкретной популяции) варьировало от 3 до 8 [Han et.al., 2019; Li et.al., 2015]. Это, по-видимому, связано с постоянным завозом генетического материала в устричные хозяйства у берегов Кавказа из разных районов разведения [Орленко, 2012]. Звездообразная структура TCS сети говорит об относительно недавней экспансии этого вида, в том числе связанной с расселением в хозяйственных целях. Таким образом определить районы происхождения дикой популяции в Черном море не представляется возможным, однако полученный материал может быть использован для исследования биологии данного вида с помощью метабаркодинга [Hsiao, 2016]. Присутствие в черноморской популяции образцов с последовательностью баркодowego участка COI принадлежащего *Magallana (Crassostrea) angulata* может говорить, как о вселении данного вида в Черное море, так и о наличии в завозимом материале гибридов между двумя видами [Слынько и др., 2018; Aydin M. et al., 2021]. Такие гибриды нередко используются в культуре, так как они более устойчивы к высоким температурам по сравнению с родительскими видами и нередко быстрее набирают массу [Jiang et al., 2021]. Представители этих двух видов гибридизуются и в природе [Chiesa et. al., 2021]. Гибриды первого, второго и по-видимому последующих поколений плодовиты [Shi et al., 2023]. Это способствует распространению митохондриальных линий двух упомянутых видов в популяциях друг друга в том числе и диких. Генетические различия между *M. gigas* и *M. angulata* невелики и требуют как минимум анализа множества SNP (одно-нуклеотидных замен) в ядерном геноме для надежного разделения видов. Кроме того, этот метод позволяет отчетливо выделять недавние гибриды [Gagnaire et. al., 2018; Lapègue et. al., 2020].

## Список литературы

1. Баяндина Ю.С., Челебиева Э.С., Кирин М.П. Молекулярно-генетические исследования естественных популяций устриц в прибрежных водах российского сектора Чёрного моря // Комплексные исследования Мирового океана. – Материалы VI Всероссийской научной конференции молодых ученых, г. Москва. – 8–24 апреля 2021 г. – ИО РАН. – С. 282-283.
2. Каталандзе М. Р., Гогуа М. Л., Небесихина Н. Н. К вопросу инвазии гигантской устрицы *Crassostrea gigas* Thunberg в прибрежные воды Черного моря Абхазии // Современные проблемы и перспективы развития рыбохозяйственного комплекса: материалы IX Научно-практической конференции молодых учёных с международным участием, посвященной 140-летию ВНИРО. – М.: Изд-во ВНИРО, 2021. – с. 72-75.
3. Орленко А.Н. Тихоокеанская устрица (*Crassostrea gigas* Thunberg) как аллохтонный вид фауны Чёрного моря. // Труды ЮгНИРО. – 2012. – Т 50. – С. 129-133.
4. Переладов М. В. Современное состояние популяции черноморской устрицы //Труды ВНИРО. – 2005. – Т. 144. – С. 254-274.
5. Переладов М. В. Тихоокеанская устрица *Crassostrea gigas* в Чёрном море. Современные природные поселения и перспективы экспансии/Переладов МВ // Труды VIII

Международной научно-практической конференции «Морские исследования и образование (MARESEDU-2019)» Том II (III): [сборник]. Тверь: ООО «ПолиПРЕСС», 2020. – с. 343-347.

6. Скарлато О.А., Старобогатов Я.И. Класс двустворчатые моллюски - Bivalvia // Определитель фауны Черного и Азовского морей. - Киев: Наук, думка, 1972.—3. — С. 178—249.
7. Скарлато О.А. Двустворчатые моллюски умеренных вод северо-западной части Тихого океана. Л.: Наука. – 1981. – 480 с.
8. Слынько Ю. В. , Слынько Е. Е., Пиркова А. В., Ладыгина Л. В., Рябушко В. И. Баркодинг митохондриальной ДНК тихоокеанской устрицы *Crassostrea gigas* (Thunberg, 1793) (Mollusca: Bivalvia: Ostreidae), культивируемой в Черном море // Генетика. – 2018. – Т. 54. – №. 12. – С. 1419-1425.
9. Aydin M., Biltekin D., Breugelmanns K., Backeljau T. First record, DNA identification and morphometric characterization of Pacific oyster, *Crassostrea gigas* (Thunberg, 1793) in the southern Black Sea // BioInvasions Record. – 2021. – Vol. 10, №. 4. – P. 838-852.
10. Chiesa S., Lucentini L., Chainho, P., et al. One in a Million: Genetic Diversity and Conservation of the Reference *Crassostrea angulata* Population in Europe from the Sado Estuary (Portugal) // Life. –2021. – Vol. 11. – P. 1173.
11. Clement M., Snell Q., Walker P., et al. TCS: estimating gene genealogies // Parallel and Distributed Processing Symposium, International. IEEE Computer Society. – 2002. – Vol. 3. – P. 0184-0184.
12. Folmer O., Black M., Hoeh W., et al. DNA primers for amplification of mitochondrial cytochrome c oxidase subunit I from diverse metazoan invertebrates // Mol. Mar. Biol. Biotechnol. – 1994. – Vol. 3. –P. 294–299.
13. Gagnaire P.-A., Lamy J.-B., Cornette F., et al. Analysis of Genome-Wide Differentiation between Native and Introduced Populations of the Cupped Oysters *Crassostrea gigas* and *Crassostrea angulata* // Genome Biology and Evolution. – 2018. – Vol. 10, Is. 9. – P. 2518–2534.
14. Han Z., Li Q., Liu S., Yu H., Kong L. Genetic variability of an orange-shell line of the Pacific oyster *Crassostrea gigas* during artificial selection inferred from microsatellites and mitochondrial COI sequences // Aquaculture. – 2019. – Vol. 508. – 159–166.
15. Hsiao S.T., Chuang S.C., Chen K.S. et al. DNA barcoding reveals that the common cupped oyster in Taiwan is the Portuguese oyster *Crassostrea angulata* (Ostreoida; Ostreidae), not *C. gigas* // Science Reports. – 2016. – Vol. 6. – P. 34057.
16. Jiang G. Li Q., Xu C. et al. Reciprocal hybrids derived from *Crassostrea gigas* and *C. angulata* exhibit high heterosis in growth, survival and thermotolerance in northern China // Aquaculture. – 2021. – Vol. 545. – P. 737173.
17. Kolyuchkina G. A., Belyaev N. A., Spiridonov V. A., Simakova U. V.ong-term effects of Kerch Strait residual oil-spill: hydrocarbon concentration in bottom sediments and biomarkers in *Mytilus galloprovincialis* (Lamarck, 1819) // Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. – 2012. – Vol. 12, №. 5. – P. 461-469.

18. Lapègue S., Heurtebise S., Cornette, F., Guichoux E., Gagnaire P.-A. Genetic Characterization of Cupped Oyster Resources in Europe Using Informative Single Nucleotide Polymorphism (SNP) Panels // *Genes*. – 2020. – Vol. 11. P. 451.
19. Leigh J. W., Bryant D. Popart: full-feature software for haplotype network construction // *Methods in Ecology and Evolution*. – 2015. – Vol.6, № 9. – P. 1110-1116.
20. Li S., Li Q., Yu H. et al. Genetic variation and population structure of the Pacific oyster *Crassostrea gigas* in the northwestern Pacific inferred from mitochondrial COI sequences // *Fisheries Science*. – 2015. – Vol. 81. – P. 1071-1082.
21. Shi G., Qin, Y., Wan, W. et al. Studies of interspecific backcross between hybrids of (*Crassostrea angulata*♀ × *C. gigas*♂) and their two parental species // *Aquaculture*. – 2023. – Vol. 564. – P. 739043.
22. Sievers F., Barton G. J., Higgins D. G. Multiple sequence alignments // *Bioinformatics*. – 2020. – Vol. 227. – P. 227-250.



УДК 59.006

Рубрика 34.33.27

СТРАТЕГИЯ ИЗУЧЕНИЯ ПИНГВИНОВ ГУМБОЛЬДТА (*SPHENISCUS GUMBOLDTI*), СОДЕРЖАЩИХСЯ В "ПРИМОРСКОМ ОКЕАНАРИУМЕ" - ФИЛИАЛЕ ННЦМБ ДВО РАН

HUMBOLDT PENGUIN RESEARCH STRATEGY IN PRIMORSKY AQUARIUM -- BRANCH OF NSCMB FEB RAS.

**Сабуцкая Мирослава Алексеевна**<sup>1, 2</sup>

<sup>1</sup> Приморский океанариум - филиал Национального научного центра морской биологии им. А.В. Жирмунского ДВО РАН, г. Владивосток

<sup>2</sup> Дальневосточный государственный университет (ДВФУ), г. Владивосток

**Sabutskaya Miroslava Alekseevna**<sup>1, 2</sup>

<sup>1</sup> Primorsky Aquarium, Vladivostok

<sup>2</sup> Far Eastern Federal University (FEFY), Vladivostok

Пингвин Гумбольдта (*Spheniscus gumboldti*), также известный как перуанский - нелетающая птица среднего размера, с длиной тела около 67-72 см и массой 4,2-5 кг. Мировая популяция насчитывает по разным данным от 30 000 до 48 000 взрослых птиц. Описано не менее 60 колоний этих пингвинов – 41 в Перу и 19 – в Чили.

Пингвины Гумбольдта в сравнении с субантарктическими видами нетребовательны к искусственным условиям содержания и являются популярным объектом экспонирования в зоопарках и океанариумах. Этот вид очковых пингвинов внесен в Красную книгу МСОП (Международный союз охраны природы) в статусе «уязвимый вид», а также включен в Международную конвенцию СИТЕС (Конвенция о международной торговле видами дикой фауны и флоры, находящимися под угрозой исчезновения). В этой связи пингвин Гумбольдта является актуальным объектом для популяционных, поведенческих и экологических исследований, а также работ, направленных на совершенствовании программ разведения в неволе *ex situ*.

Для успешного содержания пингвинов в Приморском океанариуме предусмотрено два комплекса помещений (пингвинария) – в научно-адаптационном корпусе (НАК) и в главном корпусе. В обоих помещениях поддерживаются установленные регламентом климатические условия: *t* воды +10-13°C, *t* воздуха +14-17°C, они оснащены бассейнами и береговыми линиями для свободного размещения птиц и их потомства. В обоих корпусах оборудованы отдельные комнаты для изоляции или карантинирования пингвинов. Первые 7 пар пингвинов Гумбольдта прибыли в Приморский океанариум в 2018-2019 годах. И внимание сотрудников отдела орнитологии Приморского океанариума было в первую очередь направлено на изучение особенностей адаптации и дальнейшего успешного содержания птиц в искусственных

условиях. На период карантина птицы были размещены в пингвинирии НАК, где общая площадь вольера (59 м<sup>2</sup>) меньше, чем в пингвинирии главного комплекса Приморского океанариума (158,48 м<sup>2</sup>). Сразу после прибытия птицы были взвешены, и на крылья для облегчения идентификации были надеты хомуты разных цветов. После периода адаптации идентифицируем птиц по индивидуальному рисунку черных перьев на животе. Уже на 2-ые сутки птицы начали питаться самостоятельно, то есть брать рыбу с рук специалистов отдела. Полноценное освоение вольера длилось в течение полугода. Первоначально, большую часть времени птицы проводили в воде. Основная часть береговой зоны не была освоена птицами. Из всей площади вольера они выбрали для себя участок с трехъярусными скалами, общей площадью около 20 м<sup>2</sup>. Активное освоение суши пингвинами отмечено во время образования пар. Сейчас некоторые пингвины могут спокойно сидеть на руках, позволяют себя осматривать и гладить.

Для обеспечения ветеринарных манипуляций была поставлена задача научить птиц заходить в изолятор (карантинное помещение). Для этого на пути к изолятору и в самом изоляторе были выделены условные точки, к которым последовательно подводили птиц во время кормления. Через три месяца ежедневных "тренировок" птицы самостоятельно заходили вглубь этого помещения.

Результаты ежедневных наблюдений за птицами записываются в обязательные журналы и в электронную базу данных, что позволяет составлять статистику по различным жизненным показателям: динамике веса птиц, сроках и схеме линьки, сроках насиживания яиц в кладке, особенностям питания и поведения и т.д.

Первая стадия исследования, а именно, адаптация пингвинов Гумбольдта в Приморском океанариуме прошла успешно. Это подтверждает своевременная ежегодная линька всех птиц, незначительные сезонные колебания веса, высокая пищевая мотивация, а также наличие постоянных активно размножающихся пар.

Известно, что пингвины Гумбольдта способны размножаться круглый год, с пиками весной и осенью. 38-42 сут они насиживают яйцо, около двух месяцев кормят птенца в норе и еще один месяц докармливают его после выхода из норы. В 2020 и у нас появились первые птенцы. И, соответственно, фокус внимания сотрудников отдела орнитологии был направлен на изучение особенностей размножения этих птиц.

На данный момент в экспозиции Приморского океанариума сформировались 7 постоянных пар пингвинов. Для размещения птиц и их потомства в экспозиции Главного корпуса предусмотрены 3 норы в декорациях скал. Для остальных пар сотрудниками отдела орнитологии устанавливаются гнезда открытого типа. Выбор места установки гнезд осуществляется в тех частях вольера, где пара проводит наибольшее количество времени. Каждый год птицы выбирают одно и то же место гнездования.

В качестве подстилки в гнезда были использованы как искусственные материалы - пластиковые сетки, так и естественные - мелкие камни, керамзит, молодые гибкие побеги ивы. На данный момент в гнездах у птиц присутствуют пластиковые сетки, молодые гибкие побеги ивы. Необходимо отметить, что мелкие камни и молодые побеги деревьев крайне опасны для системы жизнеобеспечения и требуют аккуратного использования для предотвращения засоров.

Наибольшее количество кладок регистрировалось нами в октябре и ноябре. В кладке каждой пары было обычно по 2 яйца. Предполагаемый средний интервал откладывания яиц составил

2 сут., птенцы вылуплялись с интервалом 2-3 сут. В инкубационный период каждый пингвин из пары обычно проводил в гнезде одинаковое количество времени.

Общее количество зарегистрированных яиц за период наблюдений (2020-2023 гг.) составило 63 шт. Менее 1% яиц было брошено парами в ходе инкубационного периода, около 29% - разбили и около 67% яиц в зарегистрированных кладках насиживалось в течении всего срока инкубации. Средняя продолжительность инкубации составила 41 сут.

Сотрудники отдела орнитологии через 10-14 сут после формирования кладки оценивали яйца на оплодотворение путем осмотра в проходящем свете. Из 63 зарегистрированных более 55% яиц были оплодотворены, около 8% - не оплодотворены, в 11% случаев была отмечена остановка развития. Оставшиеся 24% включают задавленных родителями птенцов, и яйца, которые были разбиты парами и не было информации об оплодотворении. Также осуществлялся контроль длительности проклева – в среднем птенцы вылуплялись полностью за 2 сут.

В период с 2020 года в Приморском океанариуме вылупилось 24 птенца. Наиболее «многодетные» - Семьи Тритоновы, Пятнышкины и Пухляшины. Последние две семьи растят птенцов в наиболее безопасных и приближенных к естественным условиям - в норах. Семья Тритона занимает гнездо открытого типа. Все сформированные пары постоянны на протяжении всего времени наблюдения.

Обычно мы не прибегаем к искусственному выращиванию птенцов с использованием инкубатора и брудера. Но в 2020 году после ледяного дождя на период восстановления систем жизнеобеспечения 2 яйца были помещены в инкубатор на 14 сут. Впоследствии, яйца были возвращены родителям, и из одного яйца благополучно вылупился птенец, второе оказалось неоплодотворенным.

У пингвинов Гумбольдта отсутствует половой диморфизм и даже несмотря на то, что чаще всего самцы чуть крупнее самок, достоверная гендерная идентификация путем прямого наблюдения невозможна. Информация о половой принадлежности каждой особи является базовой, как вес или рост, например, поэтому перед нами появилась новая задача - научиться самостоятельно определять пол птенцов. Наиболее точными для этих целей считаются ультразвуковой и молекулярно-генетический методы.

Методы, основанные на полимеразной цепной реакции (ПЦР), широко применяются для молекулярного определения пола птиц с использованием большого разнообразия сцепленных с полом маркеров. В течение последних 15 лет протоколы на основе ПЦР постоянно совершенствовались, повышалась точность, скорость и производительность этих методов.

ДНК-связывающий хромодомен-хеликаза (CHD1) был первым геном, предложенным в качестве надежного сцепленного с полом маркера половой дифференциации в широком диапазоне нератитовых (килегрудые) видов птиц. CHD1 очень консервативен и имеет небольшие различия в размере и последовательности нуклеотидов между некоторыми интронными областями CHD1Z и CHD1W, находящихся на половых хромосомах Z и W, соответственно. Для большинства птиц амплифицированные генные области каждой хромосомы будут иметь разную длину, в результате чего получится ампликон одной длины (амплифицированная цепь ДНК) для самцов птиц (с ZZ-хромосомами) и два ампликона разной длины для самок птиц (ZW-хромосомы). В результате электрофореза на геле будут визуализироваться 2 полосы для самок и 1 полоса для самцов. На данный момент сотрудником

отдела орнитологии описанным выше методом определён пол всех птенцов, появившихся в Приморском океанариуме.

Следующий шаг наших исследований - изучение генетической структуры популяции пингвинов Гумбольдта, экспонирующихся в Приморском океанариуме. Для этого выбран метод анализа микросателлитных маркеров –коротких tandemных повторов ДНК, уникальных для каждой особи, анализ полиморфизма длин рестриционных фрагментов (ПДРФ) и анализ полиморфизма конформации одноцепочечного ПЦР-фрагмента (метод SSCP). Результатом наших исследований станет информация о степени родства птиц, изначально привезенных в Приморский океанариум, о генетических особенностях каждой птицы.

На сегодняшний день у нас содержится одна из самых крупных и наиболее успешно размножающихся популяций пингвинов Гумбольдта в России. Приморский океанариум — это уникальное место, где возможно изучать не только особенности адаптации, содержания, размножения птиц, но и осуществлять исследования с применением молекулярно-генетических методов, а значит попытаться внести вклад в программу сохранения и поддержание такого уязвимого вида, как пингвин Гумбольдта.

### **Благодарность**

Автор благодарит всех сотрудников отдела орнитологии Приморского океанариума за помощь, ценные замечания и советы для написания данной статьи. Работа частично выполнена на базе ЦКП «Приморский океанариум».

### **Список литературы:**

1. Griffiths R., Double M.C, Orr K., Dawson R.J.Q. A DNA test to sex most birds // *Molecular Ecology*. – 1998. – Vol. 7. – P. 1071–1075.
2. Morinhaa F., Cabral J.A., Bastosa E. Molecular sexing of birds: A comparative review of polymerase chain reaction (PCR)-based methods // *Theriogenology* – 2012. – Vol. 78. – P. 703–714.
3. Schlosser A., Garner T. W. J., Dubach J. M., McElligot A. G. Characterization of microsatellite loci in Humboldt penguin (*Spheniscus humboldti*) and cross-amplification in other penguin species // *Molecular Ecology Notes* – 2003 – Vol. 3. – P. 62–64.
4. Schneider T., Olsen D., et al. AZA Penguin Taxon Advisory Group. (2014). Penguin (*Spheniscidae*) Care Manual. Silver Spring, MD: Association of Zoos and Aquariums.

# Морская биология

Стендовые доклады

---

# Marine Biology

Poster presentations

УДК 59.084:597.4

Рубрика 34.33.33

МАКСИМАЛЬНЫЙ ВОЗРАСТ *SCIAENA UMBRA* LINNAEUS, 1758 В СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ЧЁРНОГО МОРЯ (КРЫМ)

MAXIMAL AGE OF THE *SCIAENA UMBRA* LINNAEUS, 1758 FROM THE BLACK SEA NORTH PART (CRIMEA)

**Тамойкин Игорь Юрьевич**

*Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского РАН, Севастополь*

**Tamoikin Igor Yurievich**

*A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol*

Тёмный горбыль *Sciaena umbra* Linnaeus, 1758 (сем. Sciaenidae) – демерсальный долгоживущий вид Восточной Атлантики, включая Средиземноморский бассейн, обитающий среди естественных и антропогенных ландшафтов со смешанными грунтами (Световидов, 1964; Васильева, 2007; Chao, 1986; Vodur et al., 2023). Ведет оседлый и скрытный образ жизни, держась мест с наличием укрытий в виде пещер, расселин и трещин, одиночно и образуя группы от нескольких экземпляров до сотен особей (Тамойкин и др., 2021; Vodur et al., 2023). Максимальная зафиксированная длина (TL) – 72 см (р-н г. Трабзон, юго-восточная часть Чёрного моря) (Engin, Seyhan, 2009), максимальный возраст – 31 год: ♀, TL – 49.7 см; о. Корсика, северо-западная часть Средиземного моря; ♀, TL – 49.2 см; Тунисский залив, Центральная часть Средиземного моря (Chater et al., 2018; Moran et al., 2017). Вид имеет высокую экономическую ценность, поэтому в Средиземном море запасы его существенно уменьшились не только из-за деградации среды обитания, но и по причине воздействия со стороны прибрежного промышленного и любительского рыболовства, в т.ч. – подводной охоты (Grau et al., 2009; Harmelin-Vivien et al., 2015). Это послужило основанием для включения тёмного горбыля в списки средиземноморских видов, которым угрожает уничтожение (Chao, 2015).

Чтобы оценить текущее состояние популяции и возможность восстановления численности практически любого вида необходимо понимать особенности его жизненного цикла (возраст, рост, созревание, смертность и т.п.). Поэтому одной из важнейших задач становится выявление особей с максимальными показателями длины, массы и возраста. В случае с тёмным горбылём это наталкивается на сложности, связанные с его скрытным осторожным образом жизни и приуроченностью к ландшафтам, создающим трудности для наблюдений и облова сетными орудиями лова (Лапшин, Герасимов, 2008; Лапшин, 2009; Chater et al., 2018).

За всю историю изучения тёмного горбыля в Чёрном море данные по его максимальному возрасту приводятся только для юго-восточной акватории у берегов Турции. Так, при исследовании 329 особей из уловов 2002-2003 гг. в р-не г. Трабзон (Trabzon), собранных путем подводной охоты и небольшими сетями-путанками, был обнаружен экземпляр возрастом 18 лет, TL – 63 см, и массой (TW) – 3250 г (Engin, Seyhan, 2009). К сожалению,



при этом отсутствуют указания на пол пойманной рыбы. По результатам облова промышленными донными сетями от г. Самсун (Samsun) до г. Ризе (Rize) в 2019–2020 г.г. среди 324 экземпляров тёмного горбыля были найдены ♀ возрастом 26 лет (TL – 58 см, TW – 2485 г) и ♂ возрастом 24 года (TL – 53 см; TW – 1825 г) (Bodur et al., 2023).

Среди 497 особей, выловленных в северной части Чёрного моря у берегов Крыма в 2007–2022 г.г. посредством донных ставных сетей, вентерей и подводной охоты, нами был исследован ♂ тёмного горбыля (TL – 48.5 см; TW – 2365 г), который был пойман 08.11.2019 г. у пгт. Парковое (Южный берег Крыма; координаты: 44.399727 с.ш., 33.907418 в.д.).

Отолиты (сагитты) были извлечены из черепной коробки рыбы, промыты и просушены, один из них был залит полимерной смолой, после чего был изготовлен и отшлифован поперечный спил самой толстой части отолита для подсчета годовых колец под падающим светом, учитывая особенности анализа годовых колец для Sciaenidae (Arneri et al., 1998; A practical handbook..., 2009). Годовым кольцом считали границу между внешним краем более узкой транслюцентной (непрозрачной в падающем свете) зоны зимнего периода низкого роста и внутренним краем более широкой опаковой (полупрозрачной в падающем свете) зоны весенне-летне-осеннего периода высокого роста (рис. 1). Первому году жизни соответствовала широкая опаковая зона ядра и узкая транслюцентная зона пережитой первой зимы. В результате подсчета годовых колец возраст исследуемого крымского тёмного горбыля составил 19 лет. Это первые данные по максимальному возрасту для вида во всей северной части Чёрного моря, а у берегов Крыма – в частности.

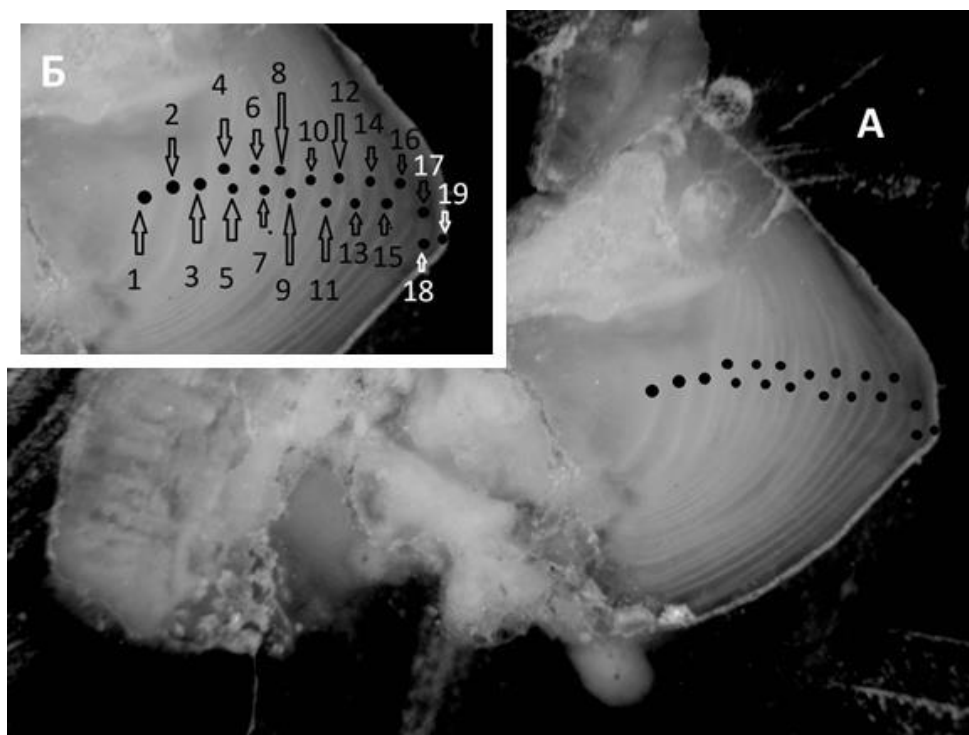


Рис.1. Срез отолита 19-летнего ♂ тёмного горбыля *Sciaena umbra* Linnaeus, 1758 из северной части Чёрного моря (Крым): А – общий вид отолита; Б – фрагмент отолита с подсчетом годовых колец.

Сложность выявления особей с предельным возрастом у тёмного горбыля связана с тем, что в группах преобладают 3-4-летние экземпляры, а рыбы старше 7 лет встречаются очень редко (La Mesa, 2008; Bodur et al., 2023). По результатам исследований в южной части

Чёрного моря был сделан вывод о том, что по сравнению с остальной частью Средиземноморского бассейна этот вид достигает большей длины и, особенно, массы при меньшем возрасте (Bodur et al., 2023). Чтобы проверить верность этого предположения для северной части Чёрного моря, следует продолжить поиски особей тёмного горбыля предельных возрастов в этой части акватории.

### Благодарность

Автор выражает благодарность частному предпринимателю Ткаченко Д.В. за помощь в работе с эпоксидными смолами.

### Финансирование

Работа выполнена по теме госзадания № 121030100028-0 «Закономерности формирования и антропогенная трансформация биоразнообразия и биоресурсов Азово-Черноморского бассейна и других районов Мирового океана».

### Список литературы:

1. Васильева Е. Д. 2007. Рыбы Чёрного моря. Определитель морских, солоноватоводных, эвригалинных и проходных видов с цветными иллюстрациями, собранными С. В. Богородским. М.: Изд-во ВНИРО. – 238 с.
2. Лапшин О.М. 2009. Теория, методология и практика учетных рыболовных систем: Автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.18.17. Москва. – 48 с.
3. Лапшин О.М., Герасимов Ю.В. 2008. Особенности поведения промысловых рыб в зоне действия учетного ставного невода // Известия Тихоокеанского филиала Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии. Т. 155. – С. 300.
4. Световидов А. Н. 1964. Рыбы Черного моря. Москва: Изд-во “Наука”. – 552 с.
5. Тамойкин И.Ю., Кулешова О.Н., Кулешов В.С. Новые сведения о темном горбыле *Sciaena umbra* (Sciaenidae) у черноморских берегов Крыма по результатам подводных наблюдений в режиме апноэ // Биология внутренних вод. 2021. №2. – С. 191-197
6. Arneri E., Colella S., Gianetti G. 1998. A method for the age determination of two Mediterranean sciaenids *Sciaena umbra* (Linnaeus, 1758) and *Umbrina cirrosa* (Linnaeus, 1758). Rapp. Comm. int. Mer. Médit., 35. – P. 366–367
7. Bodur, B., Aydın, M., & Karadurmuş, U. (2023). Population structure, exploitation status, and prospects of brown meagre *Sciaena umbra* Linnaeus, 1758 from the Turkish coast of the Black Sea. Marine Science and Technology Bulletin, 12(1), 1-11. <https://doi.org/10.33714/masteb.1178161>
8. Chao, L. N. (1986). Sciaenidae (pp. 865-874). In Whitehead, P. J. P., Bauchot, M. L., Hureau, J. C., Nielsen, J. & Tortonese, E. (eds.) Fishes of the north-eastern Atlantic and the Mediterranean. Volume 2. Unesco, Paris, France
9. Chao, L. (2015). *Sciaena umbra*. The IUCN Red List of Threatened Species 2015: e.T198707A83232286. Downloaded on 12 April 2023.

10. Chater I., Romdhani-Dhahri A., Dufour J.-L., Mahé K., Chakroun-Marzouk N. 2018. Age, growth and mortality of *Sciaena umbra* (Sciaenidae) in the Gulf of Tunis. *Sci. Mar.* 82(1): 17-25. <https://doi.org/10.3989/scimar.04679.21A>
11. Engin, S., & Seyhan, K. (2009). Age, growth, sexual maturity and food composition of *Sciaena umbra* in the southeastern Black Sea, Turkey. *Journal of Applied Ichthyology*, 25, 96-99. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0426.2008.01173.x>
12. Grau A., Linde M., Grau A.M. 2009. Reproductive biology of the vulnerable species *Sciaena umbra* Linnaeus, 1758 (Pisces: Sciaenidae) // *Sci. Mar.* V. 73(1). P. 67. <https://doi.org/10.3989/scimar.2009.73n1067>
13. Harmelin-Vivien, M., Cottalorda, J. M., Dominici, J. M., Harmelin, J. G., Le Diréach, L. & Ruitto, S. (2015). Effects of reserve protection level on the vulnerable fish species *Sciaena umbra* and implications for fishing management and policy. *Global Ecology Conservation*, 3: 279-287. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2014.12.005>
14. La Mesa, M., Colella, S., Giannetti, G., & Arneri, E. (2008). Age and growth of brown meagre *Sciaena umbra* (Sciaenidae) in the Adriatic Sea. *Aquatic Living Resources*, 21, 153-161. <https://doi.org/10.1051/alr:2008029>
15. Moran F., Marschal C., Dominici J.-M., Harmelin-Vivien M.A. 2017. 31-year-old brown meagre female poached in the Scandola marine reserve in Corsica, France // *Cybium: Int. Journal Ichthyol.* V. 41(1). – P. 79.
16. A practical handbook for determining the ages of Gulf of Mexico fishes. 2009.// Second edition. Ed/: S. VanderKooy, Gulf States Marine Fisheries Commission, Pub. Num. 167, Ocean Springs. – 155 p.

УДК 597.56

Рубрика 34.33.33

ХАРАКТЕРИСТИКА ПИТАНИЯ НАВАГИ И ТРЕСКИ НА ПОБЕРЕЖЬЕ БЕЛОГО МОРЯ

CHARACTERISTIC OF THE NAVAGA AND COD DIET ON THE WHITE SEA COAST

**Боева Ксения Валерьевна<sup>1</sup>, Иванова Татьяна Сослановна<sup>1</sup>, Иванов Михаил Валерьевич<sup>1</sup>, Лайус Дмитрий Людвигович<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

***Boeva Kseniya Valerievna<sup>1</sup>, Ivanova Tatyana Soslanovna<sup>1</sup>, Ivanov Mikhail Valerievich<sup>1</sup>, Laius Dmitry Ludwigovich<sup>1</sup>***

<sup>1</sup> Saint-Petersburg State University, Saint-Petersburg

Беломорская треска (*Gadus morhua*) и навага (*Eleginus nawaga*) являются хищниками и занимают сходные экологические ниши, что дает основу для конкурентных отношений между этими видами. Основные районы распространения трески в Белом море — это Кандалакшский залив и ближайšie к нему акватории. В летний период треска приходит на мелководную прибрежную зону для откорма (Алтухов и др., 1958). Навага же в Белом море встречается повсеместно и в летнее время распределяется по берегам в зависимости от возраста: молодые (0+, 1+) особи преимущественно располагаются до 10 м, а старшие - на глубине 10-25 м (Стасенков В. А., 1990) Часто в прибрежье одновременно встречается большое количество некрупных одноразмерных (150-200 мм) рыб этих двух видов. Изучение питания таких особей позволяет оценить, проанализировать и сравнить рационы, что впоследствии даёт возможность выявить степень конкуренции между изучаемыми видами. Цель этой работы – определение качественных и количественных характеристик рациона одноразмерной трески и наваги для дальнейшего изучения их трофических отношений.

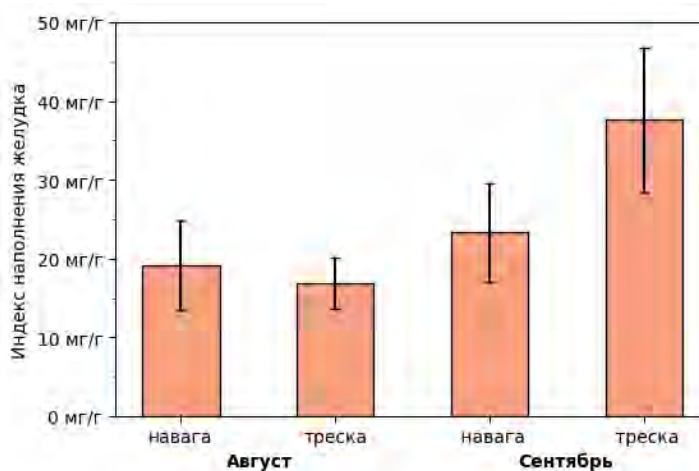


Рис. 1. Интенсивность питания наваги и трески (август-сентябрь 2021).

Материалом для настоящей работы послужили сборы, проведенные в прибрежном биотопе в районе Учебно-научной базы «Беломорская» в августе (21.08.2021) и сентябре (13.09.2021). Сбор материала проводили наборами из четырех жаберных сетей (ячей: 16, 20, 30 и 40 мм). После вылова у рыбы определяли пол, стандартную длину тела (мм), общий вес (г) и вес без внутренностей (г). Всё содержимое желудка взвешивали, отдельные пищевые объекты определяли по возможности до вида, измеряли их вес и длину. Выборка составила 85 особей, из которых в августе было собрано 14 наваг и 31 треска и в сентябре по 20 особей каждого вида. Для изучения были специально выбраны особи одной размерной группы, где основной характеристикой являлась масса рыбы (масса: навага, август –  $67 \pm 7$ , сентябрь –  $80 \pm 5$ ; треска соответственно  $62 \pm 5$ ,  $94 \pm 5$ ; длина: навага  $194 \pm 6$ ,  $211 \pm 4$ ; треска  $164 \pm 5$ ,  $199 \pm 4$ ).

Интенсивность питания (индекс наполнения желудка, мг/г) не отличается как между видами, так и для каждого вида между датами (тесты Манна-Уитни,  $p > 0,05$ ), рис. 1. Доля рыб с пустыми желудками в августе составила 6-7%, в сентябре 15-20%. Анализ ANOSIM показал достоверное отличие спектра питания трески в августе от ее питания в сентябре и от питания наваги (все  $p < 0,05$ ). Основное отличие рационов одноразмерной трески и наваги состоит в более выраженной рыбной компоненте в питании трески, независимо от даты, рис. 2. В августе, когда молодь трёхиглой колюшки (*Gasterosteus aculeatus*) присутствует в прибрежье, треска её ест чаще и в больших количествах (50% рациона и 61% встречаемости), чем навага (17% и 21% соответственно) (тест Манна-Уитни,  $p = 0,036$ ). Кроме того, треска потребляет еще и 6% других рыб (*Myoxocephalus* spp., *Ammodytes* sp., *Clupea* spp.). В начале сентября молодь колюшки уходит из прибрежной зоны (Иванова Т. С. и др., 2021), что приводит к исчезновению ее из рационов. У трески достоверно увеличивается доля в рационе Nereididae (62% рациона), а значимость рыб снижается до 20%, но они остаются важным элементом питания. Основу питания наваги всегда составляют полихеты, в большинстве своем Nereididae (71% рациона в августе и 85% в сентябре), но также встречаются *Arenicola marina*, *Cistenides hyperborea*, *Travisia forbesii* (каждого до 3%).

Таким образом, оба вида рыб являются эврифагами и имеют широкий спектр пищевых объектов. Треска и навага активно используют в качестве пищевого ресурса мелкую рыбу (мальки колюшки). Такая значимость колюшки в августовских рационах относительно другой рыбы, вероятно, связана с высокой ее численностью и доступностью (Ершов П.Н., 2010; Лайус Д. Л. и др., 2020). Даже будучи небольшого размера треска имеет большую долю рыбы в рационе, чем одноразмерные наваги, которые в основном питаются полихетами. Результаты исследования показали относительную схожесть пищевых объектов, что дает базу для определения конкурентных отношений между этими видами. Для количественной оценки

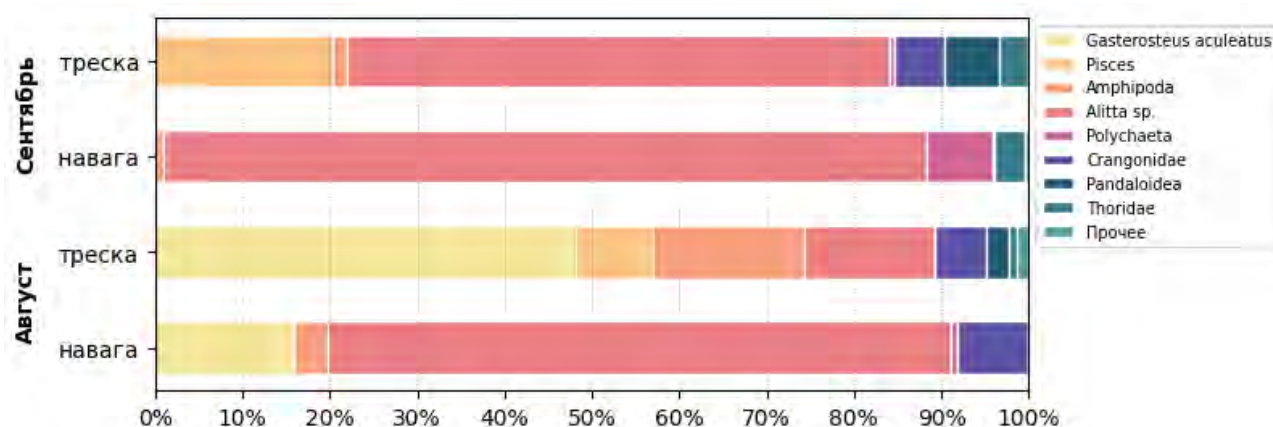


Рис. 2. Спектры питания наваги и трески (август-сентябрь 2021).

перекрывания экологических ниш был использован индекс Пианки (Pianka, 1974). В августе значение индекса (0,49) было ниже критического значения (0,6) для выявления потенциальной конкуренции. Такой показатель объясняется разными преобладающими таксонами в спектрах питания наваги и трески. В сентябре индекс Пианки составил 0,99, что указывает на сходство экологических ниш и высокую вероятность пищевой конкуренции между исследуемыми видами.

Проект выполняется при поддержке гранта РФФ 22-24-00-956. Авторы благодарят администрацию УНБ СПбГУ «Беломорская» за возможность круглогодичной работы на Белом море.

### Список литературы:

1. Алтухов К.А., Михайловская А.А., Мухамедьяров Ф.Б., Надежин В.М., Новиков П.И., Паленичко З.Г. 1958. Рыбы Белого моря. Петрозаводск. 162С
2. Стасенков В. А. Биология и промысел наваги *Eleginus navaga* (Pallas) Белого моря. – 1990.
3. Иванова Т. С. и др. Сезонная динамика численности трехиглой колюшки (*Gasterosteus aculeatus* L.) у берега и в пелагиали Белого моря //Современное состояние водных биоресурсов. – 2021. – С. 103-107.
4. Ершов П. Н. Изменения характера питания прибрежной трески *Gadus morhua marisalbi* в Кандалакшском заливе Белого моря в условиях возросшей численности трёхиглой колюшки *Gasterosteus aculeatus* //Вопросы ихтиологии. – 2010. – Т. 50. – №. 1. – С. 88-92.
5. Лайус Д. Л. и др. Трехиглая колюшка Белого моря: популяционные характеристики и роль в экосистеме //Сибирский экологический журнал. – 2020. – Т. 2. – С. 167-183.
6. Pianka E. R. Niche overlap and diffuse competition //Proceedings of the National Academy of Sciences. – 1974. – Т. 71. – №. 5. – С. 2141-2145.



УДК 574.34

Рубрика 34.33.33; 69.09.09

РЕПРОДУКТИВНАЯ СТРУКТУРА СЕВЕРООХОТОМОРСКОГО МИНТАЯ *GADUS CHALCOGRAMMUS* (GADIDAE), КАК ИНДИКАТОР СОСТОЯНИЯ ЗАПАСА

REPRODUCTIVE STRUCTURE OF THE NORTH SEA POLLOCK *GADUS CHALCOGRAMMUS* (GADIDAE) AS AN INDICATOR OF STOCK STATUS

**Шейбак Артем Юрьевич<sup>1</sup>, Смирнов Андрей Анатольевич<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>*Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии, Москва*

<sup>2</sup>*Северо-Восточный государственный университет, Магадан*

**Sheibak Artem Yurievich<sup>1</sup>, Smirnov Andrei Anatolyevich<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>*All-Russian Research Institute of Fisheries and Oceanography, Moscow*

<sup>2</sup>*North-Eastern State University, Magadan*

## **Введение**

Изучение полового созревания минтая *Gadus chalcogrammus* (Pallas, 1814) или изменения соотношения неполовозрелой и половозрелой частей запаса является одной из важных задач в изучении популяционных признаков [Фадеев, 1999, 2008].

В литературе имеется незначительное количество работ, посвященных изучению процесса наступления половой зрелости минтая в Охотском море на основе многолетних рядов данных, охватывающих, как минимум, одно десятилетие. К таким работам можно отнести исследования, проведенные Н.С. Фадеевым и М.М. Раклистовой [2003] и А.И. Варкентиним [2011], в совокупности охватывающих период с 1984 по 2008 гг.

Весенние комплексные съемки, проводимые Тихоокеанским филиалом ФГБНУ «ВНИРО», охватывают практически весь ареал обитания минтая в Охотском море, кроме центральной глубоководной части. Как известно, в весенний период половозрелый минтай концентрируется в местах расположения нерестилищ, а неполовозрелый еще не совершает продолжительных миграций, соответственно собранные данные охватывают все функциональные группы североохотоморской популяции минтая [Шунтов, 1993].

Знания о половом созревании минтая позволяют проводить расчет его запасов, как ихтиопланктонным методом, так и с помощью когортных моделей, в которых используется разделение запаса на неполовозрелую и половозрелую часть.

## **Данные и методы**

Источником данных, послужили траловые пробы, собранные в период проведения комплексных съемок в северной части Охотского моря с апреля по май 2011–2020 гг. Траления выполнялись разноглубинным тралом РТ/ТМ 80/396, оснащенным мелкоячейной вставкой с шагом ячеи 10 мм на последних 10 м кутца (рис. 1). Продолжительность обловов

в зависимости от плотности скоплений минтая варьировала от 20 до 30 мин. Средняя скорость траления составляла 3,5 узла. Из каждого результативного улова для выполнения массового промера со вскрытием отбиралось от 200 до 300 экз. минтая, при меньшем улове анализировались все особи. При выполнении массового промера определялись пол и стадия развития гонад, что позволило определить соотношение в уловах неполовозрелых и половозрелых особей. Уловы минтая пересчитывались на часовое траление, а затем определялось количество особей под 1 км<sup>2</sup>.

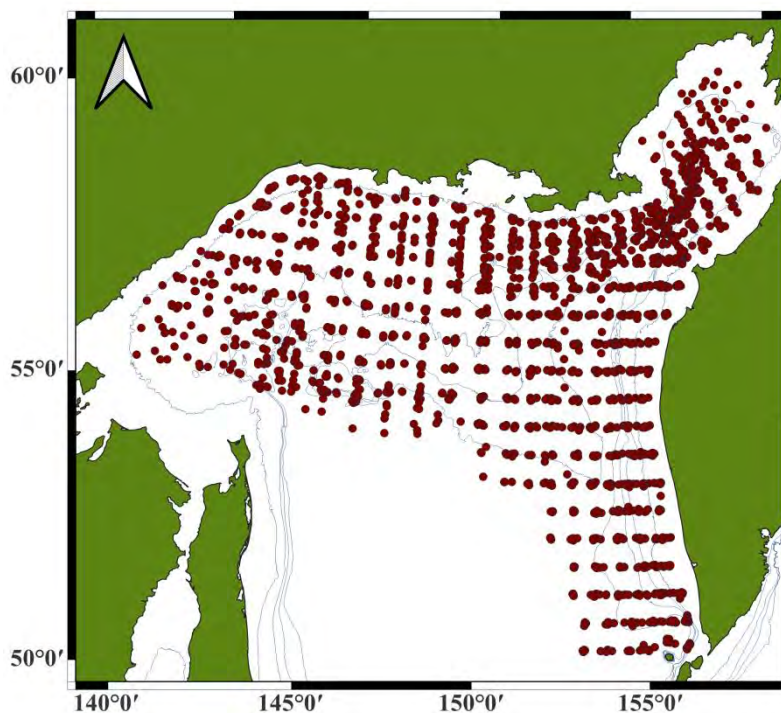


Рисунок 1 – Карта-схема сбора биологического материала по минтаю в Охотском море в 2011–2020 гг.

### Результаты и обсуждение

Исследования биологии минтая, основанные на материале, собранном в период 1984–1998 гг., указывают на незначительные различия в темпах созревания особей каждого пола [Фадеев, Раклистова, 2003]. Так, самцы в северо-восточной и северо-западной частях моря в среднем массово созревали при длине 36 см, в свою очередь самки в северо-восточном районе созревали при длине на 1 см меньше (39 см). Дальнейшие исследования, проведенные И.А. Варкентиним [2011] по данным, собранным с 1998 по 2008 гг., указали на массовое созревание самцов при достижении длины 36 см, а самок при длине – 39,2 см, что схоже с результатами предыдущих исследований. Однако возраст массового созревания у самцов составлял 6 лет, у самок – 7 лет.

По современным данным, в среднем массовое созревание самцов наступало при длине 36 см, самок – при 37 см (рис. 2–3). При этом возраст массового созревания у обоих полов был одинаков и составлял – 6 лет, что связано с различной скоростью роста самцов и самок минтая. Как видно, полученные нами результаты достаточно близки к результатам предыдущих исследований, что указывает на стабильность темпов созревания минтая в Охотском море на протяжении более чем 30 летнего периода.

Нами сопоставлены огивы созревания с размерно-возрастным составом минтая в целом для северной части Охотского моря, что дало наглядное представление о соотношении неполовозрелой и половозрелой частей общего запаса в рассматриваемый период.

В целом на всем исследованном полигоне размерно-возрастные составы самцов и самок имели схожую структуру (рис. 2–3). Выделялись три модальные группы особей в пределах 10–13, 25–30 и 37–43 см, в которых доминировали 1, 3–7 годовики. При этом более крупные особи самцов и самок незначительно превосходили по численности мелких особей.

На представленных рисунках видно, что огива созревания у обоих полов смещена в правую часть размерно-возрастного ряда и расположена на восходящей ветви модальной группы, что объясняется значительным количеством половозрелых особей в запасе. В 2000-е гг., за счет преваляирования в запасе неполовозрелых особей многочисленных поколений 2004 и 2005 г.р. и меньшего количества половозрелых, огива располагалась на нисходящей ветви размерно-возрастного распределения [Варкентин, 2011; Овсянников и др., 2013].

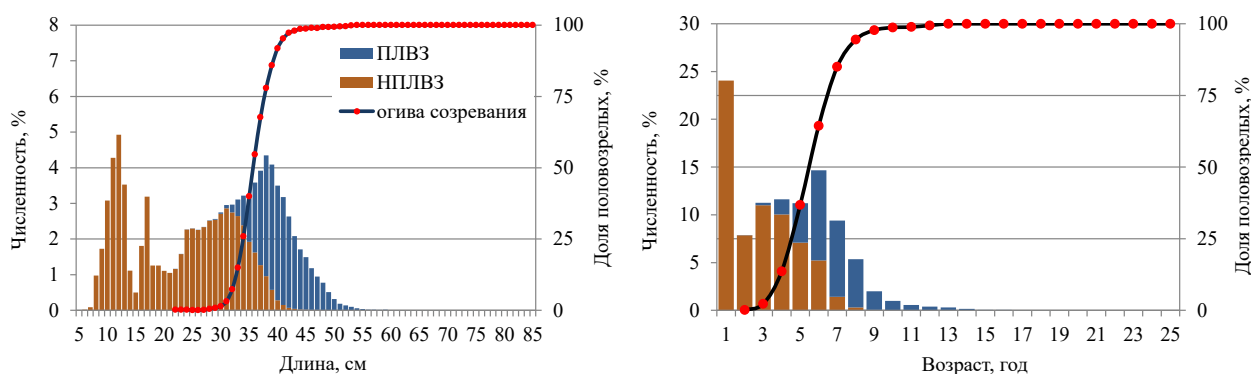


Рисунок 2 – Среднемноголетний размерно-возрастной состав и созревание самцов минтая в северной части Охотского моря за 2011–2020 гг. (НПЛВЗ – неполовозрелые, ПЛВЗ – половозрелые).

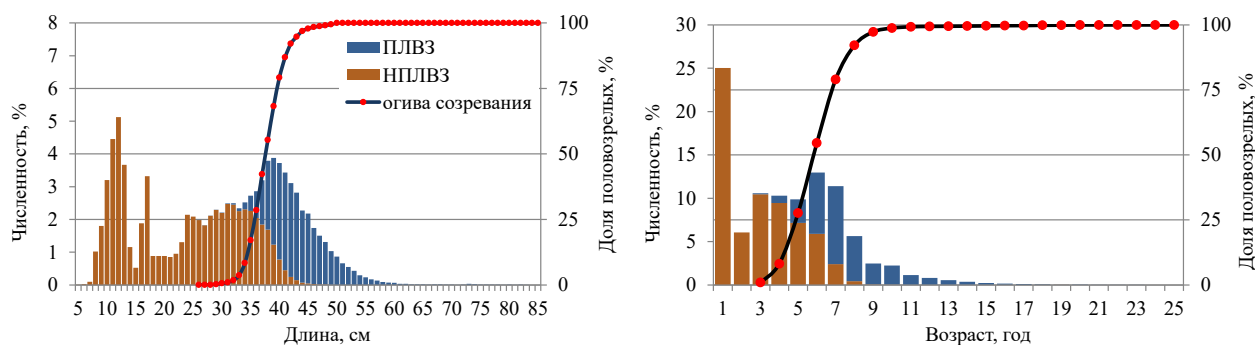


Рисунок 3 – Среднемноголетний размерно-возрастной состав и созревание самок минтая в северной части Охотского моря за 2011–2020 гг. (НПЛВЗ – неполовозрелые, ПЛВЗ – половозрелые).

Стоит отметить, что в различных районах Охотского моря по численности существенно преобладали неполовозрелые особи, средняя доля которых во всей северной части моря составляла у самцов 65,1%, у самок – 63,8% (табл. 1).

Представленные размерно-возрастные ряды самцов и самок минтая отображают общую ситуацию с его запасом на протяжении 2010-х гг. Как видно в запасе присутствовали все функциональные группы, включающие как особей нерестового запаса, так и особей его дальнего и ближнего пополнения.

Таблица 1 – Соотношение неполовозрелого и половозрелого минтая в разных частях Охотского моря в среднем за период 2011–2020 гг., %

Часть моря	Северо-восточная		Северо-западная	
	Самцы	Самки	Самцы	Самки
Неполовозрелые	68,1	66,3	69,0	68,3
Половозрелые	31,9	33,7	31,0	31,7
сумма	100	100	100	100

Смещение огивы к началу или концу размерно-возрастного ряда связано с выборкой из разных функциональных областей ареала [Варкентин, 2011]. По нашим данным, расположение огивы также зависит от соотношения неполовозрелых и половозрелых особей по районам или в общем запасе всей североохотоморской популяции минтая. На наш взгляд, рассматривать отдельно небольшие районы для выявления особенностей созревания минтая, например, как зал. Шелихова, не совсем корректно. Так как в зал. Шелихова в большей степени всегда преобладает неполовозрелый минтай, а половозрелые особи в весенний период приходят в залив только на нерест. После нереста половозрелый минтай мигрирует на нагул в глубоководную часть моря. У восточного Сахалина в период выполнения весенних съемок наблюдается начало подхода преднерестовых и нерестовых особей на нерестилище, что не дает правильного представления об истинном соотношении неполовозрелой и половозрелой частей общего запаса. При сравнении созревания минтая в более крупных районах моря, таких как северо-восточная и северо-западная части, учитывающих местные составляющие неполовозрелой и половозрелой частей, можно более достоверно рассуждать о темпах созревания самцов и самок в отдельности.

Общее состояние запаса минтая, а именно соотношение неполовозрелой и половозрелой частей, дает разное представление о созревании минтая. Превалирование в общем запасе неполовозрелых особей высокочисленных поколений и низкой доли половозрелой части приводит к смещению огивы в левую часть размерно-возрастного ряда, что дает ошибочное представление о раннем созревании минтая при таком соотношении функциональных частей запаса.

В то же время высокая доля половозрелых рыб, наблюдающаяся в период отсутствия высокочисленных поколений в неполовозрелой части запаса, либо особи многочисленных поколений созрели и значительно дополнили половозрелую часть, приводит к смещению огивы в правую часть размерно-возрастного ряда, что также дает неверное представление о позднем созревании минтая.

Вероятнее всего, соотношение неполовозрелых и половозрелых особей, близкое к 70/30%, является для североохотоморского минтая оптимальным, что на сегодняшний день, дает возможность эффективно, без причинения вреда пререпродуктивной и репродуктивной частям, эксплуатировать его запас.

## Заключение

Полученные нами результаты исследований о темпах созревания минтая в Охотском море в 2010-х гг. сопоставимы с результатами периода 1984–2008 гг. В среднем за рассматриваемый период самцы массово созревали при достижении длины 36 см, самки при – 37 см. Тем временем возраст массового созревания у обоих полов составлял – 6 лет.

Усредненные размерно-возрастные составы самцов и самок имели схожие модальные группы, среди которых основу составляли особи 37–42 см. В северной части Охотского моря соотношение между неполовозрелой и половозрелой частями общего запаса составляло, примерно, 70/30%. Исследования репродуктивной структуры североохотоморского минтая указывают на удовлетворительное состояние его запасов в период с 2011 по 2020 гг. На протяжении десятилетия в структуре общего запаса в значительном количестве присутствовали группы особей, относящихся к дальнему и ближнему пополнению промыслового запаса.

### Список литературы:

1. Варкентин А.И. Половое созревание минтая (*Theragra chalcogramma*) в северной части Охотского моря в 1998–2008 гг. // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана: Сб. науч. тр. КамчатНИРО.– 2011. – Вып. 22.– С. 49–62.
2. Овсянников Е. Е., Овсянникова С. Л., Шейбак А. Ю. Динамика и структура запасов минтая в северной части Охотского моря в 2000-е гг. // Известия ТИНРО.– 2013.– Т. 172.– С. 133–148.
3. Фадеев Н.С. Методика оценки запасов минтая по численности икры и размерно-возрастному составу // Биология моря. – 1999. – Т. 25. – № 3. – С. 246–249.
4. Фадеев Н.С. Размерно-половой состав, темп полового созревания, коэффициенты зрелости североохотоморского минтая и теоретические расчеты по выходу ястычной икры // Вопросы рыболовства. – 2008. – Т. 9. – № 3 (35). – С. 586–594.
5. Фадеев Н.С., Раклистова М.М. Половое созревание минтая в северной части Охотского моря и обоснование минимального промыслового размера // Известия ТИНРО. – 2003. – Т. 133. – С. 45–55.
6. Шунтов В.П., Волков А.Ф., Темных О.С., Дулепова Е.П. Минтай в экосистемах дальневосточных морей // Владивосток: ТИНРО. – 1993. – 426 с.

УДК 597.317.1

Рубрика 34.33.33

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРОСТРАНЕНИЕ, ОСОБЕННОСТИ БИОЛОГИИ И ДИНАМИКА ЧИСЛЕННОСТИ ПЯТНИСТОГО СКАТА *BATHYRAJA MACULATA* В СЕВЕРНОЙ ПАЦИФИКЕ

SPATIAL DISTRIBUTION, FEATURES OF BIOLOGY, AND DYNAMICS OF ABUNDANCE OF WHITEBLOTCHED SKATE *BATHYRAJA MACULATA* IN THE NORTH PACIFIC

**Григоров Игорь Владимирович<sup>1</sup>, Кивва Кирилл Константинович<sup>2</sup>, Орлов Алексей Маркович<sup>3, 4, 5</sup>**

<sup>1</sup> *Главное бассейновое управление по рыболовству и сохранению водных биологических ресурсов, Москва*

<sup>2</sup> *Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии, Москва*

<sup>3</sup> *Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва*

<sup>4</sup> *Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, Москва*

<sup>5</sup> *Томский Государственный Университет, Томск*

**Grigorov Igor Vladimirovich<sup>1</sup>, Kivva Kirill Konstantinovich<sup>2</sup>, Orlov Alexey Markovich<sup>3, 4, 5</sup>**

<sup>1</sup> *Glav Basin Department of Fisheries and Conservation of Water Biological Resources*

<sup>2</sup> *Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography*

<sup>3</sup> *Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow*

<sup>4</sup> *A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution of the Russian Academy of Sciences, Moscow*

<sup>5</sup> *Tomsk State University, Tomsk*

## **Введение**

Пятнистый скат *Bathyrāja maculata* Ishiyama & Ishihara, 1977 является представителем подотряда Rajiformes. Он широко распространен в северной части Тихого океана и играет важную роль в экосистемах [Долганов, 1983]. *B. maculata* – холодолюбивый вид, обитающий в северной части Японского моря, в Охотском и Беринговом морях, у Японских, Курильских и Алеутских о-вов, в водах восточной Камчатки и зал. Аляска [Долганов, 1983; Mecklenburg et al., 2002 и др.]. Имеющиеся в литературе сведения по систематике, экологии и биологии пятнистого ската недостаточны для понимания его жизненного цикла и до сих пор носили фрагментарный характер, касаясь отдельных биологических и экологических особенностей указанного вида в некоторых районах его обитания. Целью данной работы является



обобщение и анализ данных по пространственному распределению, размерному составу, особенностям биологии и динамики численности пятнистого ската в северной Пацифике.

## Материалы и методы

Материалом послужили данные, собранные в северной части Тихого океана в период с 1979 по 2021 гг. сотрудниками Тихоокеанского филиала всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии ФГБНУ «ВНИРО», Аляскинского рыбохозяйственного научного центра AFSC и научными наблюдателями на американских промысловых судах. Используемые нами материалы включают сведения только о тех уловах, в которых был отмечен пятнистый скат. Кроме того, мы использовали данные о находках пятнистого ската из ихтиологических коллекций ряда музеев. Всего проанализированы данные 3470 поимок пятнистого ската разными орудиями лова: разноглубинным, донными и пелагическим тралами, донными ярусами и ловушками. Изменчивость пространственного распределения ската проанализирована для четырёх календарных сезонов за все годы наблюдений, а также для четырёх интервалов лет (1976-1990, 1991-2000, 2001-2010, 2011-2021). Для сравнения сезонов или интервалов лет данные распределены по гексагональным ячейкам равной площади (около 7,8 тыс. км<sup>2</sup>) с расстоянием между центрами ячеек около 87 км. Разбиение акватории на ячейки выполнено с использованием пакета dggridR в языке программирования R (версия 3.6.0). Для каждой ячейки, в которую попало более 2 поимок ската, для каждого анализируемого сезона или каждого интервала лет рассчитано среднее многолетнее значение численности.

## Результаты

В своём распространении пятнистый скат тяготеет к водам материкового склона северной, восточной и юго-восточной части Берингова моря, к тихоокеанским водам Алеутских и Курильских о-вов, а также к побережьям западной Камчатки и восточного Сахалина (рис. 1).

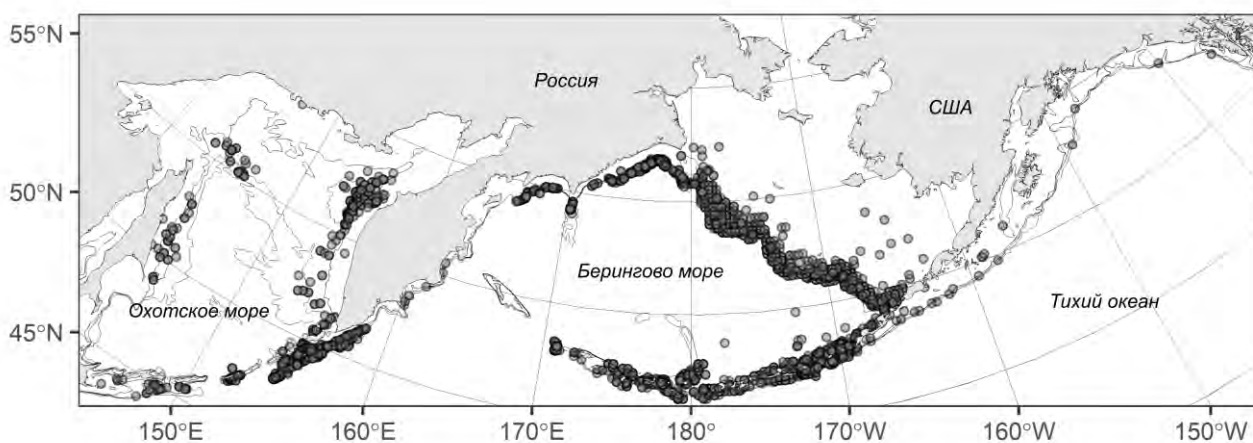


Рис.1. Места поимок пятнистого ската *Bathyraja maculata* (●) в северной Пацифике

В течение года характер количественного распределения пятнистого ската различен. В зимние месяцы (декабрь-февраль) уловы отмечены только в российской зоне исследований. Так в Беринговом море немногочисленные уловы (менее 25 экз./км<sup>2</sup> при осреднении по ячейкам площадью 7,8 тыс. км<sup>2</sup>) отмечены для акватории у м. Наварин, мористей него они составили 50-100 экз./км<sup>2</sup>. Для Охотского моря в указанном сезоне характерны единичные поимки (менее 25 экз./км<sup>2</sup>) в районе шельфа п-ова Камчатка. С марта по май в российских водах максимальные концентрации рассматриваемого вида в основном отмечались в

тихоокеанских водах северных Курильских о-вов (от 50 экз./км<sup>2</sup> и более), в Беринговом море – вблизи м. Наварин. Для американской зоны исследований в указанном сезоне уловы пятнистого ската (от 50 экз./км<sup>2</sup> и выше) отмечены для восточной части Алеутских о-вов (от о. Амурта до о. Уналашка). Период с июня по август характеризовался максимальными величинами уловов и площади скоплений. Уловы >200 экз./км<sup>2</sup> отмечены в Беринговом море – мористей м. Наварин и вблизи о. Святого Георгия, у Алеутских о-вов – в районе о. Атту и от о. Амля до о. Карлайл, в тихоокеанских водах Курильских о-вов – от о. Шикотан до о. Онекотан, в Охотском море – в районе шельфа п-ова Камчатка. С сентября по ноябрь высокие значения уловов были характерны только для российской части исследований, которые сохранялись в Олюторско-Наваринском районе Берингова моря, в Охотском море – на шельфе восточного Сахалина и юго-западной Камчатки, а также вдоль побережья северных Курильских о-вов.

Анализ многолетних данных по количественному распределению пятнистого ската показывает, что его осредненные показатели уловов в течение последних 39 лет (1980-2019 гг.) увеличивались. Так с 1980 по 2000 гг. уловы более 200 экз./км<sup>2</sup> (среднее многолетнее для ячеек площадью 7,8 тыс. км<sup>2</sup>) были единичны и в основном отмечены на акватории Охотского моря, тихоокеанских вод Северных Курильских и Алеутских о-вов (о-ва Святого Георгия, Амля, Карлайл). Начиная с 2001 г. на всей исследуемой акватории происходило заметное увеличение максимальных уловов. За все время исследований, наиболее высокие уловы пятнистого ската отмечены в Беринговом море мористей м. Наварин, в восточной части Алеутских о-вов, в районе северных Курильских о-вов и у побережья юго-западной Камчатки в Охотском море.

Вертикальное распределение уловов пятнистого ската в разных частях ареала существенно различалось. В Беринговом море средние уловы и встречаемость данного вида на глубинах 200-600 м варьировали в пределах соответственно 74-154 экз./км<sup>2</sup> и 15-28%. Для данного района было характерно увеличение средних уловов до глубины 700 м. В водах северо-западной части Тихого океана (СЗТО) максимальная встречаемость пятнистого ската зарегистрирована на глубинах 100–600 м (11-26%), а самые высокие показатели средних уловов – в диапазонах глубин 400-500 (491 экз./км<sup>2</sup>) и 600-700 м (468 экз./км<sup>2</sup>). В Охотском море максимальная встречаемость отмечена на глубинах от 100 до 600 м – 15-19%, при максимальном показателе среднего улова – 476 экз./км<sup>2</sup> на глубине 500-600 м. В водах, омывающих Алеутские о-ва, наиболее часто рассматриваемый вид встречался на глубинах 100-300 м – 34-39%, а величина уловов на глубинах 100-200 и 400-500 составляла 395 и 272 экз./км<sup>2</sup> соответственно. Максимальные показатели улова и обилия пятнистого ската для зал. Аляска были характерны в диапазоне глубин 100-300 м (41-56% и 61-68 экз./км<sup>2</sup> соответственно). В вертикальном распределении данного вида существенные сезонные изменения не выявлены. В зимний период основная масса скатов отмечена в диапазоне 300-600 м, где максимальные величины средних уловов варьировали от 9 до 32 экз./км<sup>2</sup>, а встречаемость – 23-37%. Весной плотность концентраций пятнистого ската относительно равномерно распределялась на глубинах от 100 до 500 м, а встречаемость увеличивалась в диапазоне глубин 100-300 м – 28-33%. Летний период характеризовался высокой встречаемостью пятнистого ската на глубинах 100-300 м (27-28%) и максимальной плотностью в диапазонах глубин – 100-200 м и 600-700 м с показателями средних уловов – 369 и 372 экз./км<sup>2</sup> соответственно. Для осеннего периода была характерна максимальная встречаемость особей на глубинах 200-500 м (20-26%) и максимальные уловы на глубинах 500-600 м (379 экз./км<sup>2</sup>).

В целом на всём ареале пятнистого ската наибольшие средние глубины его поимки (455-640 м) были характерны для апреля и января, а наименьшие средние глубины пришлись на июнь (299 м) и ноябрь (294 м). Минимальные глубины распределения (16-25 м) зарегистрированы с августа по сентябрь. Максимальные глубины его поимок (1200 м) отмечены в июне.

Наши данные по придонным температурам, характеризующим термический режим обитания пятнистого ската, ограничены водами Аляски (восточная часть Берингова моря и Алеутские о-ва). Они свидетельствуют о том, что рассматриваемый вид встречается при температуре у дна от 2.1 до 6.3 °С. Максимальные уловы наблюдаются в диапазоне температур 3-4.5 °С. При этом при повышении температуры от 2.1 до 3.5 °С уловы растут, а в дальнейшем при её повышении начинают снижаться. Таким образом, в качестве оптимальной температуры обитания пятнистого ската в северо-восточной Пацифике следует рассматривать придонные температуры 3-4.5 °С.

Пятнистый скат в уловах был представлен особями с общей длиной (*TL*) 10–127 (в среднем 68.14) см, преобладали (70%) особи *TL* 50-100 см. Самцы были немного крупнее самок – средняя длина 70.8 см против 60.8 см. Для самцов было характерно численное преобладание в размерной группе от 70 до 110 см – 54%, самок – от 30 до 70 см – 59%. Масса самок варьировала в пределах 0.03–9.8 (среднее 2.5) кг, самцов – 0.08–8.8 (среднее 3.52) кг. Размеры пятнистого ската в разных частях ареала заметно отличаются. В Охотском море этот вид имеет большие размеры по сравнению с другими районами. Самые мелкие скаты вылавливались в водах СЗТО и западной части Берингова моря. По линейному коэффициенту *a* и показателю степени *b* уравнения размерно-весовой зависимости пятнистого ската из разных районов существенно различаются. Размерный состав пятнистого ската различен на разных глубинах. Минимальное среднее значение длины тела было характерно для глубин 600-700 м, а максимальное среднее значение – на глубинах до 100 м. Тренд на уменьшение средних размеров тела с увеличением глубины прослеживается до глубины в 700 м.

В размерной группе до 70 см доминировали самки (51–67%), почти равное соотношение полов наблюдалось в размерной группе 70–80 см, а среди более крупных особей (*TL* > 80см) доминировали самцы (59–83%).

Значение коэффициента упитанности, характеризующего соотношение длины и массы тела, у пятнистого ската в целом для северной части Тихого океана варьировало в пределах 0.23–2.69 (в среднем 0.62), у скатов из западной части Берингова моря – 0.23–1.35 (0.61), Охотского моря – 0.45–1.83 (0.71), СЗТО – 0.24–2.69 (0.59). Во всех анализируемых районах связь между длиной тела и упитанностью не прослеживалась, хотя некоторые скаты мелких размерных групп были более упитаны в сравнении с более крупными особями. Упитанность пятнистого ската была подвержена некоторой сезонной динамике. Максимальное среднее значение коэффициента упитанности было характерно для декабря (0.84), от января к июлю отмечен отрицательный тренд, а с августа наблюдалось увеличение рассматриваемого показателя.

По данным учетных съемок в западной части Берингова моря величина уловов пятнистого ската в целом демонстрировала положительный тренд с понижением величины уловов после 2010 г. В Охотском море наблюдалась сходная ситуация: повышение уловов до 2015 г. с последующим спадом. В СЗТО максимальные уловы пришлось на начало-середину 1980-х гг. с последующим отрицательным трендом и небольшим повышением к 2015 г. Основные уловы в американских водах восточной части Берингова моря пришлось на период с 2000-х гг., когда начиная с 2000 г. наблюдался позитивный тренд их увеличения. Уловы в зал. Аляска на протяжении периода исследований демонстрировали преимущественно стагнацию (57-68 экз. км<sup>2</sup>). В районе Алеутских о-вов уловы пятнистого ската росли до 2010 г. и снижались впоследствии.

### Список литературы:

1. Долганов В.Н. Руководство по определению хрящевых рыб дальневосточных морей СССР и сопредельных вод // ТИНРО, Владивосток – 1983 – С. 1-92.

2. Mecklenburg C.W., Mecklenburg T.A., Thorsteinson L.K. Fishes of Alaska // Bethesda, MD: Amer. Fish. Soc. – 2002 – xxxvii, + 1037 p.

УДК 597.2/.5

Рубрика 34.33.33

СРАВНЕНИЕ МЕТОДИЧЕСКИХ ПОДХОДОВ К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ВОЗРАСТА ПЕПЕЛЬНОГО МАКРУРУСА *CORYPHAENOIDES CINEREUS* (GILBERT, 1896)

COMPARISON OF METHODOLOGICAL APPROACHES IN DETERMINING THE AGE OF THE ASHY MACRURUS *CORYPHAENOIDES CINEREUS* (GILBERT, 1896)

**Мельникова Фелиция Александровна, Беляев Павел Сергеевич, Трофимова Анастасия Олеговна**

*ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии» (ВНИРО), г. Москва*

**Melnikova Felicia Alexandrovna, Belyaev Pavel Sergeevich, Trofimova Anastasia Olegovna**

*"All-Russian Scientific Research Institute of Fisheries and Oceanography" (VNIRO), Moscow*

## **Введение**

Пепельный макрурус (долгохвост) семейства Macrouridae, распространен в северной части Тихого океана от южных районов Охотского моря, тихоокеанского побережья центрального Хонсю и Орегона вдоль Командоро-Алеутской островной гряды на север до Наваринского подводного каньона Берингова моря на глубина от 150 до 3500 м, образуя наиболее плотные скопления на изобатах 500-1200 м (Токранов, Орлов, Шейко 2005 г.). Для пепельного макруруса характерны не только придонные, но и пелагические скопления, а высота косяков в отрыве от грунта может составлять до 30 – 70 м (Тупоногов, 1991, 1993, 1997; Дудник, Долганов, 1997). Несмотря на то, что запасы пепельного макруруса достаточно высоки, его специализированный промысел не ведется (Сазонов, 1983).

Данные о возрастном составе популяций и темпе роста видов водных биологических ресурсов имеют важное прикладное значение и дают возможность оценивать динамику численности и состояния их запасов.

Макрурусы как глубоководные рыбы, относятся к долгоживущим видам (Devine et al., 2006), а методика определения возраста затруднительная, трудоемка и до конца не разработана (Wilson, 1982; Andrews et al., 1999;). Ранее в качестве регистрирующей возраст рыб структуры использовалась чешуя (Куликова, 1957). Однако этот метод имеет свои ограничения, связанные со значительным занижением оценок у старших возрастных групп. Целью настоящей работы является выбор наиболее оптимального метода для определения возраста пепельного макруруса по отолитам.

## **Материал и методика**

Материал для исследования был получен из промысловых уловов в ходе мониторинговых работ на судне РТМ П-0697 «Камлайн» (ООО «Росрыбфлот») в районах шельфа и верхней части материкового склона восточного побережья Камчатки и западной части Берингова моря в период с 28 февраля по 17 апреля 2022 г. Долгохвосты ловились на глубинах до 600 – 700 м.



Для исследования были отобраны особи макруруса (рис. 1.) с неповрежденным хвостовым стеблем.



Рис. 1. Внешний вид пепельного макруруса (*Coryphaenoides cinereus*). Автор фото Беляев П.С.

У рыб измеряли преанальную длину (*PAL*), от кончика рыла до анального отверстия с точностью до 0,5 см, а общую длину (*TL*) с точностью до 1 см. В качестве регистрирующей структуры использовали отолиты, отобранные в ходе биологического анализа у 42 особей. Возраст определяли в лабораторных условиях при помощи стереомикроскопа OLIMPUS SZX12 («Olympus», Япония) с использованием системы анализа изображений Cell\*. Отолиты просматривали в отраженном свете.

Для сравнения методик были исследованы разные способы определения возраста рыб. Первый способ заключался в вымачивании целого отолита в глицериновом масле в течение суток (рис. 2). Предварительное определение возраста проводили по общепринятой методике (Чугунова, 1959). В основу второго способа был взят метод "the break and burn method" (Chilton, Beamish, 1982). Сделать ровный поперечный слом отолита через ядро вручную не представлялось возможным из-за небольшого размера и высокой плотности отолитов, поэтому поперечную поверхность отолитов, проходящую через ядро, получали путем шлифования. После чего поверхность отшлифованного отолита прокаливалась над пламенем спиртовки (рис.3). Шлифовку осуществляли при помощи шлифовально-полировальной машины («METKON GRIPO 2V GRINDER - POLISHER», Турция), с применением карбид-кремневой бумаги зернистостью 800 – 1200 grit.

Третий способ заключался в фиксации отолита в эпоксидной смоле и шлифовки поверхности в дорсо- вентральном направлении до ядра (Чугунова, 1959) (рис.4). По мере проявления годовых колец к центру меняли зернистость бумаги от грубой (P-800) к тонкой (P-1200). Шлифованную поверхность покрывали глицерином или маслом и просматривали в отраженном свете.

## Результаты

Полученные нами результаты разнились с данными литературы - длина рыб достигала 66 см, масса около 500 г., максимальный возраст при этом составлял 10 лет (таблица 1). Половозрелые особи встречались уже на 3-м году жизни при длине тела более 28 см, 50 % особей становились половозрелыми при длине свыше 32 см. В уловах преобладали особи длиной 34—50 см, массой 100—300 г в возрасте 3—5 лет.

В уловах присутствовали 17 самок и 25 самцов, вес самок варьировался 80 – 150 г., средняя масса составила 137, 25 г., а вес самцов 30 – 200 г., средняя масса – 90,2 г. Половозрелые



особи встречались уже на 6-м году жизни при длине тела более 24 см, регистрировали стадии зрелости гонад II и III.

Таблица 1. Размер и возраст пепельного макруруса (*Coryphaenoides cinereus*) по данным собственных исследований и литературных данных.

Литературные данные		Данные, полученные в результате исследования	
Возраст, лет	Средняя длина (TL) (см)	Возраст, лет	Средняя длина (TL) (см)
1	11,5	5	24,5
2	19,1	6	26,0
3	26,7	7	28,0
4	33,0	8	30,0
5	38,8	9	33,5
6	42,5	10	35,9
7	45,9	11	38,0
8	46,1	12	44,5
9	49,0	13	46,0

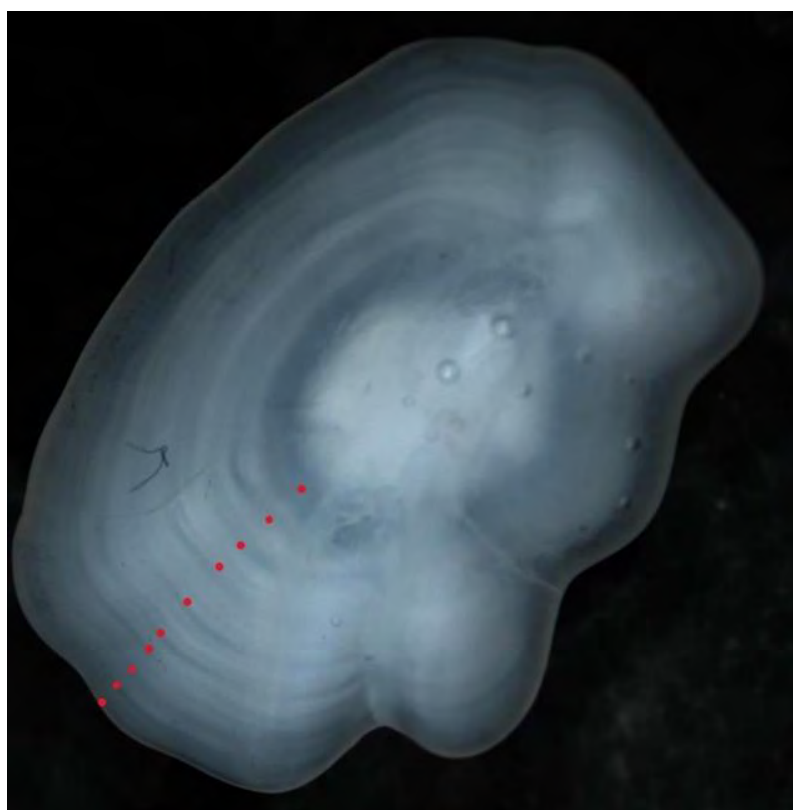


Рис. 2. Отолит, вымоченный в глицерине. Самец, длина – 36 см, масса – 85 г., возраст – 10 лет.

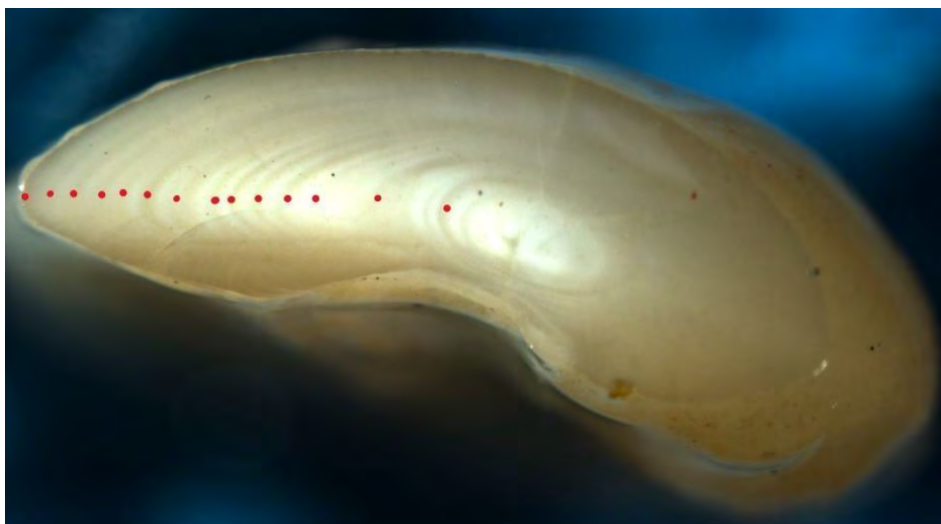


Рис. 3. Отолит, исследованный методом «the break and burn method». Самка, масса – 105 г., длина – 46 см, возраст – 14 лет.

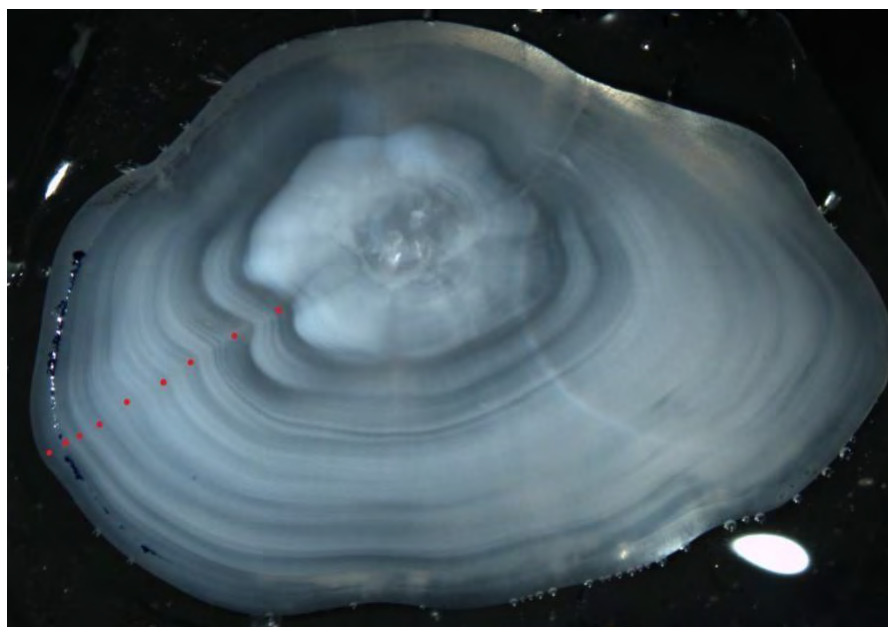


Рис. 4. Отолит, отшлифованный целиком в дорсо -вентральном направлении. Самец, длина – 34 см, масса – 70 г., возраст – 9 лет.

Определение возраста по отолитам осложнялось тем, что прослеживались дополнительные яркие темные полосы, в виде рядов колец.

### Выводы

Чтение возраста по отолитам, подготовленным 1-м способом, не показало хороших результатов, так как годовые кольца на целом отолите четко не дифференцировались. Использование метода «the break and burn method» позволило получить относительно четкое изображение годовых колец. Чтение целого отолита, шлифованного в дорсо -вентральном направлении до ядра, также показало хорошие результаты, но процесс подготовки отолитов оказался наиболее трудоемким, но тем не менее этот метод можно использовать.

Исследование данных трех – способов определения возраста по отолитам показало, что

наиболее подходящим для определения возраста пепельного макруруса является метод «the breakand burn».

### Благодарность

Выражаем особую благодарность д.б.н. ФГБНУ "ВНИРО" Кузнецовой Е. Н., д.б.н. ФГБНУ "ВНИРО" Антонову Н.П. и к.б.н. ФГБНУ "ВНИРО" Согриной А.В. за значимые замечания и советы при проведении исследования и оформления данных тезисов.

### Список литературы:

1. Гриценко Ф., Котляра А.Н, Котенёва Б.Н. Промысловые рыбы России. В двух томах / под ред. О— М.: изд-во ВНИРО. 2006 1280 с. (Том 1 656 с.).
2. Дудник Ю. И., Долганов В.Н. Распределения и запасы рыб на материковом склоне Охотского моря и Курильских островов летом 1989 г.// Вопр. Ихтиол – 1992. Т. 32, вып. 4. – С. 83-89.
3. Куликова Е.Б. Рост и возраст глубоководных рыб// Тр. ИОАН СССР – 1957 Т. 20 – С. 347 – 355.
4. Сазонов Ю.И. Семейство Моровые (Moridae)// Жизнь животных в 6-ти томах / ред. Т.С. Расса. Т. 4. Рыбы. Москва: Просвещение. 2-е изд., перераб., 1983 С. 323- 326.
5. Солдат, В.Т. Методика определения возраста тупорылого макруруса *Coxyphaenoides rostratus* (Gunnerus, 1765) Срединно-Атлантического хребта
6. Сюсина Т. И. Пепельный макрурус // Биологические ресурсы Тихого океана. – М.: Наука, 1986. – С. 241–247.
7. Тупоногов В.Н. Макрурусы // Гидрометеорология и гидрохимия морей. Т. 9: Охотское море. Вып. 2: Гидрохимические условия и океанологические основы формирования биологической продуктивности. — С-Пб.: Гидрометеоздат, 1993. — С. 112-116.
8. Токранов А. М., Орлов А. М., Шейко Б. А. Промысловые рыбы материкового склона прикамчатских вод //Петропавловск-Камчатский: Камчатпресс. – 2005. 52 с.
9. Ульченко В. А., Орлов А. М. Сезонная динамика распределения демерсальных видов рыб тихоокеанского побережья северных курильских островов и юго-восточной камчатки в зависимости от придонной солёности воды.
10. Фадеев Н.С. Промысловые рыбы северной части Тихого океана. Биологические ресурсы Тихого океана. Составитель — А.М. Токранов, научный сотрудник КИЭП ДВО РАН)
11. Чугунова, Н. И. Руководство по изучению возраста и роста рыб [Текст] : (Метод. пособие по ихтиологии) / Акад. наук СССР. Отд-ние биол. наук. Ихтиол. комис. Ин-т морфологии животных им. А. Н. Северцова. - Москва : Изд-во Акад. наук СССР, 1959. - 164 с.
12. Andrews, A. H. Age and growth of pacific grenadier (*Carphaenoides aurolepis*) with age estimate validation using an improved radiometric ageing technique fA Andrews, G.M. *Carf Jet*, K H. *Coal an*, , Fish, *Aguat, Sei.*, 56 (8), 1999. P. 1339-1350.
13. Devine J.A., Baker K.D., Haedrich R.L. 2006 Deep- sea fishes qualify as endangered//*Nature*. V439. № 5. P. 29

14. Chilton D.E., Bemish R.J. Age determination methods for fishes studied by the ground fish program at the Pacific Biological Station: Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci. 1982. Vol. 60. 102 p.
15. Wilson R.R. A comparison of ages estimated by the polarized light method with ages estimated by vertebrae in females of *Coryphaenoides acrolepis* (Pisces: Macrouridae) // Deep-Sea Res. - 1982. - Voi. 29 (11A). - P. 1373-1379.

УДК 574.583

Рубрика 34.33.15

ЗООПЛАНКТОН ПРИБРЕЖНОЙ ЧАСТИ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ БАЛТИКИ ЛЕТОМ 2023  
Г

ZOOPLANKTON OF THE COASTAL PART OF THE SOUTHEASTERN BALTIC SEA IN  
THE SUMMER OF 2023

**Казакова Диана Максимовна<sup>1,2</sup>, Полунина Юлия Юрьевна<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Институт океанологии им. П.П. Ширшова, Москва*

<sup>2</sup> *БФУ им. И. Канта, Калининград*

**Kazakova Diana Maksimovna<sup>1</sup>, Polunina Yulia Yurievna<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Shirshov Institute of Oceanology, Moscow*

<sup>2</sup> *IKBFU, Kaliningrad*

## **Введение**

Состав и структура зоопланктонных сообществ зависит от изменений условий обитания, что особенно заметно в прибрежных морских районах, где влияние факторов среды, таких как температура воды, прибрежные течения, антропогенное загрязнение, сток пресных вод и др., наиболее значительно. В весенне-летний период при повышении температуры воды наблюдается увеличение численности и биомассы зоопланктона и изменение структуры сообщества. В Балтийском море, которое характеризуется существенными вариациями факторов среды, состояние прибрежных планктонных сообществ очень изменчиво и существенно зависит от биологического сезона года. Значение прибрежного зоопланктона велико – здесь нагуливается молодь многих видов рыб, в т.ч. промысловых. Цель нашей работы – охарактеризовать видовой состав, структуру и распределение зоопланктона в прибрежных водах Юго-Восточной Балтики (ЮВБ) в июне 2023 г.

## **Материалы и методы**

Пробы зоопланктона отбирали 16 июня 2023 г. на маломерном судне «Норд» в прибрежной зоне ЮВБ вдоль Калининградского побережья. Станции отбора проб располагались вдоль Самбийского полуострова на изобатах 5-20 м. Пробы отбирали в дневное время планктонной сетью Джеди (Ø=14 см, ячей 100 мкм) тотальным ловом (от дна до поверхности), а также на двух станциях дополнительно отбирали пробы с поверхности и у дна батометром для выявления особенностей вертикальной структуры зоопланктона. Пробы фиксировали 40% формалином до конечной концентрации 4%. Камеральную и статистическую обработку проб проводили по общепринятым методикам [1], биомассу рассчитывали по зависимости массы от длины тела организмов [2, 3]. На каждой станции измеряли температуры воды водным термометром у дна и на поверхности.

## **Результаты**

Мезозoopланктон был представлен небольшим числом видов и групп: Rotifera – 1, Cladocera – 4, Copepoda – 6. В меропланктоне встречены личинки Bivalvia, Polychaeta, науплии Cirripedia.

Температура воды в период нашего исследования в поверхностном слое в среднем составляла 12°C, а у дна была еще меньше – около 8°C, что характеризует биологический сезон как весенний.

Коловратки были представлены одним эвритопным родом – *Synchaeta* Ehrenberg, 1832, который встречался на всех станциях.

Видовой состав ветвистоусых ракообразных был низким – всего три вида: *Evadne nordmanni* Lovén, 1836, *Podon intermedius* Lilljeborg, 1853, *Pleopis polyphemoides* (Leuckart, 1859), из которых последний был наиболее многочисленным. Тепловодные виды, в т.ч. инвазивные виды *Cercopagis pengoi* (Ostroumov, 1891) и *Evadne anonyx*, не отмечены. Низкое разнообразие этой группы связано с невысокими температурными показателями воды.

Веслоногие ракообразные были представлены шестью видами: *Acartia bifilosa* (Giesbrecht, 1881), *Acartia longiremis* (Lilljeborg, 1853), *Centropages hamatus* (Lilljeborg 1853), *Eurytemora affinis* (Poppe, 1880), *Temora longicornis* (Müller O.F., 1785) и *Pseudocalanus cf. acuspes* (Giesbrecht, 1881). Наиболее многочисленным был вид *Acartia longiremis*, представленный всеми возрастными стадиями. Вид *A. bifilosa* был встречен не на всех станциях, и его средняя численность была в шесть раз меньше численности *A. longiremis*. Холодноводный вид *Pseudocalanus cf. acuspes* был представлен преимущественно младшими копеподитными и науплиальными стадиями. Вклад *Eurytemora affinis*, *Centropages hamatus* и *Temora longicornis* в общую численность и биомассу был незначителен.

Типичные обитатели летнего зоопланктона ЮВБ прибрежной зоны, такие как кладоцера *Eubosmina maritima* Müller, 1867, копепода *Acartia tonsa* Dana, 1849 и коловратка *Keratella quadrata* Müller, 1786, в период нашего исследования не встречались.

Для исследуемого района доминантами по численности и биомассе были *Acartia longiremis* и *Synchaeta* sp., а также младшие копеподитные стадии калянид (рис. 1). Это соответствует данным предыдущих годов (2001-2015), когда также доминировали *Synchaeta* sp., науплиальные и младшие копеподитные стадии *Acartia* spp [4].

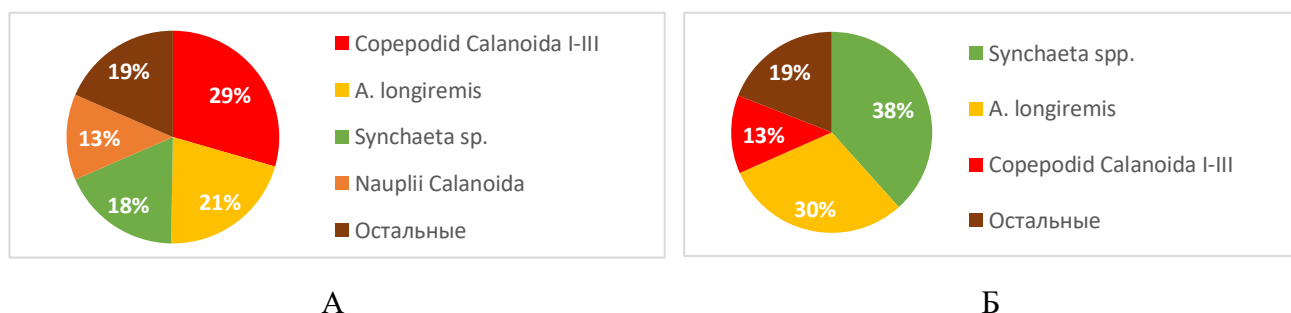


Рис. 1 - Комплекс доминирующих видов и групп зоопланктона в ЮВБ на ст. 1 (А – численность, экз./м³, Б – биомасса, мг/м³), июнь 2023 г.

На станциях, где отбирали пробы у дна и у поверхности, были выявлены некоторые отличия. В поверхностном слое средняя численность зоопланктона была значительно меньше, чем в придонном (глубина 15-16 м). Численность науплиальных стадий Calanoida у поверхности была более чем в 9 раз выше, чем у дна, а науплии Cirripedia в придонном слое полностью



отсутствовали. *Temora longicornis* не была встречена в поверхностном слое, а также большинство старших стадий *Pseudocalanus cf. acuspes* концентрировались у дна.

Численность зоопланктона в столбе воды изменялась от 15,0 до 97,1 тыс. экз./м<sup>3</sup> (в среднем 50,1 тыс. экз./м<sup>3</sup>), а биомасса – от 370 до 1230 мг/м<sup>3</sup> (в среднем 1000 мг/м<sup>3</sup>). Максимальные показатели были отмечены на станции, расположенной западнее м. Таран. Вероятно, повышенная численность и биомасса зоопланктона на этой станции обусловлена особенностями вдольбереговых течений у полуострова, где с одной стороны идет вдольбереговой поток воды с запада (от Балтийского пролива, откуда выходят воды высокопродуктивного Вислинского залива), а с другой стороны сказывается влияние вод у м. Таран, где также существуют высокопродуктивные биологические сообщества, в т.ч. зоопланктона [5].

Ранее проводили исследования зоопланктона прибрежной зоны Калининградского побережья: в июне 2007 г. общая численность зоопланктона изменялась в пределах 8-99 тыс. экз./м<sup>3</sup>, в июне 2010 г. в пределах 17-90 тыс. экз./м<sup>3</sup>. Наши данные сопоставимы с данными предыдущих годов. Биомасса также изменялась в сходных с нашими пределах: в июне 2007 г. от 77,6 до 311,5 мг/м<sup>3</sup>, в июне 2010 г. от 455 до 1866 мг/м<sup>3</sup>.

Для летнего периода выявлены существенные вариации количественных показателей: летом (июль-август) 2001-2003 гг. общая численность зоопланктона изменялась в пределах 7-60 тыс. экз./м<sup>3</sup> [4], летом 2012, 2014 гг. в пределах 2-55 тыс. экз./м<sup>3</sup>. В последнее время отмечен рост количественных показателей: в 2020-2022 гг. численность (30-424 тыс. экз./м<sup>3</sup>) почти в 10 раз выше данных предыдущих лет. В июне 2023 г. вода еще не прогрелась до характерных летних температур (летний биологический сезон начинается от температуры воды выше 15°C), в связи с чем численность зоопланктона меньше численностей, отмеченных в прошлые годы.

### **Заключение**

Таким образом, в июне 2023 г. видовое разнообразие зоопланктона прибрежной зоны ЮВБ было низким – всего 11 видов голопланктона: Rotifera – 1, Cladocera – 4, Copepoda – 6 и тремя видами меропланктона. Распределение зоопланктона вдоль Самбийского полуострова было неравномерным, повышение численности выявлено западнее мыса Таран. В этот период в зоопланктоне доминировали веслоногие ракообразные (*Acartia longiremis*, ранние ювенильные стадии калянид) и коловратки *Synchaeta* sp. Количественные показатели были ниже, чем в летний сезон 2020-2022 гг., что, вероятно, связано с более низкой температурой воды, и сопоставимы с данными весенних показателей зоопланктона прибрежной зоны ЮВБ.

### **Финансирование**

Работа выполнена в рамках Государственного задания ИОРАН по теме FMWE-2021-0012.

### **Список литературы:**

1. Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресных водоемах. Зоопланктон и его продукция / Под ред. А.А. Салазкина, М.Б. Ивановой, В.А. Огородниковой. Л.: ГосНИОРХ. – 1984. – 33 с.
2. Виноградов М.Е., Шушкина Э.А. Функционирование планктонных сообществ эпипелагиали океана. // М: Наука. – 1987. – 240 с.

3. Hernroth L., Viljamaa H. Recommendations on methods for marine biological studies in the Baltic Sea. Mesozooplankton biomass assessment // Publication-Baltic Marine Biologists BMB (Sweden). – 1979. – no. 6. – 45 p.
4. Полунина Ю. Ю., Родионова Н. В. Характеристика зоопланктонного сообщества // Система Балтийского моря. – М.: Научный мир. – 2017. – С. 258-292.
5. Полунина Ю.Ю., Матвий С. Г. Зоопланктон в прибрежных водах Калининградского взморья (Балтийское море) // Комплексные исследования процессов, характеристик и ресурсов российских морей Северо-Европейского бассейна (проект подпрограммы «Исследование природы Мирового океана» ФЦП «Мировой океан»). – Апатиты: Кольский научный центр РАН. – 2007. – Вып. 2. – С. 460-469.

УДК 591.524.12  
Рубрика 34.33.15

## ОСОБЕННОСТИ СОСТАВА И СТРУКТУРЫ ЛЕТНЕГО ЗООПЛАНКТОНА ПРИБЕЖНОЙ ЗОНЫ ВИСЛИНСКОГО И КУРШСКОГО ЗАЛИВОВ В 2023 ГОДУ

## FEATURES OF THE COMPOSITION AND STRUCTURE OF SUMMER ZOOPLANKTON OF THE COASTAL ZONE OF THE VISTULA AND CURONIAN LAGOONS IN 2023

**Болотов Эрнест Агрисович<sup>1</sup>, Полунина Юлия Юрьевна<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта, Калининград*

<sup>2</sup> *Институт океанологии имени П.П. Ширшова РАН, Москва*

**Bolotov Ernest Agrisovich<sup>1</sup>, Polunina Yulia Yurievna<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad*

<sup>2</sup> *Shirshov Institute of Oceanology of Russian Academy of Sciences, Moscow*

### **Введение**

Куршский и Вислинский заливы – важные рыбопромысловые, рекреационные, портовые акватории Калининградской области. Оба залива относятся к эвтрофным водоемам, а прибрежная зона особенно подвержена высокой антропогенной нагрузке и существенным колебаниям факторов среды. Зоопланктон – первое звено в преобразование энергии, синтезируемой автотрофами, важный пищевой объект рыб-планктофагов и молоди хищных рыб. Зоопланктон динамично реагирует на изменения среды вариациями состава, структуры и количественных показателей. Оценка состояния зоопланктона прибрежной зоны заливов актуальна. Цель нашего исследования – выявить особенности состава и структуры летнего зоопланктона прибрежной зоны двух заливов Балтийского моря в 2023 году.

### **Материалы и методы**

Пробы мезозоопланктона были отобраны в прибрежной зоне Вислинского залива (ст. Береговое, Ушаково) 13.06.2023 и Куршского залива (п. Лесной, п. Морское) 02.07.2023 г. Температуру воды измеряли водным термометром. В Куршском заливе использовали зонд «SonTek CastAway» для измерения солености и pH.

Пробы зоопланктона отбирали на глубине около 0,8-1,0 м, процеживая 50 л воды через сеть Апштейна (ячея 100 мкм). Пробы собирали в пластиковые бутылки объемом 0,4 л и фиксировали 4% раствором формальдегида. Пробы обрабатывали счетным методом Гензена по стандартной методике [Методические ..., 1984]. Видовое разнообразие оценивали по индексу Шеннона.

## Результаты

В зоопланктоне прибрежной зоны Вислинского залива отмечены 6 видов и таксонов голопланктона, представленного тремя основными группами: коловратки (Rotifera) – 4 (*Filinia longiseta*, *Keratella quadrata*, *Keratella cochlearis*, *Brachionus forticula*), веслоногие (Copepoda) – 1 (*Eurytemora affinis*), ветвистоусые (Cladocera) – 1 (табл. 1). В Куршском заливе отмечено 14 видов и таксонов голопланктона, представленного тремя основными группами: коловратки (Rotifera) – 3, веслоногие (Copepoda) – 5, ветвистоусые (Cladocera) – 6. При этом, только три вида коловраток были отмечены в обеих акваториях: *Filinia longiseta*, *Keratella cochlearis*, *Keratella quadrata*.

Видовое разнообразие было выше в Куршском заливе, чем в Вислинском.

В прибрежном зоопланктоне Вислинского залива выявлено невысокое видов разнообразие зоопланктона, и наиболее разнообразной была группа коловраток. Коловратки были представлены мелкими видами-седиментаторами из широко распространённых родов *Keratella*, *Filinia*, которые потребляют мелкоразмерную органическую взвесь. В период наших исследований в прибрежной зоне залива отмечено большое количество органической взвеси – полуразложившиеся водоросли, остатки макрофитов, зоопланктона. Температура воды была +21°C. Веслоногие ракообразные были представлены одним видом, типичным для вод Вислинского залива – эвригалинной калянидой *Eurytemora affinis*, которая является массовой для зоопланктона залива во все сезоны года. В группе кладоцер был отмечен только один вид – *Bosmina (Eubosmina) coregoni maritima*, также типичный для вод залива и Балтийского моря, вид-фильтратор и потребитель фитопланктона.

Значение индекса Шеннона было 0,73, что характерно для сообществ с низким биоразнообразием.

В структуре зоопланктона прибрежной зоны Вислинского залива абсолютно доминировали по численности группы коловраток, где наиболее массовым видом была *Keratella quadrata*, которая составляла 77% общей численности зоопланктона на ст. Ушаково. *Keratella cochlearis* составляла 15%, а *Filinia longiseta* – 7% общей численности. Вклад остальных видов в численность зоопланктона не превышал 2%. На ст. Береговое доминировала группа коловраток, где наиболее массовым видом была также *Keratella quadrata*, которая составляла 75%. *Keratella cochlearis* составляла 21%, а *Filinia longiseta* – 3% общей численности. Вклад остальных видов не превышал одного процента.

Общая численность зоопланктона на ст. Ушаково составляла 119,6 тыс. экз./м<sup>3</sup>, при этом 118,4 тыс. экз./м<sup>3</sup>, составили коловратки, численность остальных групп была низка, особенно группы ветвистоусых ракообразных. На ст. Береговое численность зоопланктона была гораздо ниже – 10 тыс. экз./м<sup>3</sup>, где коловратки составляли 9,9 тыс. экз./м<sup>3</sup> (табл.1).

Таблица 1. Численность основных групп зоопланктона в прибрежной зоне Вислинского залива, 13.06.2023 г.

	Ст. Ушаково	Ст. Береговое	Среднее
<b>Rotifera</b>	118374	199008	158691
<b>Copepoda</b>	1200	1040	1120
<b>Cladocera</b>	40	80	60
Всего	119614	200128	159871

Сравнение наших данных с данными предыдущих лет исследований показало, что зоопланктон на ст. Ушаково в июне 2009 г. был малочисленным (общая численность 0,86 тыс. экз./м<sup>3</sup>) и представлен планктонными ракообразными - веслоногими (0,12 тыс. экз./м<sup>3</sup>) и ветвистоусыми (0,78 тыс. экз./м<sup>3</sup>). При этом, в сообществе доминировал один вид ветвистоусых - *Chydorus sphaericus*, который составлял 73% общей численности. Коловратки не были отмечены. Это иллюстрирует, что для зоопланктона прибрежной зоны Вислинского залива характерны существенные вариации структуры и количественного развития зоопланктона.

В Куршском заливе наиболее разнообразной группой были ветвистоусые ракообразные (пять видов). На станции 440 был найден вид *Alona costata*, которой не встречался на других станциях. Самым многочисленным видом была *Bosmina coregoni* (151200 экз/м<sup>3</sup>). Следующий по численности – *Chydorus sphaericus*.

Структура зоопланктона в прибрежной зоне Куршского залива показала абсолютное доминирование по численности группы кладоцер. На ст. Морское наиболее массовым видом был *Bosmina coregoni*, который составил 29 % от общей численности зоопланктона. *Daphnia galeata* составила 28%, *Chydorus sphaericus* (взрослые и ювенильные особи) составил 31% общей численности зоопланктона. Вклад остальных видов не превысил 6 %.

Общая численность зоопланктона на ст. Морское составляла 273,5 тыс. экз./м<sup>3</sup>, при этом 241,7 тыс. экз./м<sup>3</sup>, составили кладоцеры (табл. 2), численность остальных групп была низка, особенно группы коловраток.

На ст. Лесное был найден вид *Alona costata*, которой не встречался на ст. Морское. Самым многочисленным видом был *Bosmina coregoni*. Численность зоопланктона была почти в 6 раз больше, чем на ст. Морское. (1555868 тыс. экз./м<sup>3</sup>).

Таблица 2. Численность основных групп зоопланктона в прибрежной зоне Куршского залива, 02.07.2023 г.

	Ст. 407	Ст. 440	Среднее
<b>Rotifera</b>	1711	2162	1936
<b>Copepoda</b>	30092	408418	219255
<b>Cladocera</b>	241750	1145288	693519
Всего	273553	1555868	914710

### Заключение

В летний период 2023 г. зоопланктон Вислинского залива был представлен всего 7 видами голопланктона и значение индекса Шеннона показало, что разнообразие зоопланктона низкое (0,73). В Куршском заливе отмечено 14 видов и индекс Шеннона был выше – 1,7.

В группу доминант зоопланктона Вислинского залива входили коловратки (*Keratella quadrata*, *Keratella cochlearis*, *Filinia longiseta*), которые составляли почти 99% общей численности; а в Куршском заливе – ветвистоусые ракообразные (*Bosmina coregoni*, *Daphnia galeata*, *Chydorus sphaericus*), которые составляли почти 88% общей численности зоопланктона.

Веслоногие ракообразные в Вислинском заливе были представлены одним солоноватоводным видом - *Eurytemora affinis*, тогда как в Куршском заливе – пресноводными видами *Mesocyclops leuckarti* и *Eudiaptomus graciloides*.

Средняя общая численность зоопланктона Вислинского залива составила почти 160 тыс экз./м<sup>3</sup>, а Куршского залива почти в шесть раз больше – 916 тыс. экз./м<sup>3</sup>.

Таким образом, разнообразие и количественное развитие зоопланктона прибрежной зоны Куршского залива существенно выше, чем Вислинского залива.

## **Финансирование**

Материал в Куршском заливе собран в рамках научно-образовательной программы "Плавучий университет", а материал в Вислинском заливе - в рамках гос. задания ИО РАН (Морские природные системы Балтийского моря и Атлантического океана: формирование природных комплексов Балтийского моря и их изменение под влиянием Атлантического океана и антропогенного воздействия FMWE-2021-0012).

## **Список литературы**

1. Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресных водоемах. Зоопланктон и его продукция / Под ред. Салазкина А.А., Ивановой М.Б., Огородниковой В.А. Л.: ГосНИОРХ, 1984. 33 с.
2. Определитель зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России. Т.1. Зоопланктон/ под ред. В.Р. Алексева, С. Я. Целолихина. М.: Товарищество научных изданий КМК. 2010. С.231-233.
3. The World of Copepods [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.marinespecies.org/copepoda/>



УДК 574.3

Рубрика 34.35.17

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОСВЯЗИ ЧИСЛЕННОСТИ ФИТО И ЗООПЛАНКТОНА В БАРЕНЦЕВОМ МОРЕ**

**INVESTIGATION OF THE RELATIONSHIP BETWEEN THE ABUNDANCE OF PHYTO AND ZOOPLANKTON IN THE BARENTS SEA**

**Чернышова Анна Сергеевна, Чанцев Валерий Юрьевич**

*Российский Государственный Гидрометеорологический университет (РГГМУ), Санкт-Петербург*

**Chernyshova Anna Sergeevna, Chantsev Valery Yurievich**

*Russian State Hydrometeorological University (RSMU), Saint Petersburg*

**Введение**

Баренцево море – один из наиболее продуктивных районов Мирового океана и самый изученный из арктических шельфовых морей. Зоопланктон Баренцева моря по видовому составу менее разнообразен по сравнению с другими районами Северо-Европейского бассейна, но его биомасса больше. Межгодовые колебания биомассы зоопланктона определяются многими факторами и процессами: пищевыми условиями, прессом хищников, температурой и адвекцией зоопланктона из Норвежского моря с Атлантическим течением.

Несмотря на то, что в отдельные периоды наблюдаются значительные межгодовые изменения, в среднем за последние 60 лет биомасса зоопланктона практически не изменилась. Влияние потепления климата на изменение количества зоопланктона, его направление и амплитуду трудно предсказать и интерпретировать, так как оно зависит от трофических условий и экологических взаимодействий.

**Результаты**

По результатам работы установлено, что зоопланктон служит связующим звеном между фитопланктоном и более высокими трофическими уровнями. Максимальная скорость фотосинтеза и величина интегральной первичной продукции меняется по степенному закону с изменением среднего ценонического объема клеток фитопланктона.

Также удалось выявить, что величина потребления фитопланктона зоопланктоном зависит от интенсивности питания фитофагов, которая в свою очередь зависит от концентрации фитопланктона. При низкой концентрации фитопланктона в периоды до и после цветения суточное потребление фитопланктона составляло значительную долю от общей биомассы фитопланктона.

**Заключение**

Таким образом, можно сделать вывод что количество и состав зоопланктона в Баренцевом море контролируются несколькими факторами: температурой, адвекцией атлантической воды и пищевыми условиями. Эти факторы, в свою очередь, находятся во взаимодействии друг с другом и значительно варьируют в зависимости от сезона и региональных условий.

Зоопланктонные сообщества играют важную роль в трофических цепях, являясь ключевым звеном, обеспечивающим поток энергии от первичных продуцентов на более высокие трофические уровни.

Качественная и количественная оценки функционирования и динамики фито и зоопланктона в Баренцевом море остаются важной задачей дальнейших исследований для понимания процессов, происходящих в экосистеме в целом.

### **Список литературы:**

1. Арашкевич Е.Г Зоопланктон Баренцева моря // Система Баренцева моря изд. ГЕОС Институт океанологии им П.П. Ширшова РАН г. Москва - 2021. С. 331-351
2. Дворецкий.В.Г Характеристика зоопланктона Баренцева моря //Комплексные исследования процессов, характеристик и ресурсов российских морей Северо-Европейского бассейна - Апатиты: КНЦ РАН, 2007.- Вып.2. -С 441-453.
3. ICES Report of the ICES Advisory Committee, 2010. ICES Advice, 2010a. Book 3, – 75 pp.

УДК 57.045

Рубрика 34.35.25

ОЦЕНКА ВАРИАБЕЛЬНОСТИ ЧЕТЫРЕХ МЕРОМИКТИЧЕСКИХ ВОДОЕМОВ  
ОКРЕСТНОСТЕЙ БЕЛОМОРСКОЙ БИОЛОГИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ МГУ ПО  
ПИГМЕНТНОМУ СОСТАВУ ВОДНЫХ ФОТОТРОФОВ

EVALUATION OF VARIABILITY OF FOUR MEROMICTIC WATER BODIES IN THE  
VICINITY OF THE WHITE-SEA BIOLOGICAL STATION MSU BY PIGMENT  
COMPOSITION OF AQUATIC PHOTOTROPHS

**Нагаева Анастасия Сергеевна<sup>1</sup>, Галыш Анастасия Андреевна<sup>1</sup>, Еланская Анна Сергеевна<sup>1</sup>, Лабунская Елена Алексеевна<sup>1</sup>, Быкова Екатерина Алексеевна<sup>1</sup>, Краснова Елена Дмитриевна<sup>1</sup>, Воронов Дмитрий Анатольевич<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва*

<sup>2</sup> *Институт проблем передачи информации РАН, Москва*

**Nagayeva Anastasia Sergeevna<sup>1</sup>, Galysh Anastasia Andreevna<sup>1</sup>, Elanskaya Anna Sergeevna<sup>1</sup>, Labunskaya Elena Alekseevna<sup>1</sup>, Bykova Ekaterina Alekseevna<sup>1</sup>, Krasnova Elena Dmitrievna<sup>1</sup>, Voronov Dmitry Anatolyevich<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Moscow State University M.V. Lomonosov, Moscow*

<sup>2</sup> *Institute for Information Transmission Problems RAS*

## **Введение**

Береговая линия Белого моря на Карельском берегу извилиста и образует множество заливов, из которых в связи с послеледниковым поднятием суши могут образовываться отделяющиеся от моря водоемы [Краснова и др. 2016]. Опреснение поверхностного слоя и ослабление контакта с морем приводит к формированию меромиктического водоема, характеризующегося резкой вертикальной неоднородностью физико-химических характеристик, сохраняющейся длительное время [Краснова и др. 2021]. Вертикальная гидрологическая структура беломорских меромиктических водоемов представлена аэробной зоной со слоями разной солености – поверхностным опресненным слоем и более соленым нижним, хемоклином – зоной перехода от аэробных условий к анаэробным, обычно с высокой концентрацией фототрофов, и анаэробной зоной с морской реликтовой водой под хемоклином [Лабунская и др. 2022]. Степень изоляции от моря определяется периодичностью поступления в них воды из моря. На начальной стадии в водоеме есть приливы и отливы, такие же, как в море, впоследствии их амплитуда уменьшается, потом периодичность забросов сокращается до одного раза в лунный месяц при сизигии, потом еще реже – лишь эпизодически при нагонных явлениях. При дальнейшем подъеме водоем оказывается в полной изоляции от моря. После заброса большого количества воды из моря стратификация в водоеме нарушается, после чего устанавливается *de novo*. Кроме того, в каждом водоеме наблюдаются сезонные изменения гидрологических характеристик и сезонная сукцессия фототрофного звена экосистемы. Интересной задачей является оценка их межгодовой вариабельности в водоемах, находящихся на разных стадиях изоляции. Фотосинтетические пигменты, обнаруженные в пробах из разных слоев водоема, косвенно отражают состав фототрофного сообщества [Краснова и др. 2021] и, следовательно, могут служить экспресс-оценкой его изменчивости. В данной работе

мы оцениваем изменчивость сообществ фототрофов в зоне хемоклина по вариабельности состава пигментов в ацетоновых экстрактах, полученных из воды разных водоемов в течение нескольких лет.

## Материалы и методика

### *Объекты и отбор проб*

Для анализа были выбраны четыре водоема в окрестностях Беломорской биологической станции МГУ им. Н.А. Перцова (ББС МГУ): тектонический желоб в морской бухте Биофильтров, соленая лагуна на Зеленом мысе и меромиктические озера с пресным поверхностным слоем воды (миксолимнионом) Еловое и Трехцветное. Пробы отбирали в июле 2023 г. Данные за 2018-2022 гг получили из работ студенческих групп кафедры физиологии растений, выполненных в ходе летней полевой беломорской практики в предыдущие годы (Лунина и др, 2019; Коношенкова и др., 2022; Лабунская и др, 2022, Янковский и др., 2022). Пробы воды отбирали в зоне редокс-перехода (хемоклине), где располагалась прослойка окрашенной воды с массовым развитием фототрофных микроорганизмов. Отбор проб проводили при помощи погружного насоса.

### *Получение спектров поглощения ацетоновых экстрактов*

Пробы воды центрифугировали при 2500 g 10 минут, удаляли супернатант, добавляли к осадку новую порцию пробы и повторяли процедуру. Количество циклов центрифугирования зависело от плотности микроорганизмов в пробе. Из осадка экстрагировали пигменты 90% ацетоном. Спектры поглощения получали при помощи спектрофотометра Solar PV 1251 в диапазоне 380 - 800 нм.

### *Математическая обработка спектров поглощения*

По спектрам определяли максимумы поглощения пигментов. Для уточнения положения максимумов получали вторую производную каждого спектра. Анализ спектров проводили в программе GraphPad Prism 8 [Haas et al., 2018; Gloe et al., 1975; Britton et al., 2004]. Результаты обработки спектров вносили в таблицы с длинами волн и числами, характеризующими пики. Наличие пика при определенной длине волны маркировали как 2, плеча – 1, отсутствие пика или плеча – 0. Последовательность длин волн разбивали условно на 4 равных по количеству возможных пиков диапазона: 400 – 460, 461 – 500, 501 – 615, 616 – 775. Для оценки межгодовой вариабельности использовали модифицированную меру Иверсена: количество совпадений в одном диапазоне, отнесенное к общему количеству пиков в диапазоне. Если совпадение было частичным (пик и плечо), его вклад уменьшали в 2 раза. Полученное значение можно использовать как показатель межгодовой стабильности водоема.

## Результаты и обсуждение

На рисунках 1-4 представлены спектры поглощения ацетоновых экстрактов в зоне хемоклина озер Трехцветное, Еловое, бухты Биофильтров и лагуны на Зеленом Мысе в разные годы. Заметно, что в озерах Трехцветное и Еловое сообщества фототрофов в хемоклине обладают наибольшей стабильностью. В таблице 1 даны значения модифицированной меры Иверсена для указанных водоемов за разные годы и их среднее арифметическое для каждого водоема. Оценка межгодовой вариабельности водоемов подтвердила, что наиболее стабильными являются озера Трехцветное и Еловое: по мере Иверсена они примерно в 1,5 раза стабильнее, чем сообщество фототрофов в хемоклине бухты Биофильтров и лагуны на Зеленом Мысе. Это согласуется с представлениями об изоляционном ряде этих водоемов. Трехцветное - озеро, практически не претерпевающее забросы морской воды и перемешивание, имеющее

полностью пресный аэробный слой. Еловое озеро по степени изоляции близко к оз. Трехцветное. Тектонический желоб в бухте Биофильтров представляет собой начальную стадию формирования меромиктического водоема, однако является полностью морским. Вариабельность пигментного состава в его хемоклине несколько ниже, по сравнению с соленой лагуной на Зеленом Мысе (табл. 1). Значения вариабельности в этих водоемах близки.



Рис 1. Спектры поглощения света ацетоновыми экстрактами из окрашенного слоя воды в хемоклине озера Трехцветное в 2018- 2023 гг.

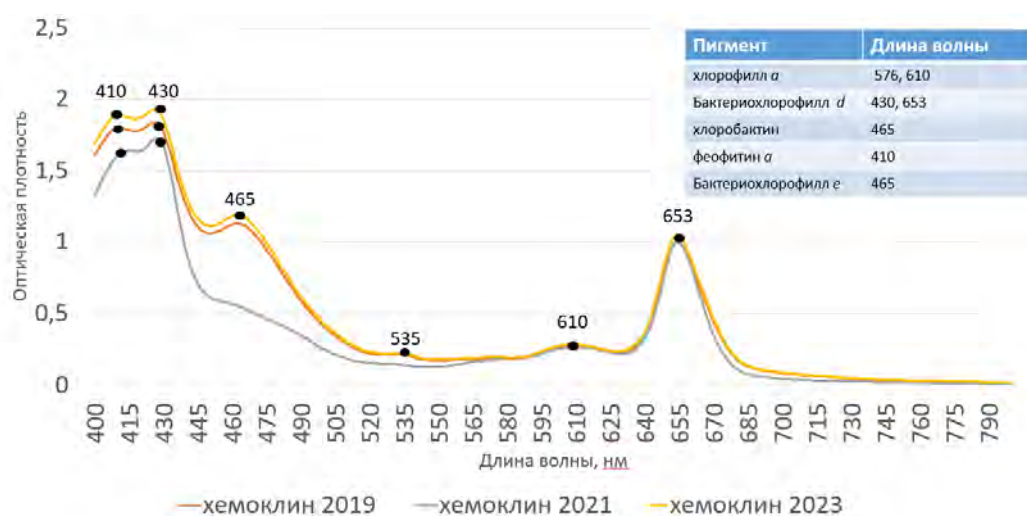


Рис 2. Спектры поглощения света ацетоновыми экстрактами из окрашенного слоя воды в хемоклине озера Еловое за 2019 – 2023 гг.

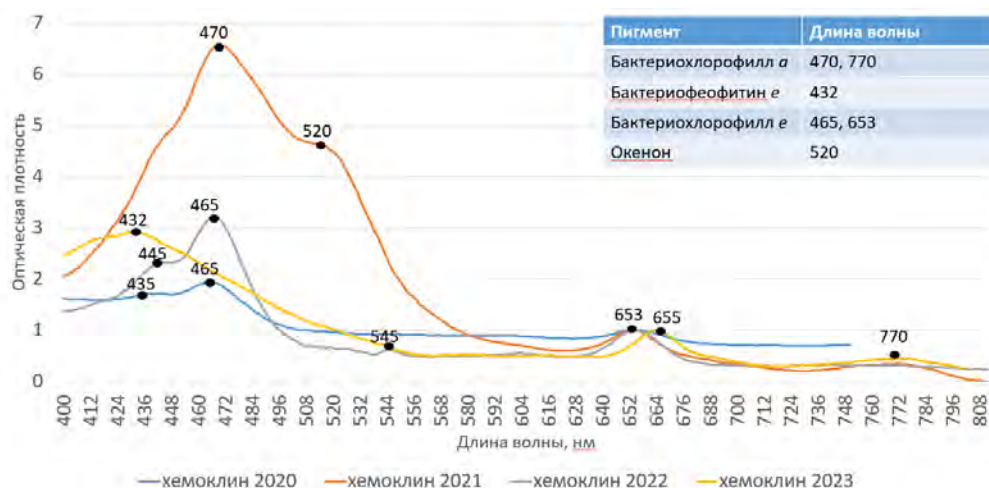


Рис 3. Спектры поглощения света ацетоновыми экстрактами из окрашенного слоя воды в хемоклине бухты Биофилтров за 2020 – 2023 гг.

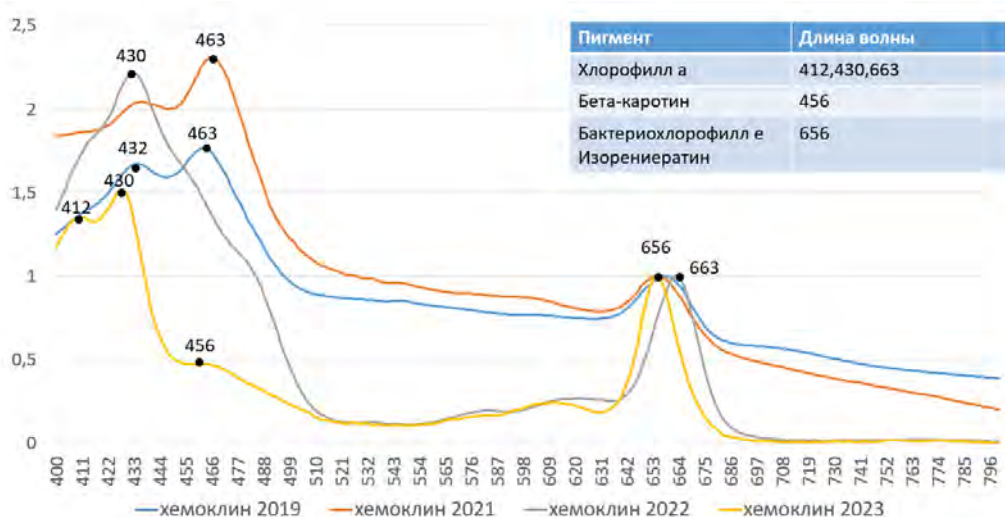


Рисунок 4. Спектры поглощения света ацетоновыми экстрактами из окрашенного слоя воды в хемоклине лагуны на Зеленом Мысе за 2019 – 2022 гг.

Таблица 1. Сравнение степени variability водоемов

Годы	2018 и 2019	2019 и 2022	2022 и 2023	среднее арифметическое % совпадений	степень variability
<b>Трехцветное</b>					
Доля совпадений	87,50	50,00	100,00	79,17	20,83
<b>Еловое</b>					
Годы	2019 и 2021	2021 и 2023			
Доля совпадений	75,00	66,67		70,83	29,17
<b>Биофилтры</b>					
Годы	2020 и 2021	2021 и 2022	2022 и 2023		



Доля совпадений	68,42	42,11	57,89	56,14	43,86
<b>Зеленый Мыс</b>					
Годы	2019 и 2021	2021 и 2022	2022 и 2023		
Доля совпадений	69,2307692	46,1538462	33,3333333	49,57	50,43

### Заключение

Описанные четыре водоема, находящиеся на различных стадиях изоляции от моря, различаются по составу и межгодовой вариабельности фотосинтетических пигментов. По изменчивости пигментного состава их можно расположить в ряд в порядке уменьшения стабильности: озеро Трехцветное, озеро Еловое, бухта Биофильтров, лагуна на Зеленом Мысе.

### Благодарности

Авторы благодарят руководство Беломорской биологической станции МГУ за возможность проведения исследований на базе биологической станции, а также использования научного оборудования и флота ББС МГУ; и ученицу 8 "А" класса школы 218 г. Москвы Горбоносову Надежду Вячеславовну за существенный вклад в разработку метода оценки вариативности исследуемых объектов.

### Список литературы

1. Коношенкова А. О., Аминов Н. С., Анисина А., Майборода А. Д., Лабунская Е. А., Воронов Д. А., Краснова Е. Д.. Анализ пигментного состава фитопланктона стратифицированных водоемов окрестностей ББС МГУ им. Н. А. Перцова. Труды X Международной научно-практической конференции Морские исследования и образование (MARESEDU-2021) Том II – III, volume 2, стр 276–280, ООО ПолиПРЕСС Тверь, 2022.
2. Краснова Е.Д., Воронов Д.А., Демиденко Н.А., Кокрятская Н.М., Пантюлин А.Н., Рогатых Т.А., Самсонов Т.Е., Фролова Н.Л., Шапоренко С.И. К инвентаризации реликтовых водоемов, отделяющихся от Белого моря // Комплексные исследования Бабьего моря, полуизолированной беломорской лагуны: геология, гидрология, биота — изменения на фоне трансгрессии берегов. Труды Беломорской биостанции МГУ. Т. 12. Москва: Т-во научных изданий КМК – 2016 – С. 211–241.
3. Краснова Е.Д., Воронов Д.А. ВЛИЯНИЕ ХЕМОКЛИНА НА ВЕРТИКАЛЬНУЮ НЕОДНОРОДНОСТЬ ЗООПЛАНКТОНА В ПРИБРЕЖНЫХ СТРАТИФИЦИРОВАННЫХ ВОДОЕМАХ, ОТДЕЛИВШИХСЯ ОТ БЕЛОГО МОРЯ Труды X Международной научно-практической конференции «Морские исследования и образование (MARESEDU-2021)» Том II – III 327 с.: [сборник]. Тверь: ООО «ПолиПРЕСС», 2021,
4. Лабунская Е. А., Аверчева О. В., Чеканов К. А., Воронов Д. А., Краснова Е. Д.. Спектрофотометрический анализ пигментного состава фототрофных организмов зоны хемоклина меромиктических водоемов окрестностей Беломорской биологической станции МГУ., XXIX Береговая конференция: натурные и теоретические исследования — в практику берегопользования, стр. 444–446, Издательство Балтийского федерального университета им. И. Канта, Калининград, 2022.

5. Лунина О. Н., Жильцова А. А., Емельянцеv П. С., Саввичев А. С., Пацаева С. В.. Количественное определение бактериохлорофиллов d и e в экстрактах при совместном присутствии зелено- и коричневоокрашенных зеленых серобактерий в образцах природной воды. Микробиология, стр 88 – 6, 2019.

УДК 574.583

Рубрика 34.35.33

ПРОИСХОЖДЕНИЕ КЛЕПТОПЛАСТИД ДИНОФЛАГЕЛЛЯТ РОДА *DINOPHYSIS* ИЗ  
ЛАГУНЫ НА ЗЕЛЕНОМ МЫСЕ: ПИГМЕНТНЫЙ АНАЛИЗ

THE ORIGIN OF KLEPTOPLASTID DINOFLAGELLATES OF THE GENUS *DINOPHYSIS*  
FROM THE LAGOON ON THE GREEN CAPE: PIGMENT ANALYSIS

**Еланская Анна Сергеевна<sup>1</sup>, Галыш Анастасия Андреевна<sup>1</sup>, Нагаева Анастасия Сергеевна<sup>1</sup>, Лабунская Елена Алексеевна<sup>1</sup>, Быкова Екатерина Алексеевна<sup>1</sup>, Краснова Елена Дмитриевна<sup>2</sup>, Воронов Дмитрий Анатольевич<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Биологический факультет МГУ им. М. В. Ломоносова, г. Москва

<sup>2</sup> Беломорская биологическая станция им. Н. П. Перцова, Биологический факультет МГУ им. М. В. Ломоносова, г. Москва

<sup>3</sup> Институт проблем передачи информации РАН, г. Москва

**Elanskaya Anna Sergeevna<sup>1</sup>, Galysh Anastasia Andreevna<sup>1</sup>, Nagayeva Anastasia Sergeevna<sup>1</sup>, Labunskaya Elena Alekseevna<sup>1</sup>, Bykova Ekaterina Alekseevna<sup>1</sup>, Krasnova Elena Dmitrievna<sup>2</sup>, Voronov Dmitry Anatolyevich<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Moscow State University M.V. Lomonosov MSU, Moscow

<sup>2</sup> WBSB Moscow State University

<sup>3</sup> Institute for Information Transmission Problems RAS

## Введение

*Dinophysis* – свободноживущие одноклеточные организмы, относящиеся к динофлагеллятам. Виды этого рода содержат токсины и при массовом развитии оказывают пагубное влияние на экологию водоема [Reguera *et al.*, 2012]. Это гетеротрофные организмы, не имеющие собственных пластид, однако способные к клептопластии, то есть накоплению пластид тех фототрофных организмов, которыми они питаются. Такие пластиды могут функционировать от нескольких дней до 1 месяца [Hansen *et al.*, 2016]. Фотосинтез клептопластид ускоряет рост *Dinophysis*. Кроме того, клетки *Dinophysis* способны отбирать пластиды водорослей у инфузорий, которые также захватили пластиды других автотрофов [Hansen *et al.*, 2016]. В меромиктических водоемах полуострова Киндо (Белое море, Карельский берег, окрестности Беломорской биологической биостанции МГУ) клептопластиды *Dinophysis* практически не изучены. Меромиктические водоемы - актуальный объект лимнологических исследований, они характеризуются высокой степенью стратификации водной толщи и не перемешивающимися слоями, которые отличаются друг от друга по физико-химическим параметрам [Краснова и др., 2016]. Задачей нашей работы было изучение происхождения клептопластид динофлагеллят рода *Dinophysis* в меромиктической лагуне на Зеленом Мысе путем анализа пигментного состава методом спектрофотометрии.

## Материалы и методы

Отбор проб проводили с лодки. Предварительно эхолотом определяли самую глубокую точку водоема, над которой проводили отбор проб с помощью погружного насоса с размеченным кабелем. Перед каждым отбором проб проводили измерение физико-химических параметров в различных слоях воды. Пробы сразу помещали в пластиковые емкости, обернутые фольгой для того, чтобы предотвратить разрушение пигментов на свету, и хранили при +5°C.

Для исследования фитопланктона, в составе которого был *Dinophysis*, использована проба с горизонта 5,6 м с высокой численностью этих организмов. Клетки *Dinophysis* отфильтровывали на мельничном сите с ячейей 18 мкм, смывали в чашку Петри, откуда поштучно вылавливали под световым микроскопом. Для концентрирования отловленных *Dinophysis* использовали метод центрифугирования (5000 оборотов 5 минут). Для экстракции пигментов клетки растирали в ступке; для более эффективного разрушения клеток суспензию замораживали при -20°C. Было проведено 3 цикла замораживания – оттаивания, между которыми проводили разрушение клеток при помощи ультразвуковой обработки в ультразвуковой ванне в течение 10 мин для качественного высвобождения пигментов. Далее пробы концентрировали с помощью центрифугирования (5000 оборотов 10 минут), после чего осадок заливали фосфатным буфером. Для приготовления фосфатного буфера в 2 колбах на 100 мл приготовили 0.05 М раствор каждой соли, взяв 1,14 г  $K_2HPO_4$  и 0,68 г  $K_2HPO_4$  (рН=6,7). РН буфера измеряли портативным рН-метром. Для получения необходимого рН (6,7) проводили титрование раствором соляной кислоты.

Спектры поглощения света пигментами разрушенных клеток *Dinophysis* определяли в буферном экстракте на спектрофотометре Solar PV 1251 при длинах волн от 400 до 800 нм.

Клептопластиды визуализировали с помощью флуоресцентного микроскопа Leica DM2500 при возбуждении светом с длиной волны 515–560 нм и регистрацией флуоресценции при запирающем светофильтре 590 нм.

## Результаты

В результате исследования в лагуне на Зеленом мысе были обнаружены мелкие автотрофные жгутиконосцы с синей пигментацией. Наибольшая их численность, так же, как и у динофлагеллят рода *Dinophysis*, находилась вблизи хемоклина (границы аэробной и анаэробной зон) на глубине 5,6 м (рис 1.). Представляется важным, что наибольшая плотность *Dinophysis* наблюдалась на том же горизонте, где находилась основная масса мелких жгутиконосцев.

С помощью флуоресцентного микроскопа в клетках *Dinophysis* были выявлены включения с флуоресценцией фикобилинов в красном диапазоне, которые мы квалифицировали как клептопластиды (рис 2.).

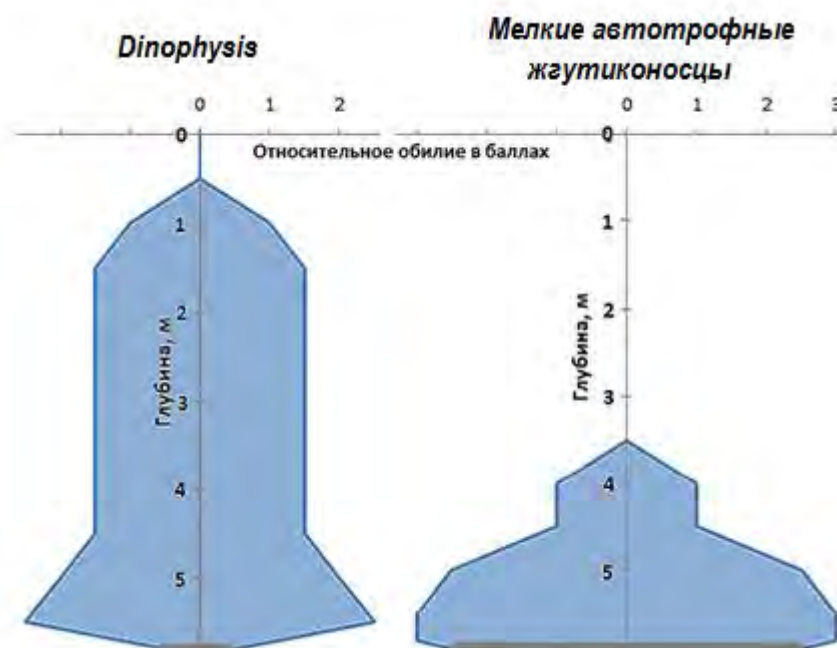


Рис 1. Вертикальное распределение динофлагеллят *Dinophysis* и мелких автотрофных жгутиконосцев с синей пигментацией в лагуне на Зеленом Мысе.

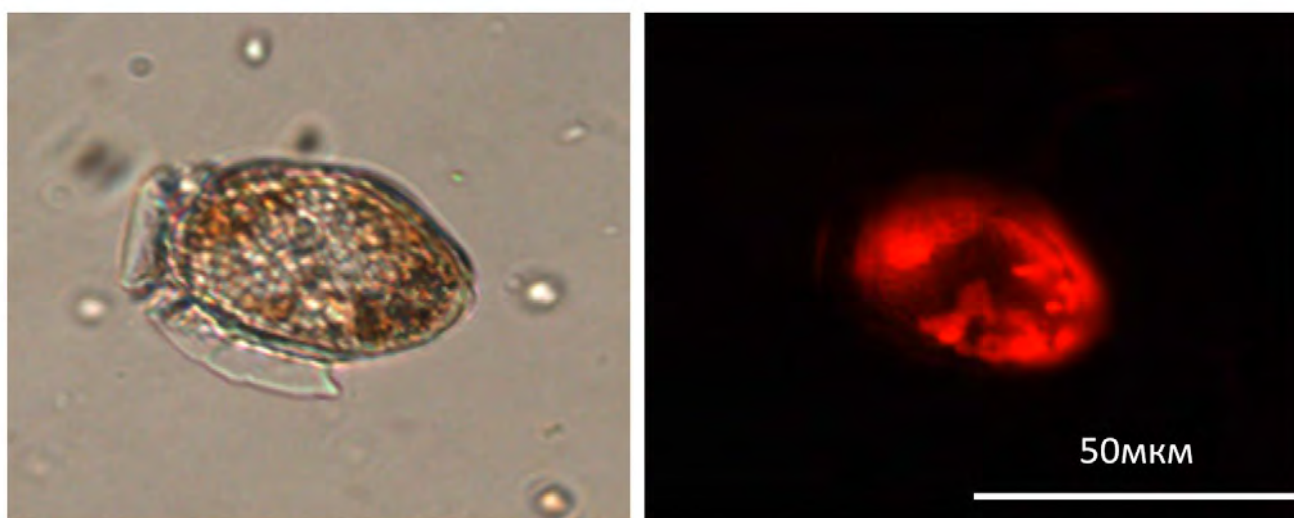


Рис 2. *Dinophysis* (слева фазово-контрастная микроскопия, справа флуоресцентная микроскопия). Видна флуоресценция фикобилинов.

Спектры поглощения буферных экстрактов из клеток *Dinophysis* и мелких жгутиконосцев представлены на рис 3, 4. При сравнении спектров можно заметить сходство пиков поглощения в области 620-650 нм, что соответствует максимуму поглощения синего белка аллофикоцианина (585-650 нм). По всей вероятности, клеточные пластиды *Dinophysis* содержат пластиды мелких жгутиконосцев, обитающих в том же слое воды.

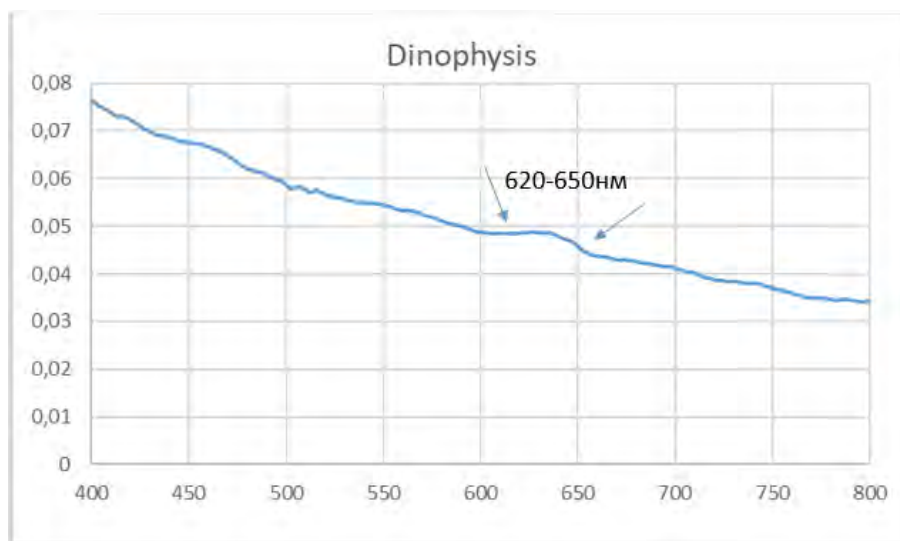


Рис 3. Спектр поглощения света экстрактом *Dinophysis* в фосфатном буфере.

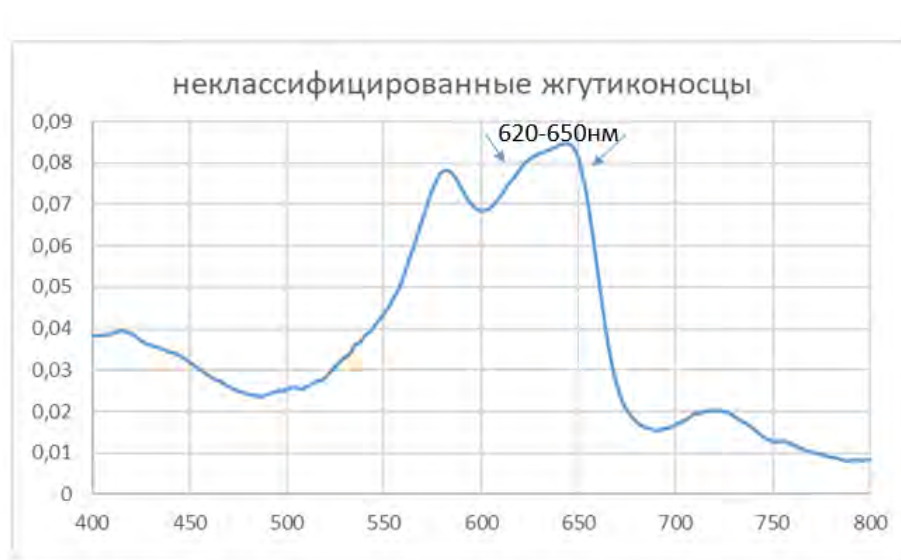


Рис 4. Спектр поглощения мелких автотрофных жгутиконосцев, обитающих в том же слое воды, что и *Dinophysis*

### Заключение

В результате исследования *Dinophysis* в лагуне на Зеленом мысе мы определили, что их клептопластиды содержат синий пигмент мелких жгутиконосцев, обитающих в том же слое воды. Динофлагелляты *Dinophysis* распределены по всему водоему, однако наибольшее их количество приходится на зону с максимальной концентрацией жгутиконосцев с синим пигментом. Все это указывает на весьма вероятное происхождение клептопластид из пластид этих мелких жгутиконосцев.

### Благодарности

Коллектив авторов выражает благодарность Беломорской биологической станции МГУ им. Н.А. Перцова за возможность проведения исследований на ее базе и использования научного оборудования и судов на ее базе.



## Список литературы

1. Краснова Е.Д., Воронов Д.А., Демиденко Н.А., Кокрятская Н.М., Пантюлин А.Н., Рогатых Т.А., Самсонов Т.Е., Фролова Н.Л., Шапоренко С.И. К инвентаризации реликтовых водоемов, отделяющихся от Белого моря. Комплексные исследования Бабьего моря, полу-изолированной беломорской лагуны: геология, гидрология, биота — изменения на фоне трансгрессии берегов (Труды Беломорской биостанции МГУ т. 12) Под общей редакцией В.О. Мокиевского, А.И. Исаченко, П. Ю. Дгебуадзе, А.Б. Цетлина. // Товарищество научных изданий КМК – Москва – 2016 – С. 211-241
2. Hansen P.J., Ojamäe K., Berge T., Trampe E.C.L., Nielsen L.T., Lips I. and Kühl M. Photoregulation in a kleptochloroplastidic dinoflagellate, *Dinophysis acuta* //Frontiers in Microbiology. – 2016. – Т. 7. – С. 785.
3. Reguera B., Lourdes V., Robin R., Myung G. P. Harmful *Dinophysis* species: A review //Harmful Algae. – 2012. – Т. 14. – С. 87-106.

УДК 574.55

Рубрика 34.35.33

АНАЛИЗ ПИГМЕНТНОГО СОСТАВА И ФОТОСИНТЕТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ АЛЬГО-БАКТЕРИАЛЬНЫХ И МАТОВ ЗЕЛЕННЫХ НИТЧАТЫХ ВОДОРОСЛЕЙ КИСЛО-СЛАДКОГО ОЗЕРА В ОКРЕСТНОСТЯХ ББС МГУ ИМ. Н.А. ПЕРЦОВА

ANALYSIS OF THE PIGMENT COMPOSITION AND PHOTOSYNTHETIC ACTIVITY OF ALGO-BACTERIAL AND MATS OF GREEN FILAMENTOUS ALGAE OF SWEET AND SOUR LAKE IN THE VICINITY OF THE WSBS OF THE N.A. PERTSOV

**Галыш Анастасия Андреевна<sup>1</sup>, Сидоченко Никита Дмитриевич<sup>1</sup>, Еланская Анна Сергеевна<sup>1</sup>, Нагаева Анастасия Сергеевна<sup>1</sup>, Быкова Екатерина Алексеевна<sup>1</sup>, Воронов Дмитрий Анатольевич<sup>2</sup>, Краснова Елена Дмитриевна<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Москва*

<sup>2</sup> *Институт проблем передачи информации РАН, Москва*

**Galysh Anastasia Andreevna<sup>1</sup>, Sidochenko Nikita Dmitrievich<sup>1</sup>, Yelanskaya Anna Sergeevna<sup>1</sup>, Nagaeva Anastasia Sergeevna<sup>1</sup>, Bykova Ekaterina Alekseevna<sup>1</sup>, Voronov Dmitry Anatolyevich<sup>2</sup>, Krasnova Elena Dmitrievna<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Moscow State University M.V. Lomonosov, Moscow*

<sup>2</sup> *Institute for Information Transmission Problems RAS*

## **Введение**

На побережье Белого моря обнаружено большое число озер, находящихся на различных стадиях удаленности и обособленности от береговой линии, ввиду послеледникового поднятия, и характеризующихся устойчивой вертикальной стратификацией. Каждый слой воды с его набором физико-химических характеристик служит биотопом для отдельного экологического сообщества. Такие водоемы называются меромиктическими, а явление – меромиксией. Меромиктические озера являются уникальными экосистемами, в которых фототрофные организмы, обитающие в пределах отдельного слоя, подстраивают свои антенные комплексы для улавливания света с тем спектральным составом, который достигает зоны их обитания, и на разной глубине они различаются. Существуют также конгломераты фотосинтезирующих организмов. Один вариант – плотно переплетенные маты нитчатых зеленых водорослей, преимущественно рода *Cladophora*. Другой вариант – коричневые маты, более рыхлые и без ярко выраженной структуры; в их состав входят диатомовые водоросли и цианобактерии комплексе с другими одноклеточными или/и многоклеточными водорослями, а также другими бактериями и даже простейшими. Такие, гетерогенные по своему составу, сообщества называют альго-бактериальными матами. Летом 2023 г, в одном из прибрежных озер, в Кисло-Сладком, наблюдалась вспышка образования матов из нитчатых водорослей, которые, формируясь на дне, постепенно всплывали на поверхность за счет пузырьков кислорода, выделяемого в результате фотосинтеза. Существенная доля

площади озера оказалась покрыта матами. Кроме того, были обнаружены альго-бактериальные маты, также всплывающие со дна озера. Зимой-весной 2023 г в озеро из моря поступила более плотная вода с высокой соленостью и произвела полное перемешивание водной толщи, что привело к нарушению сложившейся в предыдущие годы стратификации и обогащению всей водной массы биогенными веществами, накопившимися в анаэробной зоне. В связи с этим летом 2023 г. возникла необходимость оценки фотосинтетической активности водорослевых и альго-бактериальных матов в Кисло-Сладком озере.

Задачами данной работы были: 1) оценка пигментного состава фототрофных компонентов водорослевых и альго-бактериальных матов; 2) определение фотосинтетической активности методом индукции переменной флуоресценции хлорофилла *a* и сравнение по этим параметрам матов с вегетативными частями покрытосеменного донного растения *Ruppia maritima* L., растущего на мелководье этого озера. Впоследствии полученные данные могут помочь в анализе вклада водорослевых и альго-бактериальных матов в первичную продукцию водоема и генерацию кислорода.

### Материалы и методы

Измерения и отбор проб проводили в июле 2023 года. Пробы из матов нитчатых водорослей были отобраны с поверхности оз. Кисло-Сладкое и со дна с применением погружного насоса. Кроме того, на разной глубине водоема определяли следующие параметры воды: соленость, содержание растворенного кислорода, редокс-потенциал, pH и температуру. Для сравнения были отобраны образцы таких же матов из нитчатых водорослей *Cladophora* в приливно-отливной зоне моря рядом с озером Кисло-Сладкое.

Фальконы с отобранным материалом заворачивали в фольгу, чтобы предотвратить деградацию пигмент-белковых комплексов под действием солнечного света. Для определения пигментного состава требовалось предварительное экстрагирование пигментов. На первом этапе мы брали небольшое количество материала и растирали его в ступке с помощью пестика в 90% ацетоне с последующим фильтрованием через бумажный фильтр. Затем полученный экстракт переливали в кювету. Спектры поглощения света измеряли на спектрофотометре Solar PV 1251 в диапазоне длин волн 380 – 800 нм. На втором этапе мы анализировали полученную спектральную кривую, устанавливая соответствие между явно выраженными пиками, обозначающими максимумы поглощения света в экстракте и фотосинтетическими пигментами, пользуясь следующими источниками [Britton *et al*, 2004; Taniguchi, Lindsey, 2021]. Мы также определяли концентрацию хлорофиллов *a* и *b* методом спектрофотометрии, рассчитывая их по формулам S.W. Jeffrey и G.F. Humphrey [Jeffrey, Humphrey, 1975].

Для измерения фотосинтетической активности методом индукции переменной флуоресценции хлорофилла использовали портативный флуориметр AquaPen-C AP 100-C (Photon Systems Instruments, Чехия). Флуоресценцию индуцировали светом длиной волны 455 нм и интенсивностью  $3000 \text{ мкмоль квантов} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$  в течение 2 с. Перед измерениями пробы предварительно взвешивали на аналитических весах для дальнейшего расчета концентрации пигментов в мкг/г сырой массы, а затем адаптировали к темноте в течение 10 мин. Предварительная темновая адаптация требовалась для того, чтобы перевести все

фотосинтетические реакционные центры в «открытое» состояние, а также для окисления всех электронных переносчиков фотосистемы II (ФС II). При включении фотохимически активного освещения на приборе, начиналась быстрая фаза индукции флуоресценции хлорофилла а. Сигнал флуоресценции хлорофилла детектировался PIN-фотодиодом со светофильтром (667 – 750 нм). Зарегистрированные ОЛР-кривые, анализировали с помощью ЛР-теста в соответствии с [Strasser et al., 2004]. Интенсивность флуоресценции при 50 мкс (Fo), 100 мкс, 300 мкс, 2 мс (FJ), 30 мс (FI) и максимальный уровень флуоресценции (FM = Fp) использовали при расчете параметров флуоресценции из индукционных кривых. Фотосинтетическую активность фотосинтезирующих организмов определяли по параметру максимального квантового выхода первичной фотохимической реакции в ФС II как  $(F_m - F_o)/F_m = F_v/F_m$ .

## Результаты и обсуждения

### Увеличение содержания кислорода в июне-июле 2023 г. в оз. Кисло-Сладкое

Летом 2023 г. в озере Кисло-Сладкое было обнаружено существенное накопление кислорода под пинноклином (слоем скачка солёности) на глубине 1 м и ниже. На рисунке 1 приведены вертикальные профили содержания кислорода в толще воды озера с 11 июня по 16 июля 2023 г. Подобное явление указывает на наличие активно фотосинтезирующих организмов, обитающих на дне или в толще воды озера.

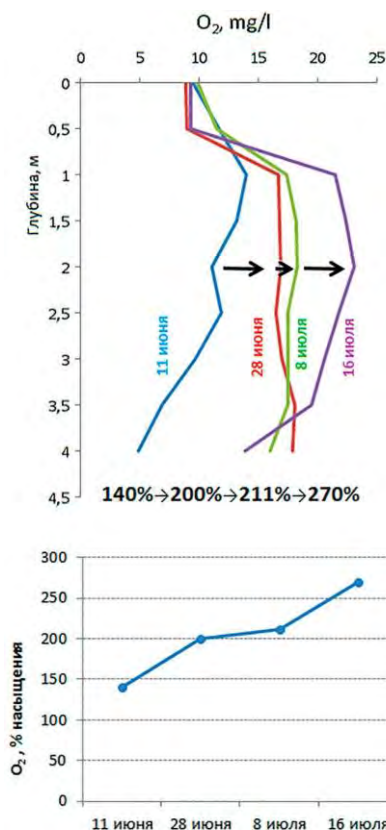


Рис. 1. Накопление кислорода в июне - июле 2023 г. в озере Кисло-Сладкое. На диаграмме приведены вертикальные профили концентрации растворенного в воде кислорода, а также его концентрация на глубине с максимальным содержанием в процентах насыщения.

### Оценка фотосинтетической активности

В результате работы были построены индукционные кривые переменной флуоресценции хлорофилла *a* для матов из нитчатых водорослей, отобранных на разной глубине в оз. Кисло-Сладкое, альго-бактериальных матов, собранных с поверхности, а также листьев морского макрофита *Ruppia maritima* L., растущего на дне в прибрежной зоне. На графике (рис. 2) видно, что серая кривая, соответствующая матам из нитчатых водорослей на дне водоема, в большей степени соответствует стандартной ОЛР-кривой, чем кривые флуоресценции других фотосинтезирующих организмов в этом озере.

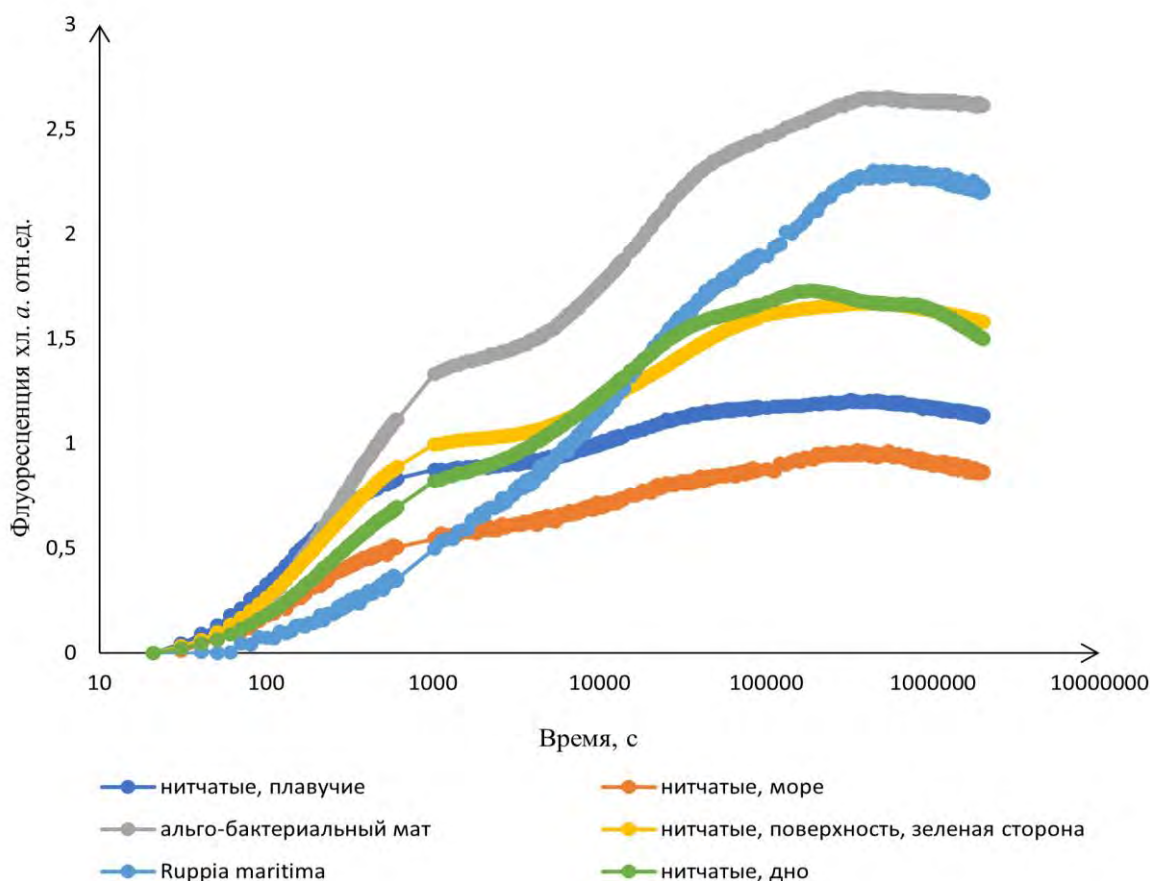


Рис. 2. Индукционные кривые переменной флуоресценции хлорофилла *a* фототрофных организмов и их конгломератов в оз. Кисло-Сладкое.

На диаграмме (рис.3) представлены значения квантового выхода ФС II у исследуемых объектов. Наибольшее значение этого параметра также наблюдается у нитчатых водорослей дна оз. Кисло-Сладкое ( $F_v/F_m = 0,712$ ). На основе этого можно сказать, что наибольшей фотосинтетической активностью обладают альго-бактериальные маты, маты из нитчатых

водорослей, и по квантовому выходу они близки к покрытосеменному растению *Ruppia maritima* L.

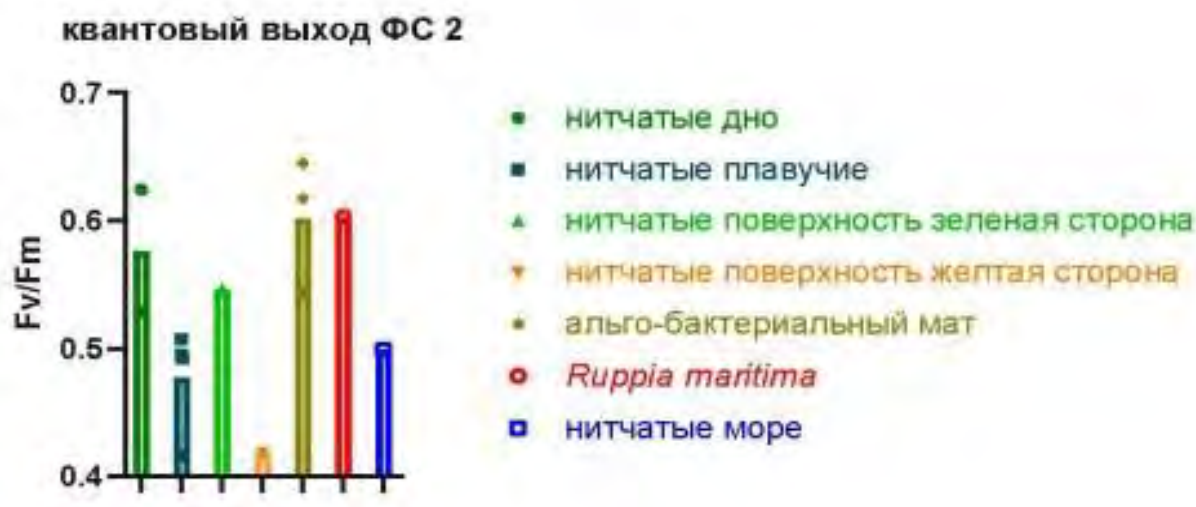


Рис. 3. Квантовый выход работы ФС II исследуемых объектов из оз. Кисло-Сладкое. На диаграмме приведены медианы и отдельные значения квантового выхода.

#### Анализ пигментного состава альго-бактериальных матов

Маты нитчатых водорослей, собранные с поверхности оз. Кисло-Сладкое, имели отчетливую слоистость. В верхнем слое водоросли были желтого цвета, а в нижнем – зеленого. Мы провели спектральный анализ ацетоновых экстрактов из каждого слоя. Пигментный состав был сходным. Однако у водорослей из верхнего слоя сильнее выражено каротиноидное плечо (рис. 4). Повышение содержания каротиноидов является защитной реакцией растения на окислительный стресс и фотоингибирование в условиях повышенной инсоляции. Фотоингибирование проявляется и в сниженном квантовом выходе (рис. 3) у нитчатых водорослей из верхнего, желтого слоя.



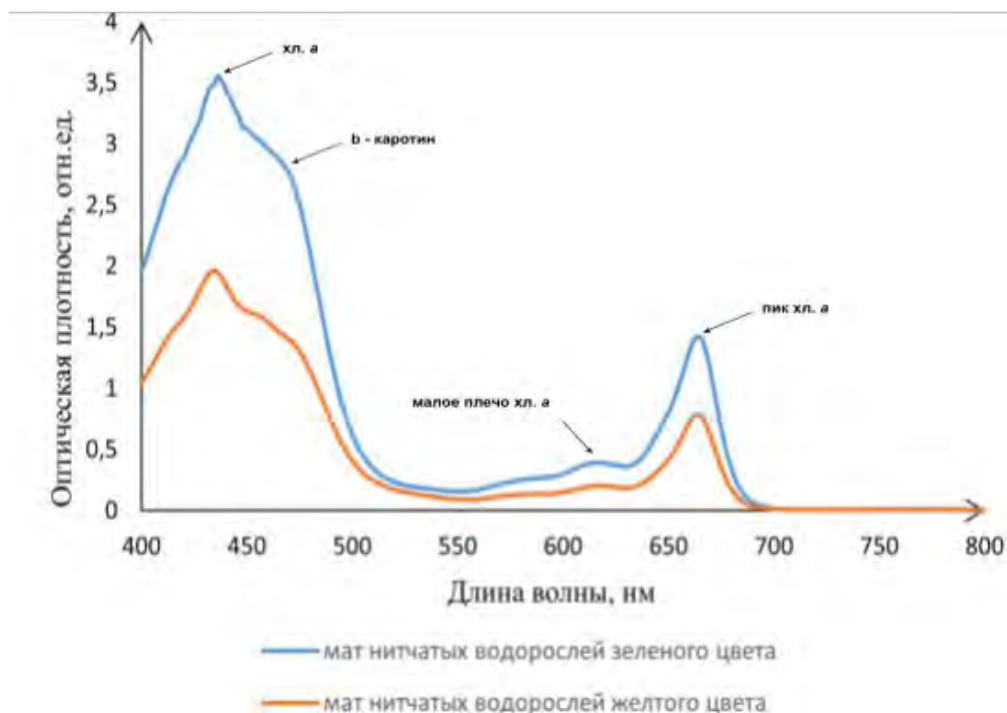


Рис. 4. Спектры поглощения света ацетоновыми экстрактами желтого и зеленого слоев матов нитчатых водорослей из оз. Кисло-Сладкое.

Количественный анализ пигментного состава водных фототрофных организмов

Мы вычислили концентрацию хлорофилла *a* у фотосинтетических организмов разной глубины оз. Кисло-Сладкое. Наибольшая его концентрация отмечена у донных нитчатых водорослей.

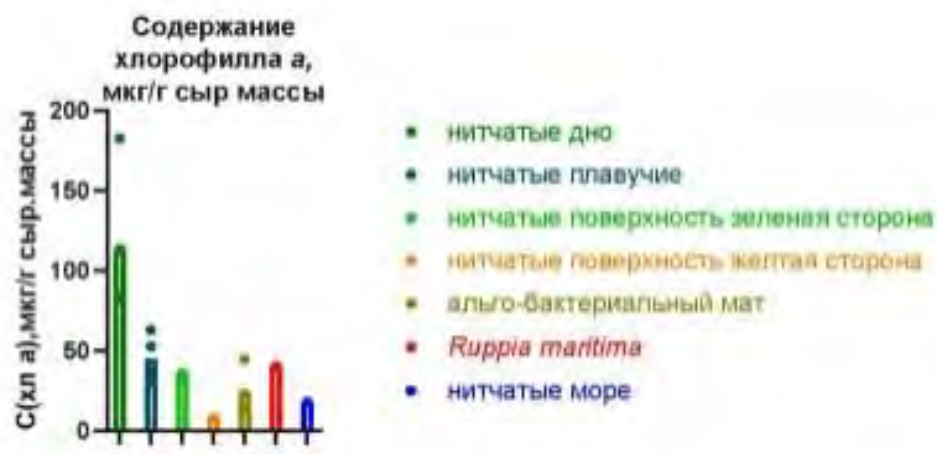


Рис. 5. Концентрация хлорофилла *a* в исследуемых объектах. На диаграмме приведены медианы и отдельные значения.

На следующем этапе мы решили проверить, существует ли корреляция между квантовым выходом ФС II и концентрацией хлорофилла *a* (Рис. 6). Судя по графику зависимость стремится к линеаризации, но четкой корреляции между этими параметрами выявить не удалось

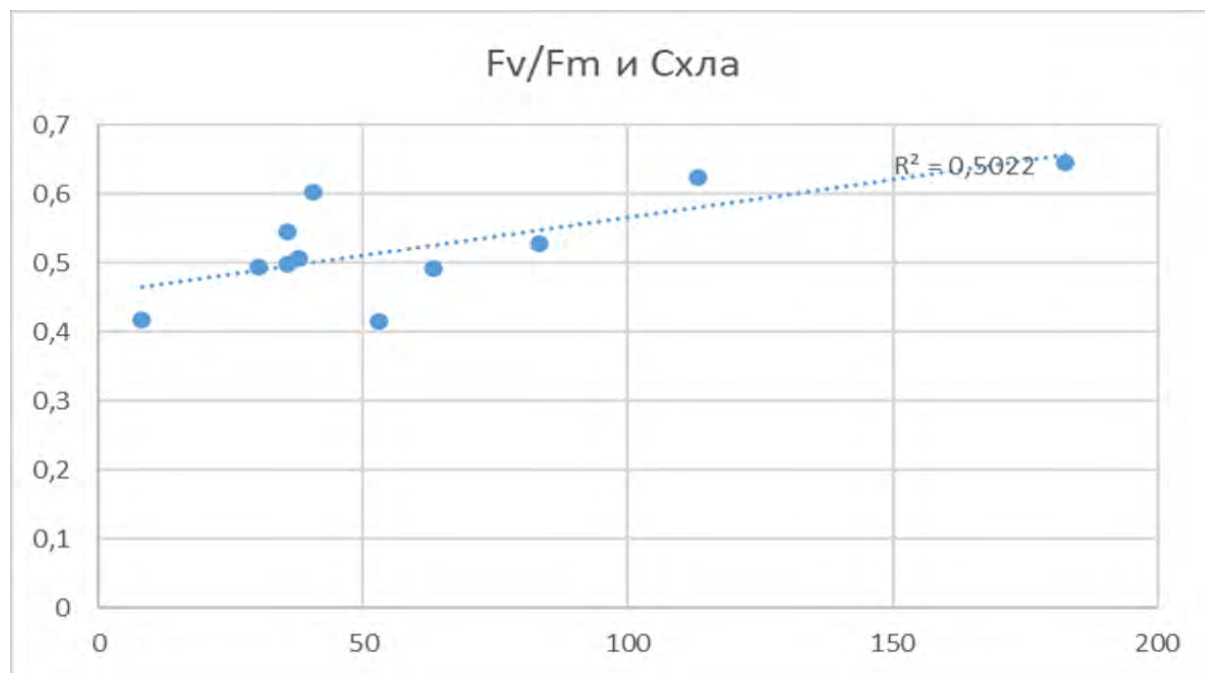


Рис. 6. Корреляция между квантовым выходом ФС 2 и концентрацией хлорофилла *a*.

### Заключение

Альго-бактериальные и водорослевые маты продемонстрировали высокую фотосинтетическую активность, близкую к активности фотосинтетического аппарата у покрытосеменного водного растения *Ruppia maritima* L. Наиболее активно фотосинтез идет в донных матах из нитчатых водорослей, они же содержат максимальную концентрацию хлорофилла *a*. Все это свидетельствует в пользу того, что, маты могут вносить существенный вклад в первичную продукцию водоема и генерацию кислорода. Эти результаты согласуются с данными о фотосинтетической активности водорослевых матов в гиперсоленом озере Херсонесское, расположенном в черте г. Севастополь (Празукин и др., 2019), полученными радиоуглеродным методом. Главным источником первичной продукции в море считается фитопланктон. Известно, что в отделившихся от моря водоемах, обладающих анаэробной зоной и сообществом аноксигенных фототрофных бактерий на ее границе, продукция аноксигенного фотосинтеза может на один-два порядка превышать продукцию фитопланктона вышележащей аэробной водной зоны [Gorlenko et al., 1978] (Gorlenko V.M., Vainstein M.B., Kachalkin V.I. Microbiological characteristic of lake Mogilnoye // Arch. Hydrobiol. 1978. V. 81. № 4. P. 475-475). Это наблюдалось и в о. Кисло-Сладкое в меромиктический период его гидрологической истории (Саввичев и др., 2014) (Саввичев А.С., Лунина О.Н.,

Русанов И.И., Захарова Е.Е., Веслополова Е.Ф., Иванов М.В. Микробиологические и изотопно-геохимические исследования озера Кисло-Сладкое – меромиктического водоема на побережье Кандалакшского залива Белого моря // Микробиология. 2014. Т. 83. С. 191 . л). Наши исследования указывают на еще один важный источник первичной продукции в отделившихся от Белого моря водоемах – маты из нитчатки. Таким образом, оценка первичной продукции водоема должна включать в себя не только традиционное определение параметров фитопланктона, но также учитывать альго-бактериальные и водорослевые маты, вклад которых может быть довольно существенным.

### Благодарность

Авторы выражают благодарность Беломорской биологической станции имени Н. А. Перцова за возможность для проведения исследований.

### Список литературы:

1. Краснова Е.Д. Экология меромиктических озер России. 1. Прибрежные морские водоемы // Водные ресурсы - 2021. - Т. 48, № 3. - С. 322–333.
2. Молекулярная спектроскопия. Основы теории и практика: учебное пособие / под ред. проф. Ф.Ф. Литвина. — 2-е изд., перераб. — Москва: ИНФРАМ, 2022. — 199 с.
3. Празукин А.В., Ануфриева Е.В., Шадрин Н.В. Фотосинтетическая активность матов зеленых нитчатых водорослей гиперсоленого озера Херсонесское (Крым) // Вестник ТвГУ. Серия “Биология и экология” - 2019 – Т. 54 – № 2 – С. 87-102
4. Britton G., Liaaen-Jensen S; Pfander H.. Carotenoids handbook. Springer Basel AG — 2004
5. Jeffrey S.W, Humphrey G.F. New spectrophotometric equations for determining chlorophyll a, b, c1 and c2 in higher plants and natural phytoplankton. // Bioch Physiol Pflanz.– 1975– V.165. – P.191–194
6. Strasser R.J., Tsimilli-Michael M., Srivastava A. Analysis of the Chlorophyll a Fluorescence Transient. In: Papageorgiou, G.C., Govindjee (eds) Chlorophyll a Fluorescence. Advances in Photosynthesis and Respiration, vol 19. Springer, Dordrecht. – 2004
7. Taniguchi M., Lindsey J.S. Absorption and Fluorescence Spectral Database of Chlorophylls and Analogues. –Photochem Photobiol – 2021 – V.97 – P.136-165.

УДК 574.583

Рубрика 34.35.33

ОЦЕНКА ВИДОВОГО СОСТАВА ПОДЛЕДНОГО АНТАРКТИЧЕСКОГО ФИТОПЛАНКТОНА

ASSESSMENT OF THE SPECIES COMPOSITION OF SUBGLACIAL ANTARCTIC PHYTOPLANKTON

**Швед Яна Валерьевна<sup>1</sup>, Логинова Надежда Борисовна<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> ААНИИ, Санкт-Петербург

<sup>2</sup> ААНИИ, Санкт-Петербург

**Shved Yana Valeryevna<sup>1</sup>, Loginova Nadezhda Borisovna<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> AARI, St. Petersburg

<sup>2</sup> AARI, St. Petersburg

**Введение**

В работе произведена оценка видового состава подледного антарктического фитопланктона, полученного из 68 Российской Антарктической Экспедиции (РАЭ).

Тема подледного «цветения» фитопланктона на данный момент считается предметом многих исследований. Микроводоросли являются очень важной составляющей пищевой цепи.

Помимо этого, фитопланктон содержит в себе зеленый пигмент-хлорофилл, который поглощает солнечные лучи, осуществляя фотосинтез и используя диоксид углерода, выделяет кислород в атмосферу.

Ранее считалось, что лед является одним из ограничивающих фактором развития фитопланктона, однако, в последнее время стало появляться все больше исследований, которые доказывают обратное [1].

В ходе работы, отобранные керны были проанализированы и полученные результаты показали наличие высоких концентраций хлорофилла «а» (хл-А), а также богатое видовое разнообразие микроводорослей.

**Материалы и методы**

Для оценки видового разнообразия подледного фитопланктона Антарктики были отобраны данные в ходе «68 Российской Антарктической Экспедиции», на стоянках в припайном льду, вблизи станций «Молодежная» и «Прогресс»:

1. Молодежная (67° 09.519S ,46° 21.806E), название точки РАЭ68064с, дата отбора 24.12.2022, отобрано 2 керна+ вода из лунки;
2. Прогресс, Тала-фьорд (69° 25.501S .76° 09.129E), название точки РАЭ68084а, дата отбора 06.01.2023, отобран 1 керн+ вода из лунки.

Для оценки видового разнообразия фитопланктона, были выбурены керны с помощью бура Черепанова. Отбор проб производился в верхних и нижних 10 см керна.

Данные части керна были растоплены при комнатной температуре, далее талая вода использовалась для определения концентрации хлорофилла-а и видового состава микроводорослей.

Пробы воды, отобранные из лунки, анализировались на видовой состав фитопланктона. Через сеть Апштейна было пролито 10 литров воды, которая была сконцентрирована в стакане-наполнителе до 60 мл и зафиксирована раствором Люголя [2]. Далее пробы были доставлены в лабораторию ОШЛ и проанализированы под световым и сканирующим микроскопом.

Для определения содержания хлорофилла «а» в водной пробе из лунки был отобран 1 л воды в пластиковую бутылку с помощью ведра, далее хлорофилла «а» был сконцентрирован на стекловолоконный фильтр марки GF/F путем вакуумной фильтрации. Пигменты, осевшие на фильтре, были экстрагированы с помощью 90% ацетона. Аналогичная методика была использована для анализа содержания хлорофилла «а» в талой воде из кернов. Далее образцы были проанализированы с помощью флуоресцентного метода на флуориметре Тёрнер Дизайнз Трилоджи [3].

## Результаты работы

Антарктический фитопланктон относится к криопелагическим организмам, которые обитают в пелагиали полярных регионов на припайном и дрейфующем льду, а также в его толще и связанные с этим льдом полным или частичным жизненным циклом [4].

При обработке полученных данных на станциях РАЭ68064с вблизи станции Молодежная и РАЭ68084а вблизи станции Прогресс в районе Тала-фьорда были выявлены основные отделы и роды водорослей, доминирующие в исследуемых пробах. Доминирующим отделом по результатам исследования оказались диатомовые водоросли, что соответствует описанию в различных литературных источниках и исследованиях [5], проводимых в указанном регионе. Наименее распространенными группами оказались силикофлагелляты и динофитовые водоросли.

В образцах воды из лунки и керна в точке РАЭ 68064С рядом со станцией Молодёжная в совокупности было обнаружено 27 родов диатомовых водорослей, 1 род динофитовых и 1 род силикофлагелляты. Наиболее распространенными родами диатомовых водорослей являлись *Chaetoceros sp* (рис.1.), *Fragilaria sp*, *Nitzschia sp*, *Fragilariopsis sp* (рис.1.); динофитовые- *Peridinium sp*; силикофлагелляты- *Dictyocha sp*.

В точке РАЭ68084а рядом со станцией Прогресс было обнаружено 17 родов диатомовых водорослей, динофитовые – 2 рода, силикофлагелляты – 1 род. Наиболее распространенные роды диатомовых водорослей являлись *Pseudo-nitzschia sp*, *Fragilariopsis sp*, *Nitzschia sp*, *Fragilaria sp*; динофитовые- *Peridinium sp*, *Gymnodinium sp*; силикофлагелляты- *Dictyocha sp*.

Всего в отобранных кернах были встречены диатомовые водоросли рода: *Actinocyclus*, *Synedra*, *Pinnularia*, *Thalassiosira*, *Odontella*, *Navicula*, *Coscinodiscus*, *Asteromphalus* (рис.2.), *Proboscia alata*, *Thalassionema*, *Pleurosigma* (рис.2.), *Corethron*, *Amphiprora*, *Porosira glacialis*, *Membraneis challengerii*, *Eucampia Antarctica*, *Cylindrotheca*.

При анализе проб было отмечено, что диатомовая водоросль рода *Amphiprora* чаще всего встречалась в нижней части керна.

В целом, наблюдалось, что нижняя часть керна имеет более богатое видовое разнообразие (табл. 1.). Лед, находящийся ближе к воде, имеет более пористую структуру, что

положительно сказывается на питании фитопланктона, так как при водообмене происходит постоянный приток биогенных элементов, что способствует развитию фитопланктона. Также водоросли используют нижнюю часть льда как субстрат, прикрепляясь нему, что увеличивает их жизнеспособность и благотворно влияет на скорости размножения.

№ керна	Кол-во встречаемых родов
РАЭ 68064С (кern 1,4,5, верх 0-10 см)	12
РАЭ68064 с (кern 1,4,5, низ 0-10)	15
РАЭ68064 с (кern 1,4,5, верх 10-20)	8
РАЭ68064 с (кern 2 и 3, низ 0-10)	12
РАЭ68064 с (кern 2 и 3, верх 10-20)	17
РАЭ68084а (кern 1, низ 10 см)	15
РАЭ68084а (кern 1, верх 10)	12

Таблица 1. Количество встречаемых родов в кернах.

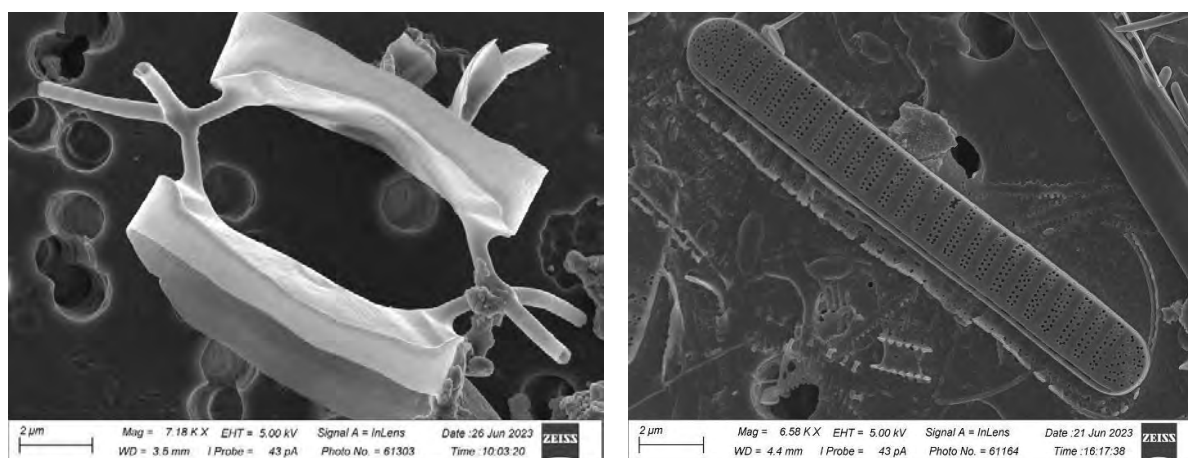


Рисунок 1. Диатомовые водоросли под сканирующим электронным микроскопом 1) слева- *Chaetoceros* sp; 2) справа *Fragilariopsis* sp



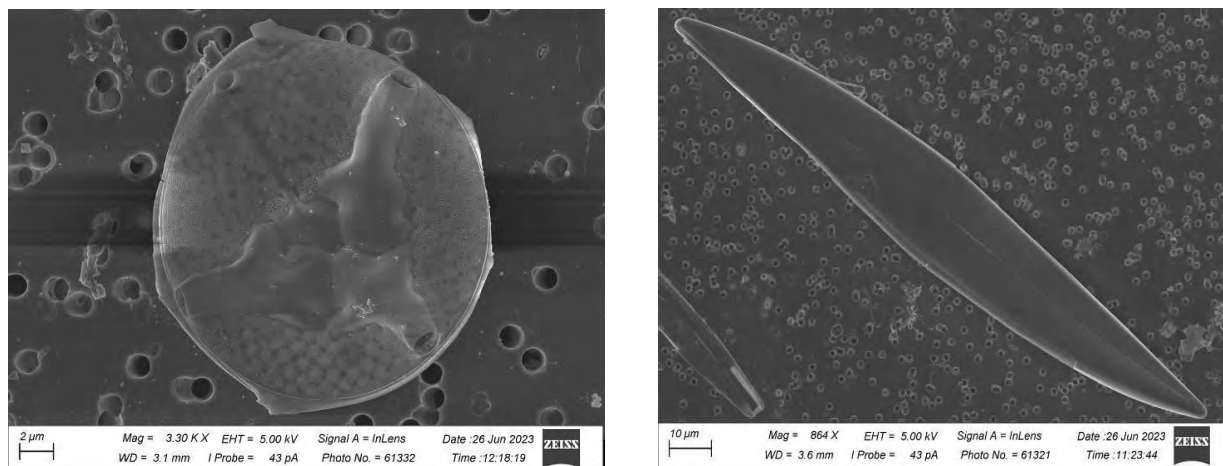


Рисунок 2. Диатомовые водоросли под сканирующим электронным микроскопом 1) слева- *Asteromphalus* sp; 2) справа *Pleurosigma* sp.

Сезон вегетации фитопланктона в Антарктиде начинается в весенне-летний период и продолжается вплоть до осени [5].

Пробоотбор был произведен в декабре-январе, что соответствует раннему цветению водорослей в антарктическом секторе. Однако, несмотря на это, в кернах отмечаются более высокие значения хлорофилла «а», нежели в лунке, что говорит о том, что засевание фитопланктоном акватории прежде всего происходит во льдах и, затем, дает основу для активной вегетации в воде (табл.2).

В основном наблюдается взаимосвязь между повышением биомассы фитопланктона и увеличением значений хлорофилла «а», что также подтверждается положительным коэффициентом корреляции 0,67 (средняя сила связи между переменными).

Керн/лунка	Хл-А, мкг/л
РАЭ 68064С (кern 1,4,5, верх 0-10 см)	4,69
РАЭ68064С (кern 1,4,5, низ 0-10)	5,76
РАЭ68064С (кern 1,4,5, верх 10-20)	4,74
РАЭ68064С пов-ть	0,22
РАЭ68064С (кern 2 и 3, низ 0-10)	7,74
РАЭ68064С (кern 2 и 3, верх 10-20)	8,09
РАЭ68084а (кern 1, низ 10 см)	2,26
РАЭ68084а (кern 1, верх 10)	7,68
РАЭ68084а пов-ть	5,3

Таблица 2. Концентрация хлорофилла «а» за декабрь 2022 г и январь 2023 г.

## Выводы

В ходе исследования были отобраны керны и пробурены лунки в точках РАЭ68064С рядом со станцией Молодёжная и РАЭ68084а, станция Прогресс.

При оценке видового разнообразия были выявлены основные роды, преобладающие в исследуемых пробах, ими оказались диатомовые водоросли - *Chaetoceros sp*, *Fragilaria sp*, *Nitzschia sp*, *Fragilariopsis sp*, *Pseudo-nitzschia sp*, динофитовые- *Peridinium sp*, *Gymnodinium sp*; силикофлагелляты- *Dictyocha sp*, что соответствует исследуемому региону и описанию видов в других литературных источниках [6,7].

Показатели концентрации хлорофилла «а» в кернах более высокие, нежели в лунках, из чего можно предположить, что засевание фитопланктоном происходит изначально во льду, а затем распространяется на всю акваторию.

Подводя итог, можно сказать, что ледовая флора вносит существенный вклад в биопродуктивность морей антарктического сектора, поэтому необходимо дальнейшее исследование процессов, влияющих на развитие подледного фитопланктона, в связи с его малой изученностью.

## Благодарность

Авторы выражают благодарность «Приморскому океанариуму» филиалу ННЦМБ ДВО РАН за помощь в идентификации микроводорослей на сканирующем электронном микроскопе.

## Список литературы:

1. Horvat C, Bisson K, Seabrook S, Cristi A and Matthes LC (2022) Evidence of phytoplankton blooms under Antarctic sea ice. *Front. Mar. Sci.* 9:942799. doi: 10.3389/fmars.2022.942799.
3. StudRef. -Phytoplankton sampling. URL: [https://studref.com/423289/meditsina/otbor\\_prob\\_fitoplanktona](https://studref.com/423289/meditsina/otbor_prob_fitoplanktona)
4. Arar, E. J. AND G. B. COLLINS. Method 445.0 In Vitro Determination of Chlorophyll a and Pheophytin in Marine and Freshwater Algae by Fluorescence. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, 1997.
5. Криопелагические виды. URL: [http://wp.wiki-wiki.ru/wp/index.php/Криопелагические\\_организмы](http://wp.wiki-wiki.ru/wp/index.php/Криопелагические_организмы).
6. Зернова В.В. Фитопланктон Южного океана// Институт океанологии им. П.П. Ширшова// Москва, Издательский центр «Море», 2005 г. С. 9-41.
7. R. A. Perrin, P. Lug & H. J. Marchant. Seasonal variation in marine phytoplankton and ice algae at a shallow antarctic coastal site// *Hydrobiologia* 146: 33-46 (1987).
8. Michael P. Lizotte. The Contributions of Sea Ice Algae to Antarctic Marine Primary Production// *AMER. ZOOL.*, 41:57-73 (2001).

УДК 581.526.325.3

Рубрика 34.31.17

СУТОЧНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКОЙ СПОСОБНОСТИ ФИТОПЛАНКТОНА В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ (ПОС. РЫБНОЕ, КАЛИНИНГРАДСКАЯ ОБЛАСТЬ)

DAILY CHANGES IN THE POTENTIAL PHOTOSYNTHETIC CAPACITY OF PHYTOPLANKTON IN THE COASTAL ZONE OF THE BALTIC SEA (RYBNOYE, KALININGRAD REGION)

**Маховиков Алексей Дмитриевич<sup>1</sup>, Мошаров Сергей Александрович<sup>2,3</sup>**

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный университет (СПбГУ), г. Санкт-Петербург

<sup>2</sup> Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН (ИО РАН), г. Калининград

<sup>3</sup> Балтийский федеральный университет им. Иммануила Канта (БФУ им. И. Канта), г. Калининград

**Makhovikov Alexey Dmitrievich<sup>1</sup>, Mosharov Sergey Aleksandrovich<sup>2,3</sup>**

<sup>1</sup> Saint Petersburg State University, Saint Petersburg

<sup>2</sup> Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences, Moscow

<sup>3</sup> Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad

## **Введение**

Фитопланктон играет исключительную роль в образовании органического вещества из неорганического с помощью световой энергии. Первичная продукция позволяет оценить скорость образования органического вещества в морской воде. От данной скорости зависит функционирование следующих звеньев трофической цепи, представленных уже гетеротрофными организмами. Процесс производства органического вещества из неорганического называют процессом фотосинтеза. Исследование его интенсивности позволяет оценивать и прогнозировать состояние морской экосистемы в целом. Фотосинтез состоит из двух этапов: световая (усвоение световой энергии) и темновая (синтез органического вещества) фазы. Световая фаза определяет интенсивность фотосинтеза: она является наиболее важной, поскольку именно на этом этапе происходит усвоение энергии квантов света, от которой зависит интенсивность синтеза органического вещества в темновой фазе. Оценить световую фазу фотосинтеза можно с помощью измерения активной флуоресценции хлорофилла и сделать выводы о фотосинтетической активности фитопланктона на момент измерения. В качестве оценки световой фазы фотосинтеза можно использовать относительную переменную флуоресценцию [1].

Цель данной работы: исследовать изменения активной флуоресценции хлорофилла как показателя потенциальной фотосинтетической способности фитопланктона при разных световых условиях в течение суток. Для достижения данной цели были поставлены следующие задачи:

1) Выбрать измеряемые параметры активной флуоресценции.

- 2) Провести измерения в течение 24-х часов с охватом светлого и темного времени суток.
- 3) Проанализировать получившиеся результаты.
- 4) Определить практическую значимость таких измерений для проведения исследований в других акваториях.

### Материалы и методы

Данная работы была проведена в рамках VI Международной летней школы «Береговая зона моря: управление, исследования и перспективы» от Плавучего университета. В качестве точки измерения было выбрано место в прибрежной зоне (54.953 N, 20.183 E) рядом с базой БФУ в п. Рыбное, где проводилась данная летняя школа. Отбор проб производился в темную бутылку объемом 1 л каждые 3 часа в течение суток 12:00 06/07/2023 - 12:00 07/07/2023, при этом во время захода солнца отбор производился каждый час. После отбора проба воды выдерживалась в темноте в течение 30 минут в светлое время суток. Далее проводилось измерение активной флуоресценции хлорофилла с помощью высокочувствительного флуориметра WALZ Water-PAM II. Измеряемые параметры:  $F_0$  (базовая флуоресценция - показатель содержания хлорофилла),  $F_m$  (максимальная флуоресценция). Далее производился расчет относительной переменной флуоресценции, которая отражает КПД первого этапа фотосинтеза. Кроме того, рассчитывались максимальная скорость электронно-транспортной цепи ( $ETR_{max}$ ) и уровень освещенности ( $E_{opt}$ ), при котором достигается данная скорость.

### Результаты

Главным результатом данной работы является установленная суточная динамика относительной переменной флуоресценции (рис.1), а также суточная динамика базового и максимального уровня флуоресценции хлорофилла (рис.2), с помощью которых производится расчет относительной переменной флуоресценции (формула 1) [2]:

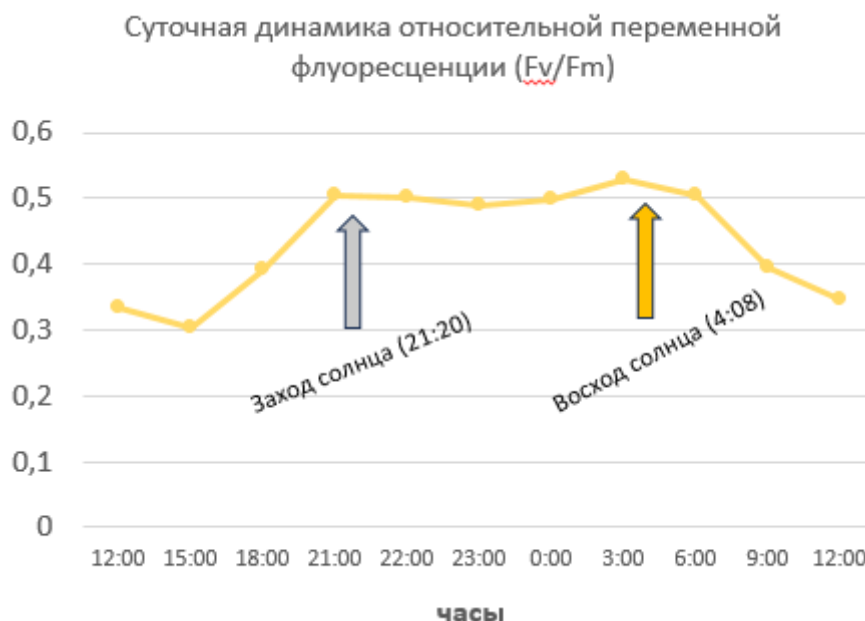


Рис. 1. Суточная динамика относительной переменной флуоресценции ( $F_v/F_m$ ), 12:00 06/07/2023 - 12:00 07/07/2023, пос. Рыбное, Калининградская область.

$$F_v/F_m = (F_m - F_0)/F_m \quad (1)$$

Где  $F_m$  - максимальный уровень флуоресценции,  $F_0$  - базовый уровень флуоресценции.



Рис. 2. Суточная динамика базового и максимального уровня флуоресценции хлорофилла, 12:00 06/07/2023 - 12:00 07/07/2023, пос. Рыбное, Калининградская область.

Суточная изменчивость относительной переменной флуоресценции характеризуется цикличностью (рис.1). Наблюдается заметная разница в светлое и темное время суток. В светлое время суток значение переменной составляет около 0.3, а в темное время около 0.5. В темное время суток (с заката до восхода) значение остается постоянно высоким. Увеличение и снижение значений происходит в течение 6 часов утром и вечером.

Из рис. 2 видно, что из двух компонентов переменной флуоресценции наибольшие суточные вариации связаны с величиной  $F_m$ , тогда как  $F_0$  изменяется слабо. Видно, что наибольший вклад в суточную изменчивость переменной флуоресценции вносит величина  $F_m$ , которая отражает максимальный возможный уровень поглощения энергии квантов света. Содержание хлорофилла в морской воде (показатель  $F_0$ ) в течение суток изменяется слабо - он остается примерно в одних и тех же пределах на протяжении всего срока измерений. Можно отметить незначительное его увеличение к 3:00. Максимальный уровень флуоресценции увеличивается в темное время суток, и снижается в светлое время суток.

Величина  $E_{TRmax}$  (аналог потенциальной максимальной ПП при оптимальном освещении) в течение суток изменялась незначительно. При этом изменялся уровень адаптации фитопланктона к свету, что видно по изменению  $E_{opt}$ . Этот параметр обладает цикличностью в течение суток. В темное время суток (00:00 – 6:00) была адаптация к более низкому уровню освещенности, которая резко возросла в утренние часы (около 9:00).



Рис. 3. Суточная динамика величин  $ETR_{max}$  и  $E_{opt}$ , 12:00 06/07/2023 - 12:00 07/07/2023, пос. Рыбное, Калининградская область.

### Выводы

Таким образом, данные суточные измерения показывают наличие существенных изменений флуоресценции хлорофилла в течение суток, которые необходимо учитывать при проведении океанологических станций в разное время суток. Так, например, оценка концентрации хлорофилла, рассчитанная через флуоресценцию, может быть неточной.

Суточные измерения показали, что в прибрежной зоне в условиях активного перемешивания вод в течение суток наблюдались существенные изменения (в 1,6 раза) потенциальной фотосинтетической способности фитопланктона ( $F_v/F_m$ ), связанные со световым режимом. Максимальные значения  $F_v/F_m$  сохранялись в течение темного периода, в то время как в светлое время суток значение данной переменной было минимально. Переход от максимальных к минимальным значениям и наоборот происходил в течение около 6 часов. Кроме того, показано, что ультрачувствительный флуориметр позволяет решать задачи по выявлению особенностей суточного измерения фотосинтетической способности фитопланктона даже в пределах одних суток.

Исследование выполнено в рамках Плавающего университета сезона 2022-2023.

### Список литературы:

1. Alderkamp A.-C., Kulk G., Buma A.G.J., Visser R.J.W., Van Dijken G.J., Mills M.M., Arrigo K.R. The effect of iron limitation on the photophysiology of *Phaeocystis antarctica* (Prymnesiophyceae) and *Fragilariopsis cylindrus* (Bacillariophyceae) under dynamic light // J. Phycol. - 2012. - №48. - P.45-59.



2. Krause G.H., Weis E. Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: the basics // Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology. - 1991. - №42. - P.313-341

УДК 551.465

Рубрика 34.35.33

## СТРУКТУРА СООБЩЕСТВ ФИТОПЛАНКТОНА И ИХ ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ В ПЕЧОРСКОЙ ГУБЕ

## STRUCTURE OF PHYTOPLANKTON COMMUNITIES AND THEIR SPATIAL DISTRIBUTION IN THE PECHORA BAY

**Сашова Ольга Алексеевна<sup>1</sup>, Коновалова Ольга Петровна<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> МГУ им. М. В. Ломоносова, Москва

<sup>2</sup> ООО "Центр морских исследований МГУ им. М. В. Ломоносова", Москва

**Sashova Olga Alekseevna<sup>1</sup>, Konovalova Olga Petrovna<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Lomonosov Moscow State University, Moscow

<sup>2</sup> Marine Research Center of Lomonosov Moscow State University, Moscow

### **Введение**

Печорская губа представляет собой эстуарий и расположена в юго-восточной части Баренцева моря. Это мелководный биотоп с особым гидрологическим режимом, который формируется под влиянием речного стока, приливов, сгонно-нагонных явлений и ледовых процессов. Сток реки оказывает решающее воздействие на видовой состав и ход развития фитопланктонного сообщества [Макаревич, 2007; Ларионов, 2016].

Целью данной работы являлось изучение структуры фитопланктонных сообществ и их пространственного распределения в Печорской губе. В задачи работы входили анализ таксономического состава и количественных характеристик фитопланктона Печорской губы в период летнего сезона 2022 года, оценка динамики сообществ на основе литературных данных и исследованных образцов и сравнение полученных количественных значений фитопланктона со спутниковыми данными, содержащими информацию о концентрации хлорофилла *a*.

### **Данные и методы**

Материалом для исследования послужили пробы, отобранные в ходе экспедиции на исследовательском судне «Картеш» в июле 2022 г. Всего было собрано и обработано 45 проб с 15 станций. Отбор проб проводился батометром Нискина с трех стандартных гидрологических горизонтов: поверхность, слой скачка плотности, дно [Руководство..., 1977]. Исходные пробы объемом 1 л концентрировали с использованием камеры обратной фильтрации и ядерных мембранных фильтров с диаметром пор 2 мкм до конечного объема 50-60 мл. По окончании фильтрации концентрат фиксировали раствором Люголя из расчета 0,6 мл на 100 мл пробы и помещали в темную банку. Далее в лаборатории пробы были сконцентрированы методом декантирования до объема 15 мл [Радченко и др., 2010].

Определение качественных и количественных показателей фитопланктона проводилось при помощи светового микроскопа Olympus CX43. Численность микроводорослей определяли методом прямого счета в камере Нажотта объемом 0,01 мл, для каждой пробы просматривали

по 120 камер. Биомассу и объемы определяли, приравнивая клетку по конфигурации к простым геометрическим фигурам. Видовые списки фитопланктона приводятся в соответствии с общепринятой международной номенклатурой [Guiry M., Guiry G., 2023].

## Результаты

В июле 2022 года фитопланктон Печорской губы был представлен следующими таксономическими группами: Bacillariophyta – 94 таксона, Miozoa – 4 вида, Cyanophyta – 1 вид, Chlorophyta – 5 видов, Naptophyta – 1 вид, Ochrophyta – 3 вида, Charophyta – 1 вид. Всего было идентифицировано 109 видовых и надвидовых таксонов микроводорослей. Видовое разнообразие было относительно высоким: на отдельных станциях и горизонтах встречалось от 4 до 36 таксонов. Доминировали по численности и биомассе в основном 2-5 таксонов.

В поверхностном горизонте численность изменялась в диапазоне от 114 до 744 тыс. кл/л. Среднее значение было закономерно выше, чем в других слоях, и равнялось  $354 \pm 50$  тыс. кл/л. На уровне скачка плотности численность микроводорослей была ниже и изменялась в пределах от 43 до 481 тыс. кл/л, среднее –  $194 \pm 32$  тыс. кл/л. В придонном горизонте численность варьировалась от 21 до 751 тыс. кл/л, среднее –  $288 \pm 53$  тыс. кл/л (рис. 1).

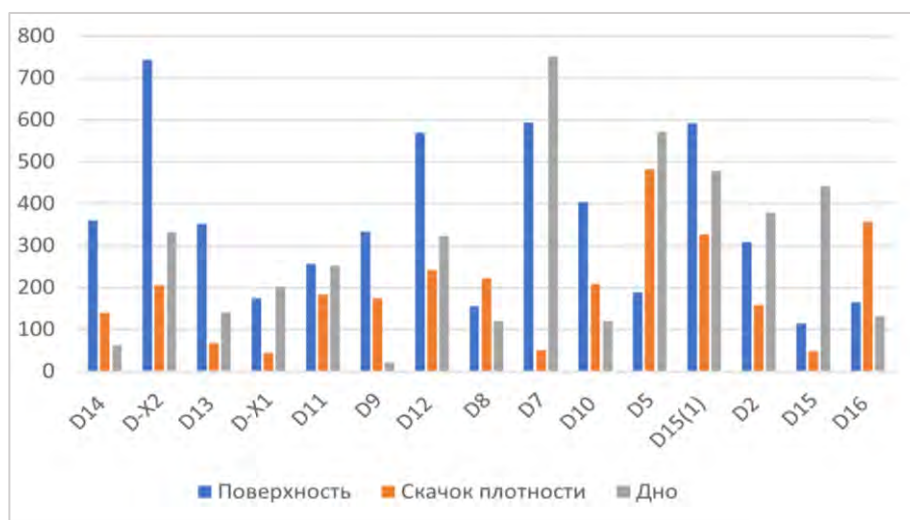


Рис 1. Распределение численности микроводорослей по горизонтам. Станции расположены в порядке увеличения солености в поверхностном горизонте.

Наибольший вклад в численность вносили диатомовые водоросли. Самым многочисленным видом была диатомея *Skeletonema costatum* (Greville) Cl., достигавшая численности 351 тыс. кл/л. Среди микроводорослей, численность которых превышала 50 тыс. кл/л, можно отметить *Aulacoseira granulata* (Ehrenb.) Simonsen, *Chaetoceros curvisetus* Cl., *C. densus* (Cl.) Cl., *Paralia sulcata* (Ehrenb.) Cl., *Diatoma elongate* (Lyngbye) C.Agardh.

Значения биомассы в поверхностном горизонте изменялись в пределах от 57,6 до 3275,74 мкг/л. Медианное значение биомассы равнялось 321,76 мкг/л, но среднее значение биомассы на станции было выше ( $868,49 \pm 277$  мкг/л) за счет солоноватоводных точек, на которых вносили большой вклад в биомассу крупные диатомеи *Sundstroemia setigera* (Brightwell) Medlin. (в среднем 1723,87 мкг/л). На уровне скачка плотности значения биомассы были ниже и варьировали в диапазоне от 13,91 до 1967,44 мкг/л, в среднем –  $411,85 \pm 143$  мкг/л. В придонном слое биомасса изменялась в пределах от 92,39 до 2494,81 мкг/л и наблюдалось высокое среднее значение –  $738,54 \pm 185$  мкг/л (рис. 2).

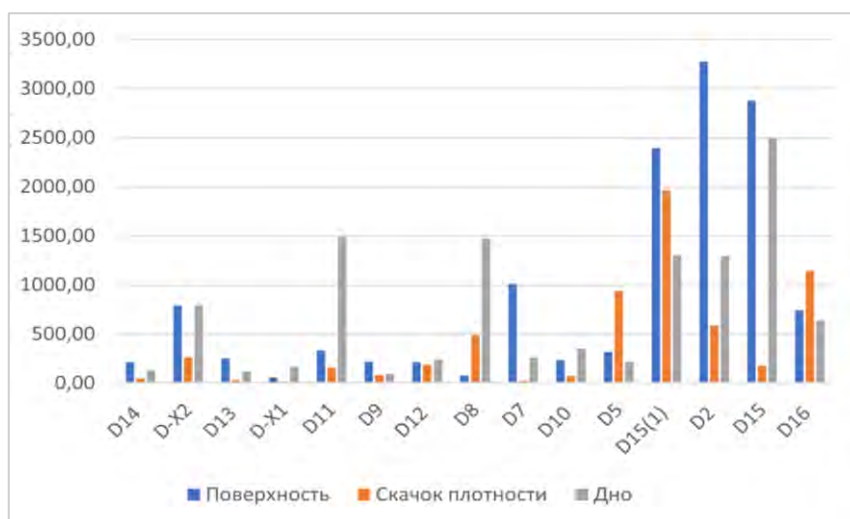


Рис 2. Распределение биомассы микроводорослей по горизонтам. Станции расположены в порядке увеличения солености в поверхностном горизонте.

Полученные результаты согласуются с литературными данными. Состав руководящего комплекса, приведенный в работе Макаревича [2007], частично совпадает с нашими данными: отмечено присутствие в большом количестве *P. sulcata*, *S. setigera*, *S. costatum*. По направлению река-эстуарий-море прослеживалось постепенное увеличение видового разнообразия диатомей и динофит и снижение доли зеленых и синезеленых водорослей, что было ранее отмечено в литературе [Макаревич, 2007]. Результаты исследования позволяют установить, что структура сообществ фитопланктона Печорской губы в середине июля соответствует началу летней стадии сукцессионного цикла, когда наблюдается максимум континентального стока. В этот период выражена мозаичность пространственной структуры и неравномерность сезонного развития [Ларионов, 2016].

### Концепция критической солености Хлебовича

Результаты наших исследований согласуются с концепцией критической солености Хлебовича [Хлебович, 1974], согласно которой существует зона критической солености, разделяющая среды обитания морских и пресноводных организмов.

Мы поделили встреченные виды на основе приуроченности к морским и пресноводным обитаниям по литературным данным [Guiry M., Guiry G., 2023]. Наиболее отчетливо минимум видов в зоне стыка пресноводной и морской биоты прослеживается в поверхностном и придонном горизонтах (рис. 3). В поверхностном слое наблюдалось большое количество пресноводных таксонов в сильно опресненной зоне (7-8 видов), большое количество морских таксонов в слабо опресненной зоне (16-19 видов) и заметный минимум разнообразия при промежуточной солености (4 пресноводных и 4 морских вида).

В придонном горизонте доля морских видов на всех станциях была относительно высокой, что связано с движением водных масс со стороны моря вдоль дна. На станциях с низкой соленостью было встречено 5 пресноводных и 3 морских вида, а на станциях с высокой соленостью – 1-2 пресноводных и 13-17 морских видов. В области с промежуточной соленостью наблюдался «минимум видов»: 3 пресноводных и 2 морских вида.

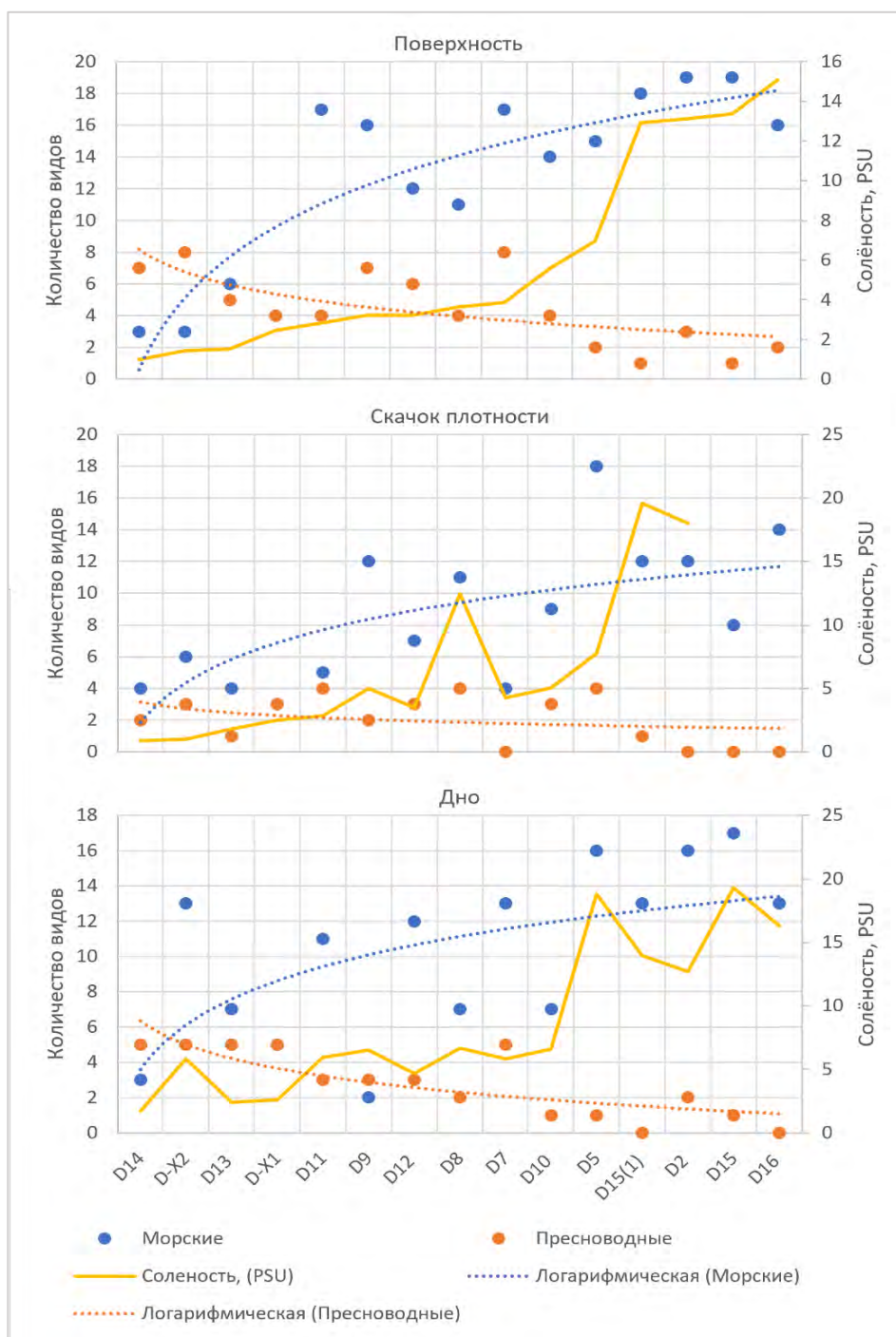


Рис 3. Распределение морских и пресноводных видов в каждом горизонте. Станции расположены в порядке увеличения солености в поверхностном горизонте.

### Заключение

Результаты нашего исследования согласуются с литературными данными и позволяют установить, что структура сообществ фитопланктона Печорской губы в середине июля соответствует началу летней стадии сукцессионного цикла. На сильно опресненных станциях по численности и биомассе в число доминант входили пеннатные диатомовые водоросли, представленные в основном пресноводными бентосными формами. На слабо опресненных станциях основные доминанты относились к центрическим, среди которых практически все относились к морским планктонным формам. Обобщенно можно сказать, что в направлении

река-эстуарий-море сообщества пресноводных бентосных пениатных диатомей сменялись морскими планктонными центрическими.

### **Благодарность**

Автор выражает глубокую признательность членам экспедиции исследовательского судна «Картеш» за сбор проб фитопланктона и предоставление материалов для исследования.

### **Список литературы:**

1. Ларионов В. В. Особенности годового цикла развития сообществ фитопланктона в различных районах Печорского моря. Международная научно-практическая конференция "Современные эколого-биологические и химические исследования, техника и технология производств", Мурманск, 2016. – С. 196-202.
2. Макаревич П. Р. Планктонные альгоценозы эстуарных экосистем: Баренцево, Карское и Азовское моря / П. Р. Макаревич. – М. : Наука, 2007. – 224 с.
3. Радченко И. Г., Капков В. И., Федоров В. Д. Практическое руководство по сбору и анализу проб морского фитопланктона. Учебно-методическое пособие для студентов биологических специальностей университетов. М.: Мордвинцев. – 2010. – С. 60.
4. Руководство по гидрологическим работам в океанах и морях. Л.: Гидрометеиздат, 1977. – 724 с.
5. Хлебович В. В. Критическая соленость биологических процессов. Л.: Наука, 1974. – С. 17-29.
6. Guiry, M.D. & Guiry, G.M [Электронный ресурс] // AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. URL: <https://www.algaebase.org>; (дата обращения 22.05.2023).
7. National Oceanic and Atmospheric Administration [Электронный ресурс] // NOAA. Национальное управление океанических и атмосферных исследований. URL: <https://www.star.nesdis.noaa.gov/> (дата обращения 16.03.2023).



УДК 579.81

Рубрика 34.27.00

ПОЛИМОРФИЗМ ЗЕЛЕННЫХ СЕРНЫХ БАКТЕРИЙ *CHLOROBBIUM PHAEOVIBRIOIDES*, ВЫДЕЛЕННЫХ ИЗ МЕРОМИКТИЧЕСКОГО ОЗ. БОЛЬШИЕ ХРУСЛОМЕНЫ (О. ОЛЕНИЙ, КАНДАЛАКШСКИЙ ЗАЛИВ БЕЛОГО МОРЯ)

POLYMORPHISM OF GREEN SULFUR BACTERIA *CHLOROBBIUM PHAEOVIBRIOIDES* ISOLATED FROM THE MEROMICTIC LAKE BOL`SHYE KHRUSLOMENY (OLENIY ISLAND, KANDALAKSHA GULF, WHITE SEA)

**Лунина Анна Леонидовна, Беленкова Валерия Викторовна, Лунина Ольга Николаевна**

*Институт микробиологии им. С.Н. Виноградского, ФИЦ "Фундаментальные основы биотехнологии" РАН, Москва, 117312 Россия*

**Lunina Anna Leonidovna, Belenkova Valeria Viktorovna, Lunina Olga Nikolaevna**

*Winogradsky Institute of Microbiology, Research Center of Biotechnology, Russian Academy of Sciences, Moscow, 117312 Russia*

## **Введение**

В марте 2017 и 2019 гг. проведены исследования сообщества анаэробных фототрофных бактерий водной толщи оз. Большие Хрусломены. Водоем был образован искусственно в 1895 г. при отделении морского залива от моря дамбой, поэтому изучение происходящих в нем микробных процессов и развивающихся в нем микробных сообществ представляет большой интерес. Верхняя граница сероводородной зоны в озере в оба сезона находилась на глубине 2.75–3 м. (Savvichev et al., 2020). В сообществе доминировали зеленые серные бактерии (ЗСБ). Выделенные штаммы ЗСБ *GrKhr17* и *BrKhr17* содержали в клетках газовые вакуоли и по совокупности свойств были причислены к новым штаммам вида *Chlorobium phaeovibrioides* (Grouzdev et al., 2019). Проведено исследование морфотипов выделенных штаммов на предмет соответствия ближайшему по филогении виду.

## **Методы**

Из проб озерной воды зоны хемоклина были выделены и очищены ЗСБ. Для выделения серобактерий использовали жидкую и агаризованную (0.3%) среду, содержащую (г/л):  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  – 0.7;  $\text{NaCl}$  – 15;  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  – 0.5;  $\text{NH}_4\text{Cl}$  – 0.7;  $\text{KCl}$  – 0.33;  $\text{NaHCO}_3$  – 1.5;  $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  – 0,1;  $\text{Na}_2\text{S} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$  – 0.7;  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  – 1,  $\text{Na}$ -ацетат  $\cdot 3\text{H}_2\text{O}$  – 0.5;  $\text{Na}$ -пируват – 0.5; дрожжевой экстракт – 0.1; витамин  $\text{B}_{12}$  – 20 мкг/л; раствор микроэлементов – 1 мл (Pfennig and Lippert, 1966), диурон – 50 мг; pH – 7.0.

Культивирование проводили анаэробно в течение нескольких месяцев в люминостате при освещенности 2000 люкс и температуре 20–25°C.

Пигментный состав полученных культур серобактерий исследовали в препаратах целых клеток в 50% глицерине, в ацетон-метанольных (7:2) экстрактах. Спектры поглощения снимали на спектрофотометре Cary 100 (“Varian”, Австралия) в диапазоне длин волн 350–900 нм.

Микрофотографии клеток получали при увеличении  $\times 1000$  с помощью светового микроскопа Axio Imager M2 (Carl Zeiss Microscopy GmbH, Германия) с цифровой камерой AxioCam 503 mono и компьютерным программным обеспечением Zen blue 2012.

### Результаты. Филогенетически близкие виды

Идентификация и сравнение полных геномов зеленого и коричневого штаммов ЗСБ выделенных из оз. Большие Хрусломены показало между ними отличие в наличие кластера генов, кодирующих коричневую окраску у коричневого штамма (Grouzdev et al., 2019).

Оба выделенные штамма ЗСБ оказались филогенетически наиболее близкими к штамму *C. phaeovibrioides* DSM 265 (ранее *Chlorobium vibrioforme* sbsp. *thiosulfatophilum* DSM 265). Клетки последнего представляют собой палочки, искривленные палочки и вибрионы, формирующие нити и закрученные в спирали цепочки. Клетки содержат Бхл *d* или Бхл *c*, а также каротиноид хлоробактин; культура *C. phaeovibrioides* DSM 265 имеет зеленую окраску (Pfennig, Overmann, 2001). Коричнево-окрашенного аналога данной культуры известно не было.

Ранее из воды озер Кисло-Сладкое и Трехцветное побережья Белого моря нами были выделены зелено-окрашенные и коричнево-окрашенные штаммы ЗСБ по пигментному составу и филогении не отличающиеся от штаммов, выделенных из оз. Большие Хрусломены (Лунина и соавт., 2014, 2019).

### Пигментный состав

Пигментный состав у выделенных нами штаммов отличался: зелено-окрашенный штамм GrKhr17 содержал Бхл *d* и каротиноид хлоробактин, а коричнево-окрашенный штамм BrKhr17 содержал Бхл *e* и каротиноид изорениератин.

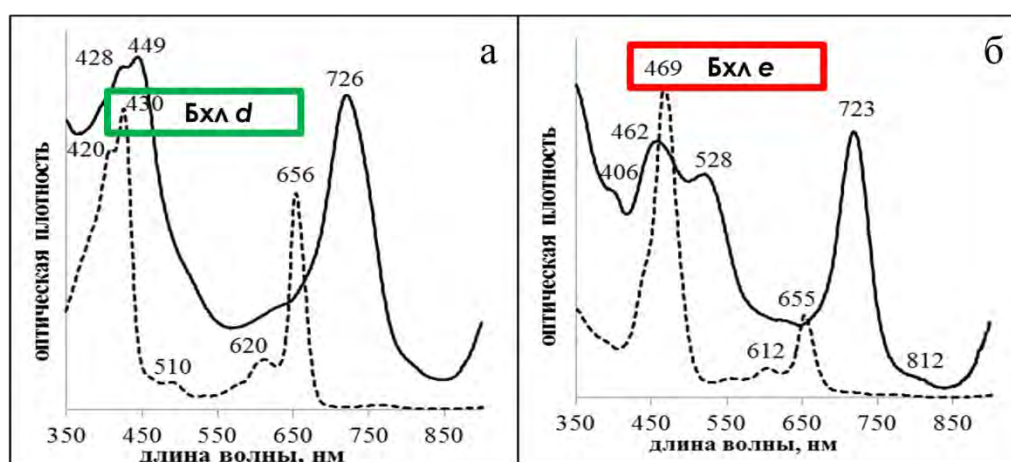


Рис 1. (а) зелено-окрашенные ЗСБ штамм GrKhr17, (б) коричнево-окрашенные ЗСБ штамм BrKhr17. Сплошная линия – спектр живой культуры в глицерине (1:1), пунктирная линия – спектр ацетон-метанольного экстракта пигментов (7:2).

## Способность окислять тиосульфат

В отличие от *C. phaeovibrioides* DSM 265, в геномах выделенных нами штаммов ЗСБ sox-система, ответственная за окисление тиосульфата, обнаружена не была (Grouzdev et al., 2019), однако в отсутствие тиосульфата в среде рост бактерий в культурах не наблюдался.

## Наличие газовых вакуолей

Отличительной особенностью выделенных штаммов (GrKhr17 и BrKhr17) от ранее описанных штаммов вида *Chlorobium phaeovibrioides* является способность образовывать в клетках газовые вакуоли. Наличие газовых вакуолей ранее уже было показано для зелено-окрашенных штаммов *PrPS10* (из оз. Кисло-Сладкое) и *GrTcv13* (из оз. Трехцветное), филогенетически не отличающихся друг от друга и от штамма *GrKhr17* (Лунина и соавт., 2014; 2019). Для коричнево-окрашенных бактерий вида *Chlorobium phaeovibrioides* наличие газовых вакуолей обнаружено впервые.

Для каждого выделенного штамма серобактерий из оз. Большие Хрусломены обнаружено 3 ростовые формы (морфотипа).

Морфотип 1: палочки, собранные в длинные изогнутые нити, в которых практически сразу (или достаточно быстро) образуются газовые вакуоли. При росте длинные нити распадаются на короткие нити, а в дальнейшем на отдельные округлые клетки с газовыми вакуолями, формирующие агрегаты неправильной формы.

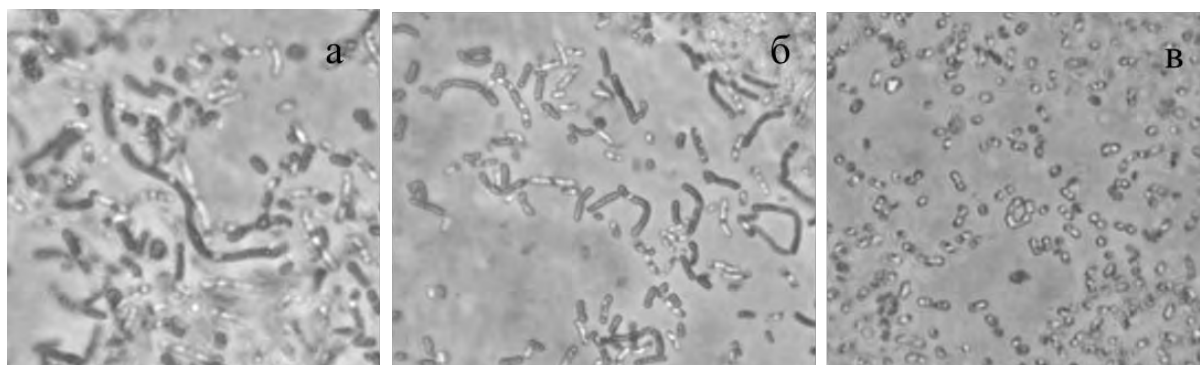


Рис 2. Зелено-окрашенные бактерии штамм *GrKhr17*. Нити (а), образованные клетками-палочками толщиной 0.3–0.4 мкм. При длительном росте нити разделяются на более короткие фрагменты (б) по несколько клеток или одиночные клетки (в) с газовыми вакуолями, раздувшиеся до 0.4–0.5 мкм x 0.4–1.5 мкм.

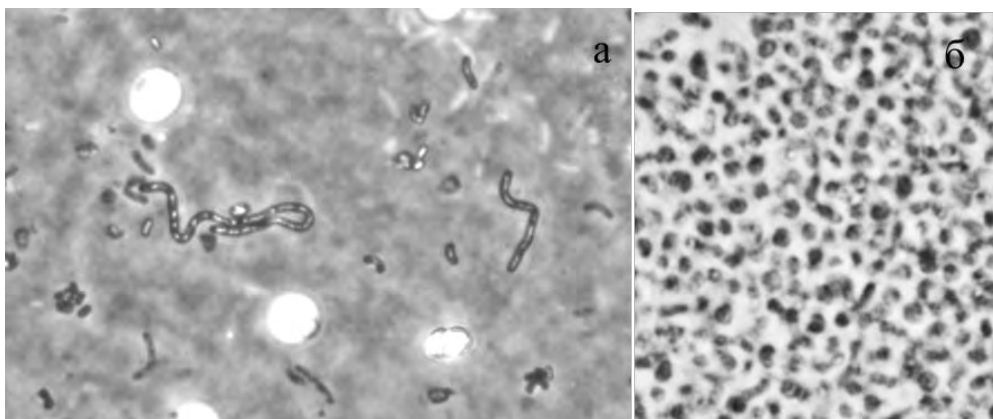


Рис 3. Коричнево-окрашенные бактерии штамм *BrKhr17*. Нити (а) образованные клетками-палочками толщиной 0.3–0.4 мкм. В процессе роста нити разделяются на короткие цепочки (б) клетки внутри них дробятся и раздуваются от газовых вакуолей до 0.4–1.2 мкм.

Морфотип 2: вибриоидные клетки, способные образовывать газовые вакуоли, которые при делении образуют длинные цепочки, закрученные в спирали.

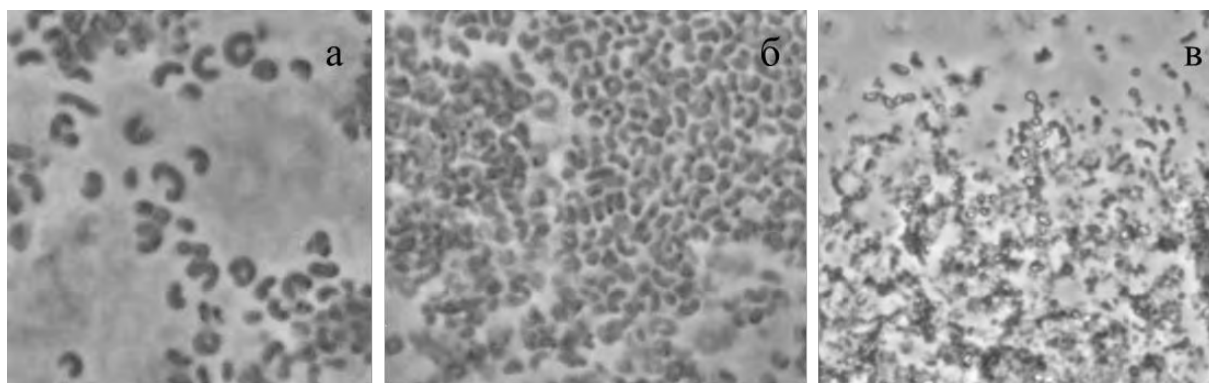


Рис 4. Зелено-окрашенные бактерии штамм *GrKhr17*. (а) Вибрионы размером 0.4 мкм x 0.5 мкм, готовящиеся к делению клетки длиной до 1.5 мкм, короткие цепочки из вибрионов, изогнутые в баранки. (б) Не отделившиеся друг от друга клетки могут образовывать короткие цепочки, закрученные в крутые спирали (на фото 5–7 витков). (в) При длительном росте в культуре наблюдаются крупные, потерявшие форму и раздувшиеся от газовых вакуолей округлые клетки размером 0.4–1.2 мкм. При этом большая часть клеток остается без газовых вакуолей и отмирает.

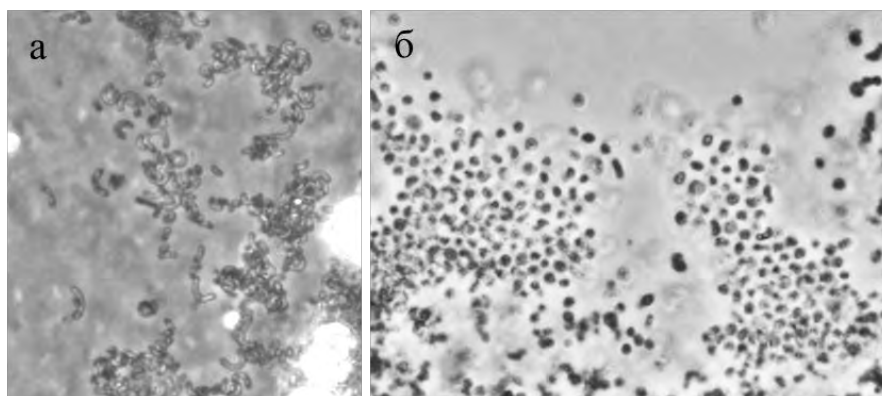


Рис 5. Коричнево-окрашенные бактерии штамм *BrKhr17*. (а) Короткие изогнутые цепочки из вибриоидных клеток толщиной 0.3–0.4 мкм. (б) При длительном росте часть клеток образует газовые вакуоли и раздувается до размера 0.4 мкм x 1.2 мкм.

Морфотип 3: одноклеточные слабо изогнутые вибрионы и округлые клетки, при длительном росте культуры их форма практически не изменяется. Редкие клетки могут содержать газовые вакуоли.

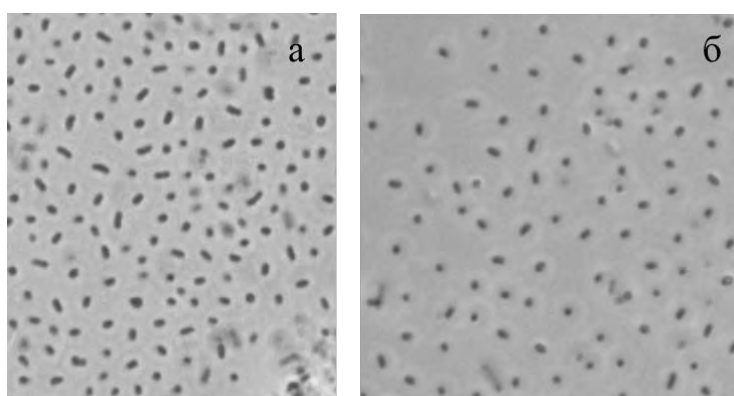


Рис 6. Зелено-окрашенные бактерии штамм *GrKhr17*. (а) Зеленые прямые клетки-палочки размером 0.3–0.4 мкм x 0.3–1.2 мкм без газовых вакуолей. (б) При длительном росте клетки могут мельчать до 0.3 мкм x 0.3–0.5 мкм.

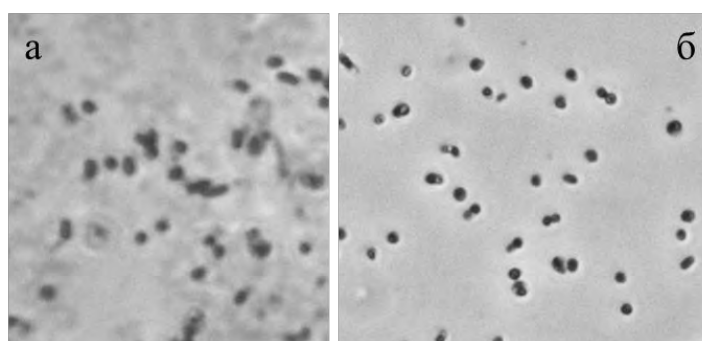




Рис 7. Коричнево-окрашенные бактерии штамм *BrKhr17*. (а) Одиночные вибрионы размером 0.3 мкм x 0.3–1.2 мкм без газовых вакуолей. (б) При *длительном* росте лишь небольшая часть одиночных клеток образует газовые вакуоли; клетки с газовыми вакуолями раздуваются до размера 0.4–0.7 мкм.

Для зелено-окрашенных ЗСБ вида *Chlorobium phaeovibrioides* первый морфотип ранее был найден у бактерий *PrPS10* из оз. Кисло-Сладкое, второй морфотип – у *GrKhr17* из оз. Большие Хрусломены, третий морфотип – у *GrTcv13* из оз. Трехцветное.

Для коричнево-окрашенных ЗСБ вида *Chlorobium phaeovibrioides*, а также для штаммов, филогенетически не отличающихся от *BrKhr17* (*PhvPS10* из оз. Кисло-Сладкое и *PhvTcv-s14* из оз. Трехцветное), наиболее характерен рост в виде отдельных не содержащих газовые вакуоли вибрионов. Таким образом, все три вышеописанных морфотипа коричнево-окрашенных бактерий найдены впервые в оз. Большие Хрусломены.

### Заключение

В определителе бактерий Берджи для некоторых микроорганизмов семейства *Chlorobiaceae* (Pfennig, Overmann, 2001) можно найти пары микроорганизмов, имеющие разный пигментный состав и одинаковые морфотипы. Примерами могут служить зелено-окрашенный *Chlorobium limicola* (Y10640) и коричнево-окрашенный *Chlorobium phaeophaeobacteroides* (Y08104) – прямые или слегка изогнутые палочки, способные образовывать длинные цепочки и нити. Еще одним примером могут быть коричнево-окрашенный *Chlorobium phaeovibrioides* DSM 269 и зелено-окрашенный *Chlorobaculum chlorovibrioides* strain UdG (Номер в Генбанке Y10649) (ныне ноотип ранее потерянной бактерии *Chlorobium chlorovibrioides* (Imhoff, Thiel, 2010)) – одноклеточные вибрионы.

Для зелено-окрашенных бактерий *Chlorobium luteolum* DSM 262 (Y08103) (ранее *Chlorobium vibrioforme* DSM 262 (Imhoff, Thiel, 2010)) и *Chlorobium phaeovibrioides* DSM 265 (CP000607) (ранее *Chlorobium vibrioforme* sbsp. *thiosulfatophilum* DSM 265), имеющих полиморфизм клеток, коричнево-окрашенного морфотипа ранее описано не было.

Выделенные нами коричнево-окрашенный и зелено-окрашенный штаммы ЗСБ из оз. Большие Хрусломены демонстрируют полиморфизм клеток, но, в отличие от филогенетически наиболее близкого штамма *C. phaeovibrioides* DSM 265, содержат газовые вакуоли и не обладают способностью окислять тиосульфат.

Особенный интерес представляет собой коричнево-окрашенный штамм *BrKhr17*, поскольку полиморфизм у коричнево-окрашенных бактерий наблюдается впервые.

### Благодарность

Работа выполнена в рамках госзадания Министерства науки и высшего образования РФ, госзадание ФИЦ Биотехнологии РАН. Биогеохимические и молекулярно-генетические исследования проведены за счет средств гранта РФФ 23-24-00208.

### Список литературы:

1. Grouzdev D.S., Lunina O.N., Gaisin V.A., Krutkina M.S., Baslerov R.V., Savvichev A.S., Gorlenko V.M. Genome sequences of green- and brown-colored strains of *Chlorobium*



- phaeovibrioides with gas vesicles // *Microbiol. Resour. Announc.* 2019. V. 8. e00711–19. <https://doi.org/10.1128/MRA.00711-19>
2. Imhoff JF, Thiel V. Phylogeny and taxonomy of Chlorobiaceae // *Photosynth Res.* 2010 Jun;104(2-3):123-36. doi: 10.1007/s11120-009-9510-7. Epub 2010 Jan 22. PMID: 20094791.
  3. Краснова Е.Д., Воронов Д.А., Демиденко Н.А., Кокрятская Н.М., Пантюлин А.Н., Рогатых Т.А., Самсонов Т.Е., Фролова Н.Л., Шапоренко С.И. К инвентаризации реликтовых водоемов, отделяющихся от Белого моря // *Комплексные исследования Бабьего моря, полу-изолированной беломорской лагуны: геология, гидрология, биота – изменения на фоне трансгрессии берегов. Труды Беломорской биостанции МГУ, Т. 12.* – М.: Т-во научных изданий КМК, 2016. – С. 211–241.
  4. Лунина О.Н., Саввичев А.С., Кузнецов Б.Б., Пименов Н.В., Горленко В.М. Аноксигенные фототрофные бактерии стратифицированного озера Кисло-Сладкое, (Кандалакшский залив Белого моря) // *Микробиология.* 2014. Т. 83. С. 90–108.
  5. Лунина О.Н., Саввичев А.С., Бабенко В.В., Болдырева Д.И., Кузнецов Б.Б., Краснова Е.Д., Кокрятская Н.М., Веслополова Е.Ф., Воронов Д.А., Демиденко Н.А., Летарова М.А., Летаров А.В., Горленко В.М. Сезонные изменения структуры сообщества аноксигенных фототрофных бактерий меромиктического озера Трехцветное (Кандалакшский залив, Белого моря). *Микробиология.* 2019. Т. 88. С. 100–115.
  6. Overmann J., Tilzer M.M. Control of primary productivity and the significance of photosynthetic bacteria in a meromictic kettle lake Mittlerer Buchensee, West-Germany // *Aquatic Sciences* – 1989. V. 51. P. 4.
  7. Pfennig, N., Lippert, K.D. Über das Vitamin B<sub>12</sub>-Bedürfnis phototropher Schwefelbakterien // *Arch. Mikrobiol.* 1966. V. 55. P. 245–256.
  8. Pfennig N., Overmann J. Genus *Chlorobium*. - In: *Bergey's manual of systematic bacteriology* / D.R. Boone, R.W. Castenholz (eds) v.1; G.M. Garrity, editor-in-chief. – 2nd ed. 2001. Springer-Verlag. New York, Berlin, Heidelberg, pp. 608-609.
  9. Savvichev A.S., Kadnikov V.V., Rusanov I.I., Beletsky A.V., Krasnova E.D., Voronov D. A., Kallistova A.Yu, Veslopolova E.F., Zakharova E.E., Kokryatskaya N.M., Losyuk G.N., Demidenko N.A., Belyaev N.A., Sigalevich P.A., Mardanov A.V., Ravin N.V., and Pimenov N.V. Microbial processes and microbial communities in the water column of the polar meromictic lake Bol'shie Khruslomeny at the White sea coast // *Frontiers in microbiology.* 2020. V. 11. P. 1945. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.01945>

УДК 582.282

Рубрика 34.29.35

АНТИБИОТИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ГРИБОВ, АССОЦИИРОВАННЫХ С  
КРАСНЫМИ ВОДОРОСЛЯМИ ODONTHALIA DENTATA И PHYCODRYS RUBENS

ANTIBIOTIC ACTIVITY OF FUNGI ASSOCIATED WITH RED ALGAE ODONTHALIA  
DENTATA AND PHYCODRYS RUBENS

**Ермишина Марина Андреевна<sup>1</sup>, Бубнова Екатерина Николаевна<sup>1</sup>, Чердынцева  
Татьяна Андреевна<sup>1</sup>, Гавирова Лилия Андреевна<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> МГУ им. М.В.Ломоносова биологический факультет, Москва

**Ermishina Marina Andreevna<sup>1</sup>, Bubnova Ekaterina Nikolaevna<sup>1</sup>, Cherdyntseva Tatyana  
Andreevna<sup>1</sup>, Gavirova Liliya Andreevna<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Lomonosov Moscow State University, Moscow

## **Введение**

Для морских грибов водоросли-макрофиты – один из важнейших субстратов, с которыми они могут быть связаны разнообразными типами связей: как паразиты и мутуалисты на живых или как сапротрофы на отмерших талломах (Raghukumar, 2017). В последнее время грибы, ассоциированные с морскими макрофитами, вызывают всё возрастающий интерес в качестве продуцентов интересных вторичных метаболитов, в первую очередь, с антимикробной активностью (Schulzetal., 2002). Но в целом, в этих исследованиях ещё огромные перспективы. Например, до настоящего времени нет сведений о биологически активных веществах грибов, ассоциированных с водорослями арктических морей.

Красные водоросли – одна из важнейших групп водорослей в мировом океане. В литературе имеется много сведений о разнообразии различных организмов в их сообществах, в том числе и в арктических морях (Mikhailova et al., 2019).

Кроме важности в экологическом отношении изучения грибов, ассоциированных с морскими водорослями-макрофитами, такие работы крайне важным и с теоретической точки зрения (для понимания их эволюции, экологии и в целом функционирования морских сообществ), и для их возможного практического применения. В последние годы морские грибы очень активно исследуют в мире как раз в качестве продуцентов различных потенциально полезных вторичных метаболитов. И здесь ещё очень большие перспективы, особенно в отношении их активных метаболитов, в плане обнаружения веществ для медицины и биотехнологии. Вторичные метаболиты морских водорослей и грибов всё чаще находят применение в медицине и фармацевтике в виде профилактических и лекарственных препаратов.

Таким образом, цель нашего исследования – исследование состава и структуры микобиоты, ассоциированной с красными водорослями, доминирующими в поясе багрянок Белого моря – *Odonthalia dentata* и *Phycodryus rubens* с последующим скринингом выделенных изолятов на антибактериальную активность.

## Материалы и методы

В данной работе исследовали культуры грибов, выделенных с талломов водорослей *Odonthalia dentata* и *Phycodrys rubens*, отобранных в окрестностях Беломорской биостанции (ББС) им. Н.А. Перцова. В каждой из них, на глубине 9-10 метров в индивидуальные пакеты было отобрано по 5 живых талломов *O. dentata* и *P. rubens*, а также по 1 пробе воды и грунта. Отобранный материал доставляли в лабораторию, где не позднее 3 суток проводили посев. Для талломов использовали метод отпечатков: от каждого из них отделяли по 2 фрагмента размером 3-7 см, промывали в стерильной морской воде, а затем каждый фрагмент прикладывали с двух сторон последовательно на 4 чашки, оставляя отпечатки; на пятой чашке оставляли сам фрагмент таллома. Один фрагмент от каждого таллома отпечатывали на среде сусло-агар (общее содержание сахаров – 0,6%, среду готовили на воде Белого моря, солёностью 24‰), второй – на оригинальной среде на основе вытяжки из смеси талломов *Odonthalia* и *Phycodrys* (122 грамма смеси свежих талломов на 1 л среды, использовали воду из Белого моря солёностью 24‰). Посевы грунта и воды из каждой точки осуществляли на 2 чашки с сусло-агаром и 2 чашки с агаром на основе вытяжки из красных водорослей. Посевы инкубировали 30 дней при температуре +9°C, после чего выделяли все выросшие колонии грибов в чистую культуру для дальнейших исследований.

Для культивации грибов использовали жидкую питательную среду следующего состава (г / л):

Общие сахара пивного сусла (ТУ 9185-020-93454900-12), при расчёте 2  
разведения исходного концентрата

Пептон	0,4
Дрожжевой экстракт	0,4
KNO <sub>3</sub>	0,4

Каждый изолят культивировали в 25 мл жидкой среды в двух 50-миллилитровых пробирках в течение 7 дней. В качестве контроля использовали стерильные жидкие среды того же состава.

Было проведено 3 раунда тестирования, включающих выращивание культур при трёх градациях температуры: +13°C, +21°C, +37°C при 130 об / мин

Для оценки антибактериальной активности были использованы два штамма условно-патогенных бактерий: Грам-положительный штамм *Micrococcus luteus* КМ МГУ No. 128 и Грам-отрицательный штамм *Escherichia coli* КМ МГУ No. 85.

Для выявления антибиотических свойств грибов, тест культуры засеивали глубинным методом, после чего стерильным пробочным сверлом вырезали лунки, в которые вносили исследуемый образец культуральной жидкости. На одну чашку Петри вносили 5 образцов исследуемых грибов. Чашки выдерживали 1 час при комнатной температуре для диффузии антибиотических веществ в толщу агара, а затем помещали в термостат при температуре 37°C, благоприятной для развития тест-организма, на сутки. Если тест-организм чувствителен к веществу продуцента, то после инкубации вокруг вырезанных лунок образуются зоны отсутствия роста, что говорит о наличии антибактериального вещества изучаемого гриба. Чем больше выделяется антибиотика и чем он активнее, тем больше будет диаметр зоны отсутствия роста тест-организма. Тест-организм, не чувствительный к антибиотическому веществу данного продуцента, растёт по всей поверхности среды.

Для оценки активности грибов мы измеряли ширину зоны подавления роста тест-организмов в 2-х повторностях. Вычисляли среднее значение для каждого тест-организма.

## Результаты

В первом раунде тестирования (при температуре +21°C) 19 изолятов 16 видов грибов проявили активность в отношении *E.coli*, 3 изолята 3 видов грибов (*Periniconia* sp., *Pyrenopeziza* sp., *Trichoderma polysporum*) проявили активность в отношении *M. luteus*. Наибольшую активность показали *Acremonium fuci*, *Periniconia* sp., *Pyrenopeziza* sp., *Tolypocladium cylindrosporum*, *Trichoderma polysporum* в отношении *E. coli*.

Во втором раунде тестирования (при температуре +13°C) 24 изолята 20 видов грибов проявили активность в отношении *E.coli*, 6 изолятов 6 видов грибов проявили активность в отношении *M. luteus*. Наибольшую активность показали *Acremonium fuci*, *Lindra obtusa*, *Pyrenopeziza* sp. в отношении *E. coli*, а в отношении *M. luteus* - *Trichoderma polysporum*.

В третьем раунде тестирования (при температуре +37°C) 24 изолята 20 видов грибов проявили активность в отношении *E.coli*, 4 изолята двух видов грибов проявили активность в отношении *M. luteus*. Наибольшую активность показали *Acremonium fuci*, *Paradendryphiella salina*, *Trichoderma polysporum* в отношении *E. coli*.

Из всех протестированных изолятов только 2 (относящихся к видам *Botrytis cinerea* и *Penicillium chrysogenum*) не проявили антибактериальной активности ни в одном из условий эксперимента. Все остальные были активны в тех или иных условиях, и некоторые проявляли довольно высокую активность, с диаметром зоны подавления до 30–35 мм.

Большинство протестированных изолятов проявляли активность в отношении Грамм-отрицательной *E. coli*. И относительно небольшое число изолятов проявляло активность в отношении Грамм-положительной *M. luteus*. Причём в абсолютном большинстве случаев активность в отношении *M. luteus* дополняла активность в отношении *E. coli*, а не была исключительной особенностью. Ещё можно отметить, что даже в тех случаях, когда активность в отношении *M. luteus* наблюдалась, диаметры зон подавления были ниже, чем для *E. coli*, как по максимальным значениям, так и по средним.

В ходе первичного скрининга мы выявили несколько культур, которые могут представлять интерес и которые можно исследовать более подробно. Во-первых, это облигатно морской *Acremonium fuci*, который показывал стабильно высокую активность в отношении *E. coli* в разных условиях эксперимент. Интересны также неидентифицированные представители родов *Periconia* и *Pyrenopeziza*, которые показали высокую активность как в отношении *E. coli*, так и *M. luteus* в различных условиях эксперимента.

## Выводы

Большинство исследованных на антимикробную активность штаммов выделенных с талломов водорослей грибов проявило активность в отношении Грамм-отрицательной *E. coli*. Наибольшая активность была выявлена для облигатно морского гриба *Acremonium fuci*, а так же наиболее активными оказались: *Periniconia* sp, *Pyrenopeziza* sp., *Trichoderma polysporum*. Для *A. fuci* сведения об антимикробной активности были получены впервые.

Абсолютное большинство протестированных изолятов показало наличие активности в отношении *E. coli*. Активность в отношении *M. luteus* характерна для незначительного числа изолятов.

Выявлен ряд изолятов, обладающих высокой активностью или активностью в отношении обоих тест-организмов, перспективных для дальнейшего изучения.

### **Список литературы:**

1. Mikhaylova T.A., Aristov D.A., Naumov A.D., Malavenda S.S., Savchenko O.N., Bijagov K.L. Diversity and structure of epibenthic communities of the red algae zone in the White Sea // *Polar Biology*, 2019 Vol. 42 – P. 953–968. DOI: 10.1007/s00300-019-02488-2
2. Raghukumar S. *Fungi in coastal and oceanic marine ecosystems* // Springer, 2017.
3. Schulz B., Boyle C., Draeger S., Rommert K. Endophytic fungi: a source of novel biologically active secondary metabolites // *Mycological Research*, 2002 Vol. 106. – No 9. – P. 996-1004. DOI:10.1017/S0953756202006342

УДК 574.584

Рубрика 34.35.33

ОЦЕНКА ЧИСЛЕННОСТИ РЫБ В ПРИБРЕЖНЫХ СООБЩЕСТВАХ В БЕЛОМ МОРЕ  
ESTIMATION OF FISH ABUNDANCE IN COASTAL ECOSYSTEMS OF THE WHITE  
SEA

**Иванова Татьяна Сослановна<sup>1</sup>, Иванов Михаил Валерьевич<sup>1</sup>, Полякова Наталия Владимировна<sup>1</sup>, Лайус Дмитрий Людвигович<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

**Ivanova Tatyana Soslanovna<sup>1</sup>, Ivanov Mikhail Valerievich<sup>1</sup>, Polyakova Natalia Vladimirovna<sup>1</sup>, Laius Dmitry Ludwigovich<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Saint-Petersburg State University, Saint-Petersburg

Кафедра ихтиологии и гидробиологии СПбГУ много лет проводит сетные и неводные ловы в окрестностях УНБ СПбГУ «Беломорская», в том числе и при проведении практики «Ихтиология» для студентов первого курса биологического факультета. Нами накоплен большой мониторинговый материал по видовому разнообразию прибрежных рыбных сообществ и популяционным характеристикам отдельных видов рыб. Но, со временем встает задача количественной оценки обилия рыб в прибрежье. Обычно, для количественного учета используют активные орудия лова – тралы и невода. В прибрежье Белого моря и Финского залива Балтийского моря хорошо зарекомендовали себя небольшие равнокрылые невода, которые адекватно учитывают некрупных массовых рыб, таких как трехиглая (*Gasterosteus aculeatus*) и девятииглая (*Pungitius pungitius*) колюшки и молодь разных рыб (Ivanova et al., 2016; Lajus et al., 2020; Demchuk et al., 2021). Однако для лова более крупных и малочисленных рыб необходимо использовать большие невода, что сразу влечет за собой целый ряд проблем, основные это большие трудозатраты и невозможность успешного применения в большом количестве прибрежных биотопов. Для лова таких рыб успешно используют разноячеистые жаберные сети или наборы сетей с разной ячейей. Однако, при применении таких пассивных орудий лова как сети очень сложно получить количественную оценку обилия рыб. Целью данного исследования было уточнить параметры количественного лова сетями и неводами в прибрежье Белого моря и объединить оценки, полученные разными орудиями лова.

В процессе мониторинга прибрежных рыбных сообществ мы использовали два орудия лова: закидной равнокрылый невод (длина 7,5 м, высота 1,5 м, ячейя 5 мм и 3 мм в кутке) и жаберные сети (набор из 4 сетей с ячейей 16, 20, 30 и 40 мм, длиной 30 м и высотой 1,8 м каждая). Невод закидывали в малую воду на расстояние 25 – 30 м от берега, и площадь облова составляла 120 квадратных метров. Сети ставили перпендикулярно к берегу и параллельно друг другу, на расстоянии 10 – 15 м друг от друга ночью на 12 часов. Оценку численности рыб по сетным уловам проводили в губе Яковлева (Керетский архипелаг Кандалакшского залива Белого моря). Эта губа была выбрана по нескольким причинам: 1) губа хорошо прикрыта от воздействия волн – это обеспечивало стабильность (независимость от волнения) исследования на протяжении всех пяти дней; 2) исследования проводили в губе, считая, что рыбное сообщество в ней менее подвержено ротации, чем на открытом берегу; 3) губа относительно небольшая и площадь облова покрывала всю ее кутковую часть; 4) рыбное сообщество этой губы имеет относительно высокое общее видовое богатство и представленность оседлых



видов, на которых делался упор в данном исследовании. За площадь облова набором сетей принимали всю площадь кутовой части губы Яковлева, ограниченную сетями и берегом, всего около 10000 квадратных метров. При нашем способе установки сетей это 150 – 160 м вдоль берега и 60 – 70 м перпендикулярно берегу.

Для оценки численности рыб необходимо было исследовать коэффициенты уловистости обоих орудий лова. В дальнейшем численность рыб в улове делили на площадь облова и коэффициент уловистости и получали численность на квадратный метр.

Были использованы несколько независимых оценок абсолютной численности рыб в зоне облова:

- 1) Серия обловов с изъятием (Zippin, 1958). В одном месте проводили серию повторных отловов с незначительным промежутком времени между ними. Пойманных рыб изымали и по возможности выпускали далеко за пределами зоны облова. По скорости убывания численности каждого вида в уловах оценивали начальную численность рыб в зоне облова. Этот метод использовался как для невода (молодь плотвы (*Rutilus rutilus*)), так и для сетей (керчак (*Myoxocephalus scorpius*), треска (*Gadus morhua*), навага (*Eleginus nawaga*), камбалы (*Limanda limanda*, *Liopsetta glacialis*, *Platichthys flesus*), сельдь (*Clupea pallasii*)).
- 2) Оценка численности с помощью мечения и возврата (Ricker, 1975; Lockwood, Schneider, 2000). В зону облова выпускали известное количество меченых рыб, затем проводили повторные отловы, и далее по соотношению меченых и немеченых рыб в уловах по пропорции определяли численность. Этот метод использовался как для невода (трехиглая колюшка), так и для сетей (керчак).
- 3) Прямой визуальный учет с помощью водолаза. На площади 50 на 40 метров водолаз производил подсчет керчаков. Эти рыбы малоподвижны и в темное время суток с помощью фонаря довольно хорошо видны на фоне дна с негустой растительностью.

На основе полученных оценок численности и сопоставлении их с уловами определяли коэффициенты уловистости, как долю пойманных рыб от их общей численности. Коэффициенты уловистости для невода и набора сетей полученные в ходе исследования представлены в таблице 1. Хорошо видно, что два независимых метода оценки численности дают сходные оценки.

Таблица 1. Коэффициенты уловистости, полученные разными методами учета.

Метод оценки численности	Коэффициент уловистости (доля пойманных рыб от общей численности)	
	невод	сети
Серия обловов	70%	25 – 47% (для разных видов)
Мечение и возврат	50 – 59%	20%
Средняя оценка	60% ± 6%	30% ± 3%

У разных видов рыб оценки коэффициента уловистости для набора сетей оказалось довольно похожими, и в среднем составили 30% ± 3%. В дальнейшем полученные коэффициенты уловистости и площади облова могут быть использованы для оценки численности (экз./м<sup>2</sup>) и биомассы (кг/м<sup>2</sup>) рыб в разных прибрежных биотопах. При сравнении численности керчаков, полученной по сетным уловам (0,018 экз./м<sup>2</sup>) и численности оцененной водолазом (0,013 экз./м<sup>2</sup>) также наблюдаем очень близкие результаты.

Об оценке коэффициента уловистости невода более подробно можно посмотреть в Ivanova et al, 2019.

Таким образом, в условиях побережья Кандалакшского залива Белого моря несколько использованных независимых методов (мечения и возврата, серии ловов с изъятием и водолазного учета) дали сходные результаты и для невода, и для набора жаберных сетей. Конечно, применение этих данных (особенно для жаберных сетей) на других акваториях и других видах рыб требует осторожности и дополнительных исследований. В нашем же случае результаты данной работы позволяют в побережье Белого моря оценивать численность рыб и получать сопоставимые оценки при использовании разных методов лова, что важно и для исследования самих сообществ рыб, и для оценки их запасов, и для изучения трофических отношений в экосистемах.

### **Благодарность**

Авторы благодарят администрацию УНБ СПбГУ «Беломорская» за возможность круглогодичной работы на Белом море. Авторы благодарны водолазам (Павлу Глазкову, Станиславу Илюткину и Алексею Миролюбову), а также всем сотрудникам и студентам, принимавшим участие в сборе и обработке материала.

### **Финансирование**

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 22-24-00-956.

### **Список литературы:**

1. Demchuk, A.S., Uspenskiy, A.A. and Golubkov, S.M., 2021. Abundance and feeding of fish in the coastal zone of the Neva Estuary, eastern Gulf of Finland. *Boreal Environment Research*, 26, p. 1-16.
2. Ivanova T.S., Ivanov M.V., Golovin P.V., Polyakova N.V., Lajus D.L. The White Sea threespine stickleback population: spawning habitats, mortality, abundance // *Evolutionary Ecology Research*, 2016. — Vol. 17, p. 301-315.
3. Ivanova, T. S., Ivanov, M. V., Bakhvalova, A. E., Polyakova, N. V., Golovin, P. V., Kucheryavyu, A. V., Yurtseva, A. O., Smirnova, K. A. & Lajus, D. L. Homing ability and site fidelity of marine threespine stickleback on spawning grounds. 2019. *Evolutionary Ecology Research*. 20, 1-3, p. 297-315.
4. Lajus, D. L., Golovin, P. V., Zelenskaia, A. E., Demchuk, A. S., Dorgham, A. S., Ivanov, M. V., Ivanova, T. S., Murzina, S. A., Polyakova, N. V., Rybkina, E. V. & Yurtseva, A. O. Threespine Stickleback of the White Sea: Population Characteristics and Role in the Ecosystem. 2020. *Contemporary Problems of Ecology*. 13, 2, стр. 132-145.
5. Lockwood, R.N. and Schneider, J.C. 2000. Stream fish population estimates by mark-and-recapture and depletion methods. In *Manual of Fisheries Survey Methods II: With Periodic Updates* (J.C. Schneider, ed.). Fisheries Special Report #25. Ann Arbor, MI: Michigan Department of Natural Resources.
6. Ricker, W.E. 1975. Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. *Bull. Fish. Res. Board Can.*, 191: 1–382
7. Zippin, C. 1958. The removal method of population estimation. *J. Wildl. Manage.*, 22: 82–90

УДК 574.582

Рубрика 34.35.00

ОЦЕНКА БИОМАССЫ НИТЧАТЫХ ВОДОРΟΣЛЕЙ В ОЗЕРЕ КИСЛО-СЛАДКОЕ (КАНДАЛАКШСКИЙ ЗАЛИВ, БЕЛОЕ МОРЕ), ЧАСТИЧНО ИЗОЛИРОВАННОМ ОТ БЕЛОГО МОРЯ

AN ASSESSMENT OF THE BIOMASS OF FILAMENTOUS ALGAE IN THE LAKE OF SWEET AND SOUR (KANDALAKSHA BAY, WHITE SEA), PARTIALLY ISOLATED FROM THE WHITE SEA

**Абрамова Марина Сергеевна<sup>1</sup>, Баскаев Амур Александрович<sup>1</sup>, Буряк Александр Юрьевич<sup>1</sup>, Волков Павел Алексеевич<sup>1</sup>, Ермохин Даниил Алексеевич<sup>1</sup>, Илюшин Егор Андреевич<sup>1</sup>, Казакова Мария Александровна<sup>1</sup>, Карнаухов Владислав Константинович<sup>1</sup>, Кравцов Игорь Дмитриевич<sup>1</sup>, Кузьмин Никита Александрович<sup>1</sup>, Лапшина Ксения Константиновна<sup>1</sup>, Матерова Татьяна Антоновна<sup>1</sup>, Нехорошева Юлия Евгеньевна<sup>1</sup>, Шипилова Полина Александровна<sup>1</sup>, Ястребов Иван Александрович<sup>1</sup>, Григорян Илья Валентинович<sup>1</sup>, Пархаева Анна Павловна<sup>1</sup>, Краснова Елена Дмитриевна<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Физический факультет МГУ им. Ломоносова, Москва,*

<sup>2</sup> *Биологический факультет МГУ им. Ломоносова, Москва.*

**Abramova Marina Sergeevna<sup>1</sup>, Baskaev Amur Aleksandrovich<sup>1</sup>, Buryak Aleksandr Yurievich<sup>1</sup>, Volkov Pavel Alekseevich<sup>1</sup>, Ermokhin Daniil Alekseevich<sup>1</sup>, Iushin Yegor Andreevich<sup>1</sup>, Kazakova Maria Aleksandrovna<sup>1</sup>, Karnaukhov Vladislav Konstantinovich<sup>1</sup>, Kravtsov Igor Dmitrievich<sup>1</sup>, Kuzmin Nikita Aleksandrovich<sup>1</sup>, Lapshina Kseniia Konstantinovna<sup>1</sup>, Materova Tatiana Antonovna<sup>1</sup>, Nekhorosheva Julia Evgenevna<sup>1</sup>, Shipilova Polina Aleksandrovna<sup>1</sup>, Yastrebov Ivan Aleksandrovich<sup>1</sup>, Grigoryan Ilya Valentinovich<sup>1</sup>, Parkhaeva Anna Pavlovna<sup>1</sup>, Krasnova Elena Dmitrievna<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Faculty of Physics, Lomonosov MSU, Moscow,*

<sup>2</sup> *Biological Faculty, Lomonosov MSU, Moscow.*

### **Аннотация**

В результате послеледникового поднятия на побережье Белого моря образовалось множество водоемов, в разной степени изолированных от моря. У одного из них, озера Кисло-Сладкое, расположенного в 1,5 км от Беломорской биологической станции МГУ им. М.В. Ломоносова, в гидрологическом цикле чередуются периоды устойчивой стратификации (меромиксии) с эпизодами полного перемешивания в результате зимних забросов воды [1]. В 2023 году после зимней промывки в оз. Кисло-Сладкое нарушилась стратификация, сохранявшаяся несколько лет, что привело к перемешиванию вод придонной с вышележащей водной толщей. Из-за избытка биогенных веществ в озере произошло цветение нитчатых водорослей *Cladophora*, образовались обширные маты из живых и отмирающих нитчаток. Данная работа – результат пилотного студенческого проекта по оценке биомассы нитчатых водорослей, всплывших на

поверхность водоема, плавающих в толще воды и лежащих на дне, выполненного в ходе полевой практики на ББС МГУ студентов кафедры биофизики физического факультета МГУ.

## **Введение**

Нитчатые водоросли – важный источник первичной продукции в водоемах. Нередко они развиваются в очень больших количествах и образуют плотные маты на дне водоемов, в толще воды и на поверхности. Появление этих матов существенно влияет на экосистему: они затеняют часть водоема, что ухудшает световые условия для фитопланктона и прибрежных макрофитов, составляют мощную конкуренцию за биогенные вещества другим автотрофным организмам, меняют газовый режим в водоеме, а отмирая – обогащают донные осадки органическими веществами. Ассимилируя углекислый газ в количествах, соответствующих синтезированной биомассе, они выводят его из атмосферы, и тем самым способствуют ослаблению парникового эффекта. Скопления нитчатых водорослей часто рассматривают как ценный ресурс для фармакологической промышленности, а также как субстрат для выращивания кормовых беспозвоночных.

Маты из нитчатых водорослей – обычное явление для прибрежных соленых водоемов, частично отделенных от Белого моря, особенно тех, которые еще не утратили связь с морем. В их числе озеро Кисло-Сладкое, лагуна на Зеленом мысе, озеро Вонючка на о. Тонисоар. В лагуне на Зеленом мысе они образуются ежегодно, в озере на о. Тонисоар мы регистрировали их при каждом обследовании. В озере Кисло-Сладкое маты из нитчаток появляются в отдельные годы, они чередуются с периодами, когда поверхность водоема свободна от них. В комплексных исследованиях отделяющихся от Белого моря водоемов, которые развиваются на Беломорской биостанции МГУ более десяти лет, матам из нитчатых водорослей пока не уделяли внимания. Летом 2023 года на оз. Кисло-Сладкое сформировались обширные заросли нитчатки, которая покрыла существенную часть водного зеркала, дно, а также циркулировала в толще водоема. Их появление было связано с разрушением стратифицированной структуры озера в результате зимнего заброса большого объема воды из моря, в результате чего в водной толще оказалось большое количество биогенных веществ, накопленных в анаэробной зоне. Еще одна особенность этого сезона – высокая концентрация растворенного в воде кислорода, превышающая 200% насыщения, которая была зарегистрирована в эпилимнионе уже в начале июня и сохранилась до конца августа. При этом фитопланктон в озере не был многочисленным. По всей вероятности, накопление кислорода связано в большей степени с фотосинтетической активностью нитчатки. Роль нитчатки в экосистемах отделяющихся от моря водоемов еще предстоит оценить. Задачей данной работы стала оценка биомассы зеленых водорослей *Cladophora* (далее «нитчатка») в озере Кисло-Сладкое.

## **Материалы и методы**

### Район исследований

Озеро Кисло-Сладкое расположено на Карельском берегу Белого моря в 1,5 км от Беломорской биологической станции МГУ им. М.В. Ломоносова (66° 32' 54.19"С, 33° 8' 6.62"В). Это один из множества прибрежных водоемов, образовавшихся путем отделения от моря в результате послеледникового поднятия берега. В гидрологическом цикле этого озера чередуются периоды устойчивой стратификации (меромиксии) с эпизодами полного перемешивания в результате зимних забросов воды. В 2023 году из-за зимней промывки в оз. Кисло-Сладкое нарушилась стратификация, сохранявшаяся несколько лет, что привело к перемешиванию придонной воды, где долгое время накапливались биогенные вещества, с вышележащей водной толщей. Это

привело к массовому размножению нитчатых водорослей *Cladophora*, образовались обширные маты из живых и отмирающих нитчаток.

Полевая часть исследования выполнена 22 августа 2023 г.

#### Оценка площади скоплений нитчатки

Скопления нитчатки были условно разделены на три группы: распространенная преимущественно на поверхности (образующая плавучие маты, далее «поверхностная»), в толще воды (далее «плавающая») и на дне (далее «донная»).

Площадь, занятую плотными скоплениями плавающей нитчатки, определяли путем картирования границ с использованием GPS-трекера: на воде – с надувной лодки, и у берега – пешком. Далее с помощью программы Google Earth Pro по полученным координатам была вычислена площадь озера и площадь, покрытая нитчаткой.

Донные скопления, как выяснилось в ходе отбора проб, ограничены глубиной 1,5 м; глубже на дне нитчатки практически нет. «Облака» плавающей в толще воды нитчатки были распространены, наоборот, в более глубокой части озера, с глубиной больше 1,5 м. Измерения глубины проводились эхолотом Практик 7 BWF.

На мелководье донные и поверхностные скопления смыкаются, и нет пространства для плавающих скоплений. Поэтому для расчета площади озера, занятой донными скоплениями, была принята прибрежная часть водного зеркала, ограниченная изобатой 1,5 м, а для расчета площади с плавающей нитчаткой – центральная часть дальше этой изобаты. Батиметрическая карта с изобатами была взята из базы данных о прибрежных озерах Беломорской биостанции МГУ.

#### Отбор проб из матов нитчатых водорослей

Отбор проб производили с надувной лодки, а на мелководье - с берега (рис. 1.). Для каждой группы были использованы различные методы отбора проб: для поверхностной - сачок площадью покрытия 300 см<sup>2</sup>, для донной - дночерпатель Экмана-Берджи с площадью захвата 225 см<sup>2</sup>. Плавающую нитчатку облавливали планктонной сетью Джели диаметром 50 см, протягивая сеть от дна до поверхности. Так со всего озера было взято 20 проб поверхностной нитчатки, 24 пробы плавающей и 15 проб донной.

#### Определение биомассы нитчатых водорослей

Чтобы оценить биомассу нитчатки, материал очищали от инородных объектов, таких как хвоя, раковины моллюсков, других крупных живых и инородных объектов, и помещали в мешочки из марли. Далее водоросли сушили в центрифуге со скоростью вращения 500 об./мин, после чего каждая отдельная проба была взвешена с помощью электронных весов "Весна" (Е-70 с точностью до 0,01 г и Е-69 с точность до 0,1 г). Для получения точного значения массы нитчатки была вычтена масса марлевых мешочков. Поскольку после такого центрифугирования нитчатка оставалась влажной, было предпринято дополнительное центрифугирование четырех навесок нитчатки по 90 г на скорости 5000 об./мин в фальконах 50 мл с марлевым фильтром в центрифуге Eppendorf Centrifuge 5804. Далее было вычислено соотношение массы сухой нитчатки и полной массы в исходной пробе, которое использовалось как коэффициент пересчета для получения значения сухой биомассы каждой пробы.

В скоплениях нитчатки было много семян морского травянистого растения рупия морская (*Ruppia maritima*), обитающей на мелководье озера Кисло-Сладкое. Для оценки вклада беспозвоночных, обитающих в нитчатке, и семян рупии в сырой вес матов из нитчатки,



небольшая порция нитчатки была очищена от них, и взвешена до и после очистки. В результате был получен коэффициент пересчета для вычисления массы «чистой» нитчатки.

### Гидрологические измерения

Гидрологические исследования были выполнены одновременно с отбором проб. Они включали измерение температуры, солености и окислительно-восстановительного потенциала мультипараметрическим зондом YSI Pro, концентрации растворенного в воде кислорода оптическим зондом YSI Pro ODO, pH измеряли портативным определителем качества воды WaterLiner.



Рисунок 1. Ход работы.

## Результаты

### Гидрология

Максимальная глубина озера – 4 м. На глубине от 1 до 3 метров температура воды значительно возрастала в силу экранирования слоем воды с меньшей соленостью, что является особенностью меромиктических водоемов. Максимальное насыщение воды кислородом зарегистрировано на глубине 1,5 метров и составляло 236,2% (рис. 2.). Высокое содержание кислорода, возможно, связано с большим количеством нитчатки в озере. На глубине 3,7 метров располагалась граница анаэробной зоны – концентрация кислорода ниже этой отметки стремится к нулю. Суммируя результаты гидрологических измерений, толщу водоема можно разделить на три зоны: 1) поверхностный слой ветрового перемешивания с пониженной соленостью (15‰) от поверхности до глубины 0,5 м, 2) основная толща воды с соленостью от 21,3‰ до 24,5‰ и высоким содержанием кислорода от 0,5 м до 3,8 м; 3) анаэробная зона от 3,8 м до дна.



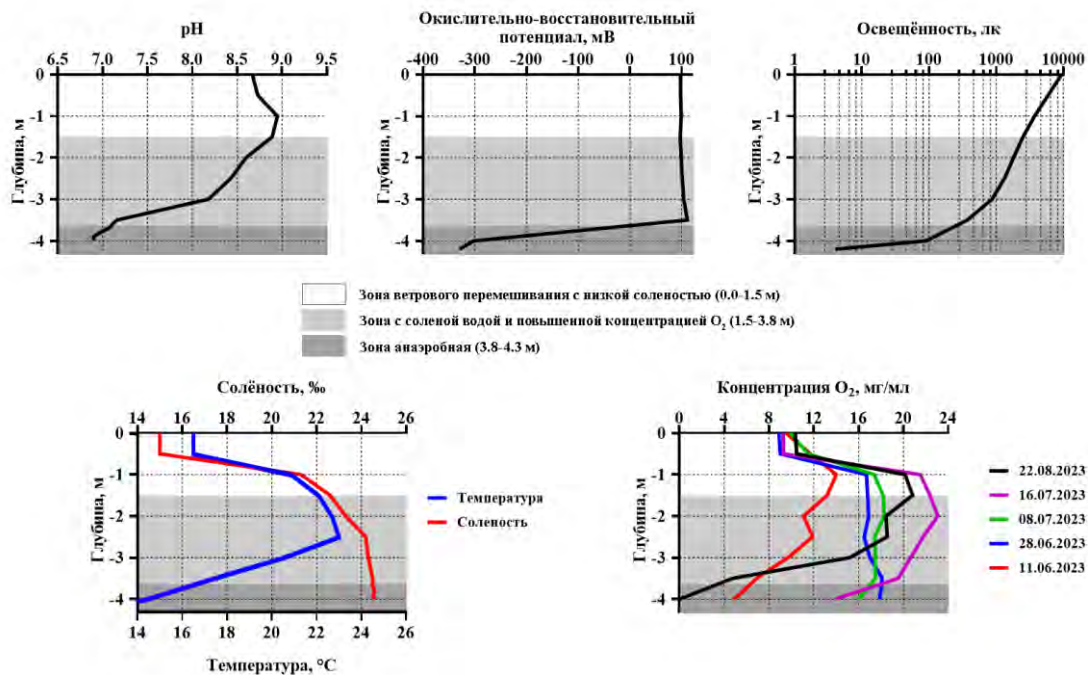


Рисунок 2. Данные гидрологических исследований.

### Расчет площади скоплений нитчатки

С помощью программы Google Earth Pro по полученным координатам была вычислена площадь озера и площадь, покрытая поверхностных скоплений нитчатки (рис. 3). Также в результате исследования было выяснено, что объем воды в озере составляет 19261 м.

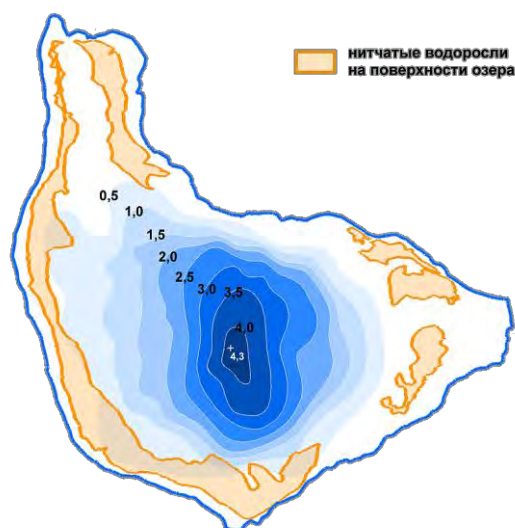


Рисунок 3. Распределение плотных скоплений нитчатки по поверхности озера.

## Определение биомассы

С учетом коэффициентов пересчета на нитчатку очищенную от семян руппии, животных и мусора, а также на дополнительную сушку в центрифуге на высокой скорости, средняя масса пробы в поверхностных плотных скоплениях была равна 35,5 г, в плавающих скоплениях - 1,9 г и в донных - 5,5 г.

Зная среднюю массу нитчатки в пробе, площади покрытия сачка, планктонной сетки и дночерпателя и учитывая площадь распространения каждого типа скоплений нитчатки, мы оценили массу нитчатки в оз. Кисло-Сладком (табл. 2): поверхностная – 3640 кг, донная – 3540 кг, плавающая – 48 кг. Суммарная масса нитчатки по всему озеру составляет 7228 кг, ее плотность в расчете на объем воды в озере – 355 г/м<sup>3</sup>, а в пересчете на площадь – 0,4 кг/м<sup>2</sup>.

Таблица 1. Расчет биомассы нитчатки в оз. Кисло-Сладкое.

Тип нитчатки	Площадь покрытая нитчаткой, м <sup>2</sup>	Число проб	Масса одной пробы, г	Полная масса нитчатки, кг
Поверхностная	3076	20	35,5	3640
Плавающая	4908	24	1,95	48
Донная	12876	15	5,50	3540
Доля нитчатки в неочищенной пробе: 0,64				
Доля сухой нитчатки в пробе: 0,71				

## Нитчатка как место обитания

В процессе работы с нитчаткой в ее зарослях было встречено множество представителей литоральной фауны, в том числе *Gammarus obtusatus*, *Hydrobia ulvae*, *Macoma balthica*, личинки *Chironomus salinarius*, личинки мух-береговушек, водяных жуков и их личинок, *Mytilus edulis* (рис. 4). При микроскопировании были обнаружены нематоды, коловратки двух видов, один из которых относится к роду *Euchlanis*, несколько морфотипов инфузорий, большое количество гетеротрофных простейших, а также множество эпибионтов, включая центрические диатомовые водоросли и цианобактерий (последних идентифицировали по характеру флуоресценции под люминесцентным микроскопом при освещении зеленым светом).

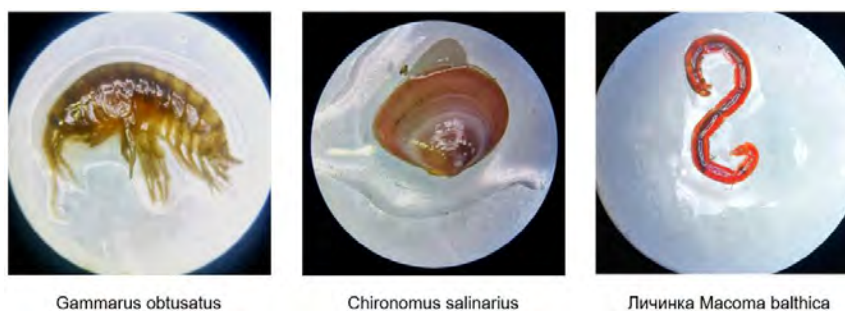


Рисунок 2. Представители макрозообентоса, обитающие в зарослях нитчатки.

## Обсуждение

По нашим расчетам, количество нитчатки в Кисло-Сладком озере составляет 7 тонн, площадь озера составляет 17800 м<sup>2</sup>, таким образом на 1 квадратный метр водного зеркала приходится 0,4 кг сухого веса нитчаток. В пересчете на объем озера (19260 м<sup>3</sup>) – 355 г/м<sup>3</sup>. Проведём сравнительный анализ результатов. Из книги [3] известно, что концентрация биомассы достигает рекордных значений в Азовском море и доходит до 270 г/м<sup>3</sup>. Полученный в ходе данной работы результат для Кисло-Сладкого озера близок к этой величине и немного ее превышает. В эстуарии р. Невы максимальная биомасса *Cladophora glomerata* составляла 550 г сухой массы на 1 м<sup>2</sup> [4]. В гиперсоленом оз. Бакальском в Крыму биомасса *Cladophora* достигала 8-10 кг/м<sup>2</sup> [5]. На побережье Балтийского моря между пос. Рыбачий и г. Балтийск в прибойных местообитаниях в интервале глубин 1,7– 4,5 м заросли кладофоры покрывают от 40 до 90% поверхности дна, где достигают биомассы от 0,67 до 1,04 кг/м<sup>2</sup>, в плотно сомкнутых сообществах на мелководье – 0,12-0,47 кг/м<sup>2</sup>, и на глубинах от 3,5 до 6,7-7 м вдоль побережья Куршской косы скопления неприкрепленных макроводорослей достигают 0,17-0,19 кг/м<sup>2</sup> [6]. В гиперсоленом Центральном Сиваше большие скопления на дне водоема образует *Cladophora siwaschensis* с биомассой около килограмма на квадратный метр, а в поверхностном слое воды – около полукилограмма на квадратный метр [7]. Величина биомассы нитчатых водорослей *Cladophora* в оз. Кисло-Сладкое в пересчете на единицу площади водоема попадает в диапазон этих значений, близка к соответствующим величинам в Балтийском море, но значительно уступает крымским гиперсоленым озерам.

Поверхностные скопления нитчатки находятся в слое ветрового перемешивания, где выделенный ими кислород не может накапливаться в концентрации, превышающей насыщение из-за газообмена с атмосферой. На зону с содержанием кислорода, в 1,7-2,4 раза превышающим насыщение (1-2,5 м), приходятся плавающие и донные скопления нитчаток. Измерения переменной флуоресценции у нитчатки из разных частей скоплений в оз. Кисло-Сладком, выполненные месяцем раньше в ходе студенческой практики кафедры физиологии растений биологического факультета МГУ, указывают на высокую активность фотосинтеза у донных и плавающих скоплений [1]. Мы полагаем, что основным источником растворенного кислорода в слое пересыщения летом 2023 г. являются именно нитчатые водоросли. Такое же предположение было высказано первооткрывателями меромиктического характера озера Кисло-Сладкое А.Н. Пантюлин и С.И. Шапоренко, которые впервые исследовали его в 1994 году, когда на озере также существовали мощные маты из нитчатки [8]. Необходимо заметить, что такие скопления нитчаток появляются на озере не каждый год. По всей видимости, они связаны с эпизодами забросов морской воды, которые приводят к эрозии анаэробной зоны и обогащению пелагиали озера биогенными веществами. В годы со стабильным гидрологическим режимом в этом водоеме основой первичной продукции служит фитопланктон [9] и аноксигенные фототрофные бактерии хемоклина [10].

## Выводы

В августе 2023 г. в прибрежном соленом озере Кисло-Сладкое, частично отделившемся от Белого моря, биомасса скоплений нитчатых водорослей с доминированием *Cladophora*, составляла более 7 тонн. В пересчете на единицу объема воды – 355 г/м<sup>3</sup>, и на единицу площади поверхности озера – 0,4 кг.

Основные скопления нитчатки сконцентрированы на поверхности водоема и на мелководье до глубины 1,5м; донные скопления, по всей вероятности, обеспечивают выработку кислорода, который накапливается в эпилимнионе до концентраций, более чем в 2 раза превышающих насыщение.

### Список литературы:

1. Краснова Е. Д., Воронов Д.А., Мардашова М.В. Многолетняя динамика гидрологической структуры озера Кисло-Сладкого – полуизолированной лагуны на берегу Белого моря // География: развитие науки и образования. Коллективная монография по материалам ежегодной международной научно-практической конференции LXXIII Герценовские чтения, Санкт-Петербург, РГПУ им. А.И. Герцена, 22-25 апреля 2020 года. Т. 1. СПб: Астерион. Изд-во РГПУ им. А.И. Герцена, 2020. С. 319–324.
2. Гаевская Н.С. Определитель Флоры и Фауны Северных морей СССР. М.: Советская Наука, 1948. 740с.
3. Горленко В.М. (ред.). «Мир растений». Т. 2. М.: Просвещение, 1991. 480 с.
4. Губелит Ю. И. Биомасса и первичная продукция *Cladophora glomerata* (L.) Kutz. В эстуарии реки Невы // Биология внутренних вод, 2009, № 4, с. 8-12.
5. Неврова Е.Л., Шадрин Н.В. Донные диатомовые водоросли соленых озер Крыма // Морський екологічний журнал. 2005. Т. IV, №4. С. 61-71.
6. Ковальчук Н.А. Исследование локальных ценопопуляций *Cladophora glomerata* в Калининградской области // Актуальные проблемы ботаники и экологии. Мат-лы междунар. конф. молодых ученых, 13-16 августа 2008 г. Каменец-Подольский. Киев, 2008. С. 29-30.
7. Маслов И.И. Макрофитобентос Сиваша // Научные записки природного заповедника «Мыс Мартыан». 2010. Вып. 1. С. 143-151.
8. Шапоренко С.И., Корнеева Г.А., Пантюлин А.Н., Перцова Н.М. Особенности экосистем отшнуровывающихся водоемов Кандалакшского залива Белого моря // Водные ресурсы. 2005. Т 32, № 5. С. 517–532.
9. Иванова Д. А., Краснова Е. Д., Воронов Д. А., Радченко И. Г. Сезонная динамика альгофлоры стратифицированного озера Кисло-Сладкое, частично изолированного от Белого моря // Океанология. 2022. Т. 62, вып. 2. С.1–15.
10. Savvichev, A.S., Lunina, O.N., Rusanov, I.I. et al. Microbiological and isotopic geochemical investigation of Lake Kislo-Sladkoe, a meromictic water body at the Kandalaksha Bay shore (White Sea). *Microbiology* 83, 56–66 (2014).

УДК 579.26

Рубрика 34.27.23

ИЗУЧЕНИЕ СООБЩЕСТВ МИКРООРГАНИЗМОВ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ВОДЫ  
КАРСКОГО И БАРЕНЦЕВА МОРЕЙ МЕТОДАМИ МЕТАГЕНОМИКИ

STUDY OF MICROBIAL COMMUNITIES ISOLATED FROM SURFACE WATERS OF THE  
KARA AND BARENTS SEAS USING METAGENOMICS ANALYSIS

**Мишустина Екатерина Павловна<sup>1</sup>, Демкина Алина Олеговна<sup>2</sup>, Мамонтов Виктор  
Александрович<sup>3</sup>, Сутормин Дмитрий Александрович<sup>3</sup>, Трофимова Анна Борисовна<sup>3,4</sup>**

<sup>1</sup> *Биологический факультет, Московский Государственный Университет им. М.В. Ломоносова, Москва*

<sup>2</sup> *Биотехнологический кампус, Институт Биоорганической Химии РАН, Москва*

<sup>3</sup> *Лаборатория анализа метагеномов, Сколковский институт науки и технологий, Москва*

<sup>4</sup> *Лаборатория анализа метагеномов, Институт биологии гена РАН, Москва*

Email: [annat@genebiology.ru](mailto:annat@genebiology.ru)

**Mishustina Ekaterina Pavlovna<sup>1</sup>, Demkina Alina Olegovna<sup>2</sup>, Mamontov Viktor  
Aleksandrovich<sup>3</sup>, Sutormin Dmitry Aleksandrovich<sup>3</sup>, Trofimova Anna Borisovna<sup>3,4</sup>**

<sup>1</sup> *Faculty of Biology, Lomonosov Moscow State University, Moscow*

<sup>2</sup> *Biotechnology Campus, Institute of Bioorganic Chemistry Russian Academy of Sciences, Moscow*

<sup>3</sup> *Laboratory of Metagenome Analysis, Skolkovo Institute of Science and Technology, Moscow*

<sup>4</sup> *Institute of Gene Biology Russian Academy of Sciences, Moscow.*

Email: [annat@genebiology.ru](mailto:annat@genebiology.ru)

## **Введение**

Большинство исследований, проводимых в акваториях Арктики, посвящено изучению различных гидрофизических процессов, а также изучению макроорганизмов, в то время как разнообразие микробных сообществ северных морей практически не исследовано [1]. Отчасти это связано с проблемой культивирования микроорганизмов в лабораторных условиях. Однако, современные методы метагеномики позволяют преодолевать это ограничение и дают возможность анализировать состав бактериальных сообществ и его динамику в самых разнообразных биотопах, включая такие труднодоступные и малоизученные, как арктические моря. В ходе экспедиционного рейса на НИС «Дальние Зеленцы» в июле 2023 года были отобраны образцы поверхностного слоя воды акватории Карского и Баренцева морей. Особое внимание было уделено проливу Карские ворота, как месту со сложной гидрофизической динамикой, где основной поток относительно теплой морской воды из Баренцева моря встречается с обратными холодными течениями из Карского моря [2].



## Результаты

С целью изучения микробных сообществ из различных потоков, проходящих через пролив, а также оценки влияния гидрофизических процессов на состав микробных сообществ был проведен отбор образцов поверхностной морской воды вдоль поперечного разреза Карских ворот (рис. 1). Точки сбора проб определялись в соответствии со спутниковыми данными по течениям (рис. 1). По маршруту отбора проб также наблюдались изменения показателей поверхностной температуры и солёности воды, определяемые измерениями на местах.

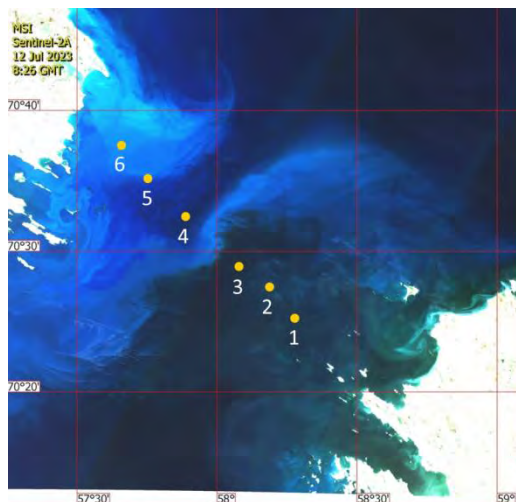


Рис. 1 - Спутниковый снимок пролива Карские ворота с отмеченными станциями отбора проб.

Микроорганизмы из отобранных образцов воды осаждали на фильтрах Sterivex с последующим выделением тотальной ДНК и 16S секвенированием.

Оценка микробного разнообразия, проведенная по итогам секвенирования, показала, что в микробных сообществах пролива Карские ворота преобладают бактерии из семейств Flavobacteriaceae, Rhodobacteriaceae, а также бактерии входящие в кладу I порядка Pelagibacterales (SAR11). Кроме того, в образцах в значимых количествах детектировались бактерии семейств Microbacteriaceae, Pseudoalteromonadaceae, а также бактерии из неизвестных семейств. Проведенный нами сравнительный анализ состава микроорганизмов из проб, отобранных в разных местах поперечного разреза Карских ворот, показал кластеризацию бактериальных сообществ в зависимости от температуры и солёности воды.

## Благодарность

Авторы благодарят Игоря Е. Козлова (зав. Лаборатории морских полярных исследований МГИ РАН) и Д.М. Соловьева (Отдел дистанционных методов исследований МГИ РАН) за предоставленные спутниковые снимки.



### **Финансирование**

Исследование выполнено в рамках проекта Минобрнауки РФ «Атлас микробных сообществ Российской Федерации», №15.ИП.21.0013, а также при поддержке научно-образовательной программы «Плавучий университет» (соглашение № 075-01593-23-06)

### **Список литературы:**

1. Дженюк С. Л. и др. Биология и океанография Северного морского пути: Баренцево и Карское моря. – 2007.
2. Morozov, E. G., Kozlov, I. E., Shchuka, S. A., & Frey, D. I. (2017). Internal tide in the Kara Gates Strait. *Oceanology*, 57(1), 8–18. <https://doi.org/10.1134/S0001437017010106>

УДК 581.526.325:574.52 (261.24)

Рубрика 34.35.33

ПОТЕНЦИАЛЬНО ТОКСИЧНЫЕ ВИДЫ В СТРУКТУРЕ ФИТОПЛАНКТОНА  
ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ КУРШСКОГО ЗАЛИВА БАЛТИЙСКОГО МОРЯ ЛЕТОМ 2023  
ГОДА

POTENTIALLY TOXIC SPECIES IN THE STRUCTURE OF PHYTOPLANKTON IN THE  
COASTAL ZONE OF THE CURONIAN LAGOON OF THE BALTIC SEA IN SUMMER  
2023

Ланге Евгения Кирилловна<sup>1</sup>, Щербаков Сергей Александрович<sup>1,2</sup>, Балашова Алина  
Владимировна<sup>3</sup>

<sup>1</sup> *Институт океанологии имени П.П. Ширшова РАН, Москва*

<sup>2</sup> *Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининград*

<sup>3</sup> *Южно-Уральский государственный гуманитарно-педагогический университет*

Lange Evgeniia Kirillovna<sup>1</sup>, Shcherbakov Sergey Alexandrovich<sup>1,2</sup>, Balashova Alina  
Vladimirovna<sup>3</sup>

<sup>1</sup> *Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow*

<sup>2</sup> *Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad*

<sup>3</sup> *South Ural State Humanitarian Pedagogical University*

## Введение

Куршский залив является водоемом высшей категории рыбохозяйственного значения, его побережье и акватория активно используются в рекреационных целях, поэтому контроль качества вод залива не теряет свою актуальность. В связи с глобальными климатическими изменениями в гиперэвтрофном Куршском заливе участились и стали продолжительнее периоды вредоносного цветения цианобактерий, которое ухудшает качество воды в водоеме, может приводить к гибели гидробионтов и отравлению животных, негативно влиять на здоровье населения [Ежова и др., 2012; Герб и др., 2019]. Регулярное летне-осеннее цветение воды в Куршском заливе происходит при вегетации потенциально токсичных видов родов *Aphanizomenon*, *Dolichospermum/Anabaena*, *Microcystis*, *Planktothrix agardhii*, способных к синтезу гепатотоксичных микроцистинов, наличие которых в Куршском заливе было подтверждено в серии работ [Ежова и др., 2012; Белых и др., 2013; Смирнова, Ежова, 2015; Overlingé et al., 2021]. Локализация пятен цветения вдоль Куршской косы часто неравномерна и во многом зависит от абиотических условий в экосистеме залива. Цель данной работы – оценить значение потенциально токсичных видов цианобактерий в структуре фитопланктона западной прибрежной зоне Куршского залива в июле 2023 г.

## Материалы и методы

В июле 2023 г пробы фитопланктона (1 л) были отобраны батометром в слое 0-0,5 м на трех стандартных мониторинговых станциях в Куршском заливе, расположенных вдоль одноименной косы: ст. 440 (п. Лесное), ст. 439 (п. Рыбачий) и ст. 407 (п. Морское). Пробы

фиксируются модифицированным раствором Люголя, сгущались методом седиментации и подсчитывались в камере Нахотта объемом 0,05 мл под микроскопом Leica CME (400x). За счетную единицу принималась клетка, индивидуальная биомасса рассчитывалась стандартным счетно-объемным методом [Руководство..., 1992]. К доминантным таксонам относили те, которые составляли 10 % и более от общей биомассы фитопланктона.

## Результаты

В июльском фитопланктоне исследованной прибрежной акватории Куршского залива обнаружено 62 таксона рангом ниже рода из 7 систематических групп. По таксономическому разнообразию преобладали зеленые водоросли (26), далее шли цианобактерии (15), диатомовые (10), харовые (6), криптофитовые и динофитовые (по 2) и желтозеленые (1 таксон). Альфа-разнообразие фитопланктона было сравнительно высоким на ст. 440 – 52 таксона, на остальных – менее 40 (табл. 1).

По численности повсеместно доминировали цианобактерии, из них виды рода *Cyanodictyon* (преимущественно *C. imperfectum*). Основу биомассы также определяли цианобактерии (до 38 % суммарного показателя); на ст. 440 превалировали *Planktothrix agardhii*, на ст. 439 и 407 – *Microcystis* (суммарно) (табл. 1). Среди обнаруженных видов цианобактерий более половины относилось к потенциально токсичным видам, из них 6 входили в число тех, кто вызывает цветение воды и регулярно входит в комплекс доминантов фитопланктона в летнем и осеннем сезонах [Ланге, 2011, 2013; Герб и др., 2019].

Таблица 1. Структура биомассы фитопланктона в прибрежной зоне западного берега Куршского залива в июле 2023 г.

Станция	Число таксонов	Биомасса, мг/м <sup>3</sup> (%)					Потенциально токсичные виды, %
		Cyanophyta	Diatomophyceae	Chlorophyta	Charophyta	Прочие	
440	52	411(28,4)	129 (8,9)	317 (21,9)	536 (37)	55 (3,4)	<i>Planktothrix agardhii</i> 10,8; <i>Microcystis</i> ( <i>M. viridis</i> , <i>M. wesenbergii</i> ), 2,3; <i>Aphanizomenon flosaquae</i> 0,8; <i>Oscillatoriales</i> spp., 3,1
439	35	479 (28,6)	192 (11,5)	692 (41,3)	290 (17,3)	28,9 (1,7)	<i>Microcystis</i> ( <i>M. viridis</i> , <i>M. aeruginosa</i> ), 11,0; <i>Oscillatoriales</i> spp., 0,7; <i>P. agardhii</i> , 8,5
407	28	1129 (37,1)	975 (29,4)	979 (29,6)	60 (1,8)	70 (2,1)	<i>Microcystis</i> ( <i>M. viridis</i> , <i>M. wesenbergii</i> ), 26,5; <i>Planktothrix agardhii</i> , 0,5; <i>Oscillatoriales</i> spp., 0,7; <i>Aph. flosaquae</i> , 1,5

Начиная с 2017 г. (кроме 2018 г.) нитчатая цианобактерия *P. agardhii* ежегодно в разные сезоны доминировала в прибрежном фитопланктоне на участке акватории между пп. Лесное–Морское. По многолетним данным в июле средняя биомасса этого вида варьировала в пределах от 2 до 5,6 г/м<sup>3</sup>. В июле 2023 г. аналогичная биомасса составила всего 0,16 г/м<sup>3</sup>, что было самой низкой величиной за последние 6 лет. Количественное развитие р. *Microcystis* было слабо выражено на ст. 440 и 439 (0,11 г/м<sup>3</sup>) и было заметно выше на ст. 407 (0,89 г/м<sup>3</sup>). Цианобактерия *Aphanizomenon flosaquae* – одна из основных доминантов летне-осеннего фитопланктона Куршского залива в прошлые годы [Ланге, 2013], в период 2017-2020 гг. [Багиров и др., 2021] и в 2023 г. значимой роли в фитопланктоне не играла.

Известно, что популяция *Aphanizomenon* из Балтийского моря и Куршского залива не продуцирует микроцистины, это касается и штаммов цианобактерий *Woronichinia compacta* и *M. wesenbergii*, выделенных из природных популяций. Генетические анализы показывают, что, по крайней мере, часть популяции *P. agardhii* в Куршском заливе принадлежит к продуцентам микроцистинов [Overlingé et al., 2021].

Кроме цианобактерий на всех участках за счет вегетации видов рода *Pediastrum* преобладали зеленые; на ст. 440 и 439 – харофитовые, доминант *Mougeotia* spp., на ст. 439 и 407 – диатомовые, доминант *Actinocyclus normanii* (табл. 1).

Распределение количественных показателей фитопланктона по станциям наблюдения было неравномерным, что в первую очередь касалось величины биомассы, которая на участке пп. Лесное-Рыбачий практически не варьировала (1,4-1,6 г/м<sup>3</sup>), а максимум отмечен на ст. 407 (3,3 г/м<sup>3</sup>).

В период съемки отмечено неравномерное распределение структурных и функциональных показателей фитопланктона в прибрежной части Куршского залива. Обращает на себя внимание различие таксономического разнообразия фитопланктоценозов станций (табл. 1). Биотоп ст. 440 отличался зарослями тростника, выполняющие барьерную функцию при нагоне из открытой части залива разлагающейся после цветения биомассы микроводорослей; ст. 439\* расположена в Черногорской бухте и защищена от открытой части молотом; фитоценоз ст. 407 находится под влиянием водных масс акватории залива. Во время съемки ветер дул преимущественно с юго-юго-запада, т.е. происходило перемещение вод вдоль косы от ее корня в северном направлении, от ст. 440 к ст. 407, на которой отмечено большое скопление детрита, вероятно, привнесенного сюда из других частей залива и снижение  $\alpha$ -разнообразия микроводорослей (рис. 1).

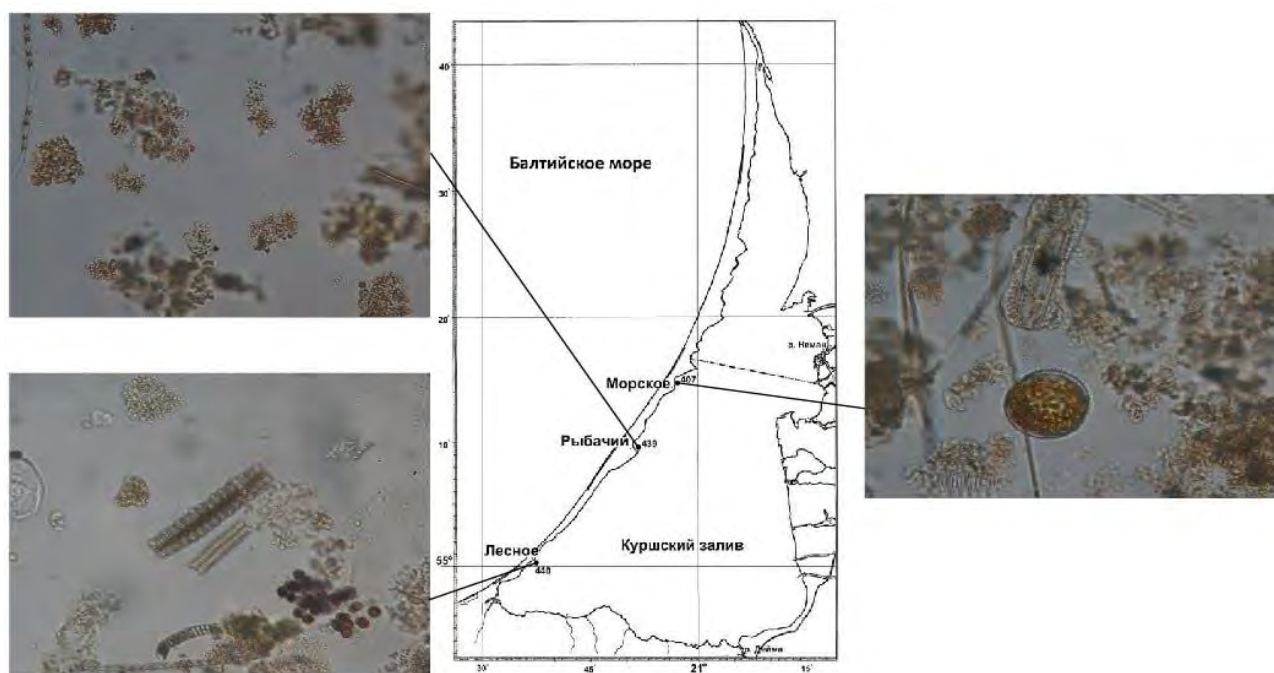


Рисунок 1. Динамика содержания детрита в пробах фитопланктона на станциях мониторинга в Куршском заливе в июле 2023 г.

Биомасса доминантов и суммарная биомасса фитопланктона были ниже среднемноголетних величин. Согласно проведенному в те же сроки исследованию флуоресценции хлорофилла-а в фитопланктоне, квантовая эффективность фотосистемы II, отражающая функциональное состояние фотосинтетического аппарата микроводорослей, на ст. 407 характеризовалась

низкими показателями, которые увеличивались на ст. 440 и 439, что согласовывалось с данными по фитопланктону.

### **Выводы**

В июле 2023 г. в прибрежном фитопланктоне Куршского залива доминировали цианобактерии, диатомовые, зеленые и харовые водоросли. Комплекс доминантов составляли типичные для летнего сезона виды фитопланктона. Потенциально токсичные цианобактерии были встречены на всех исследованных прибрежных станциях. На ст. 440 (п. Лесное) доминировала нитчатая *Planktothrix agardhii*, на остальных станциях (пп. Рыбачий–Морское) – р. *Microcystis* (суммарно). Неравномерное распределение показателей фитопланктона, вероятно, определялось перемещением водных масс вдоль косы и разной степенью дисфункции фотосинтетического аппарата микроводорослей.

### **Финансирование**

Отбор проб проведен при поддержке VI Международной летней школы «Береговая зона моря: исследования, управление и перспективы», обработка и анализ полученных данных выполнены в рамках госзадания ИО РАН (тема № FMWE-2021-0007).

### **Список литературы:**

1. Багиров Н.Э., Ежова Е.Е., Ланге Е.К., Полунина Ю.Ю., Герб М.А., Володина А.А. Результаты экологического мониторинга прибрежной зоны Куршского залива на территории национального парка «Куршская коса» в 2020 году // Проблемы изучения и охраны природного и культурного наследия национального парка «Куршская коса»: сб. науч. статей. Вып. 17 / Сост. И.П. Жуковская. Калининград: Изд-во БФУ им. И. Канта. – 2021. – С. 144–189.
2. Белых О.И., Дмитриева О.А., Гладких А.С., Сороковикова Е.Г. Идентификация токсиногенных цианобактерий рода *Microcystis* в Куршском заливе Балтийского моря // Океанология. – 2013. – Вып. 53(1). – С. 78–87.
3. Волошко Л.Н., Плющ А.В., Титова Н.Н. Токсины цианобактерий (*Cyanophyta*) // Альгология. – 2008. – Т. 18. – № 1. – С. 3–21.
4. Герб М.А., Ежова Е. Е., Ланге Е.К., Володина А. А., Кочешкова О.В., Родионова Н.В., Смирнова М.М. Характеристика состояния биоты литоральной зоны Куршского залива на территории национального парка «Куршская коса» в 2018 году // Проблемы изучения и охраны природного и культурного наследия национального парка «Куршская коса»: сб. науч. статей / Сост. И.П. Жуковская. Калининград: Изд-во БФУ им. И. Канта. – 2019. – Вып. 15. – С. 82–109.
5. Ежова Е.Е., Ланге Е.К., Русских Я.В., Жаковская З.А., Чернова Е.Н. Вредоносные цветения микроводорослей в Куршском заливе Балтийского моря в 2008-2011 гг. // Проблемы изучения и охраны природного и культурного наследия национального парка «Куршская коса». Калининград: Изд-во БФУ им. И. Канта. – 2012. – Вып. 8 – С. 83–95.
6. Ланге Е.К. Изменение структуры фитопланктона Куршского залива в начале XXI века // Проблемы изучения и охраны природного и культурного наследия национального парка «Куршская коса». Калининград: Изд-во БФУ им. И. Канта. – 2011. – №7. – С. 59–78.
7. Ланге Е.К. Фитопланктонный комплекс российской части Куршского залива (2001–2007 гг.) // Известия КГТУ. – 2013. – № 28. – С. 87–94.
8. Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем / Под ред. В.А. Абакумова. СПб.: Гидрометеиздат. – 1992. – 318 с.

9. Смирнова М.М., Ежова Е.Е. Присутствие токсичных метаболитов цианобактерий из группы микроцистинов в Куршском заливе Балтийского моря в 2011-2014 гг. // *Pontus Euxinus*. – 2015. – С. 161–163.
10. Overlingé D., Toruńska-Sitarz A., Katarżyte M., Pilkaitytė R., Gyraitė G., Mazur-Marzec H. Characterization and Diversity of Microcystins Produced by Cyanobacteria from the Curonian Lagoon (SE Baltic Sea) // *Toxins* 2021, 13, 838.



УДК 581.132

Рубрика 34.35.33

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ХЛОРОФИЛЛА “а” В КАРСКОМ МОРЕ И СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ  
БАРЕНЦЕВА МОРЯ В ИЮЛЕ 2023 Г.

CHLOROPHYLL *a* DISTRIBUTION IN THE KARA SEA AND THE NORTHERN PART  
OF THE BARENTS SEA IN JULY 2023.

**Сашова Ольга Алексеевна<sup>1</sup>, Коновалова Ольга Петровна<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Москва*

<sup>2</sup> *ООО "Центр морских исследований МГУ им. М. В. Ломоносова", Москва*

**Sashova Olga Alekseevna<sup>1</sup>, Konovalova Olga Petrovna<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Lomonosov Moscow State University, Moscow*

<sup>2</sup> *Marine Research Center of Lomonosov Moscow State University, Moscow*

### **Введение**

Карское море относится к эпиконтинентальным шельфовым морям. Свойства вод Карского моря определяются взаимодействием материкового стока, поверхностных вод арктического бассейна из района желоба Св. Анны и вод Баренцева моря, поступающих через пролив Карские ворота. Особенно важную роль играет пресноводный сток, 90% которого приходится на долю Оби и Енисея [Завьялов и др., 2015]. Объём этого стока по разным оценкам составляет 981-1300 км<sup>3</sup> в год, что составляет более 40% суммарного речного стока в Арктический океан [Зацепин и др., 2010 а; Демидов и др., 2021]. До 40% площади Карского моря может быть занято опресненными водами, которые распространяются в верхнем слое толщиной порядка 5-15 м. [Pavlov, Pfirman, 1995]. Состояние пелагических систем во многом определяется гидрофизическими и гидрохимическими условиями, складывающимися под воздействием речного стока [Суханова и др., 2010]. По данным температуры и солёности акваторию Карского моря можно разделить на несколько районов: юго-западный район (пролив Карские ворота), зона воздействия речного стока Оби и Енисея, западный и восточный районы [Demidov et al., 2021].

Пролив Карские ворота располагается между о. Южный архипелага Новая Земля и о. Вайгач и является частью трассы южного маршрута Северного Морского пути. Основной поток вод в проливе образован тёплыми трансформированными атлантическими водами и направлен из Баренцева моря в Карское. Также существует слабое поверхностное течение из Карского моря вдоль юго-восточной оконечности Новой Земли [Завьялов и др., 2015; Морозов и др., 2017]. Происхождением вод обусловлен видовой состав фитопланктонных сообществ. По данным Житиной и Ильяш [2013] флористический состав фитопланктона юго-западной части Карского моря схож с фитопланктоном юго-восточной части Баренцева моря и насчитывает 221 вид, среди которых 60% составляют диатомовые, а 36% – динофитовые водоросли. В литературе отмечено, что концентрация хлорофилла в Карских воротах ранней весной на порядок выше, чем в центральной и юго-восточной частях Карского моря [Мошаров и др., 2018].

Западная часть Карского моря включает глубоководные районы желоба Св. Анны и Новоземельской впадины. В районе Новоземельской впадины отмечено присутствие видов, характерных для открытых вод Арктики, что свидетельствует о наличии водообмена между Арктическим бассейном и юго-западной частью Карского моря [Зацепин и др., 2010 б].

Баренцево море считается самым продуктивным среди шельфовых морей Арктики, что связано с присутствием разнообразных пелагических и донных фитоценозов и с особыми условиями потока и трансформации биогенных элементов [Макаревич, 2012]. Прикромочное цветение вносит существенный вклад в годовую первичную продукцию, на её долю приходится 50-65% [Дружкова, 2018]. По данным Паутовой с соавторами [2019] в северной части Баренцева моря флористический состав фитопланктона насчитывает 76 видов, из которых 54% составляют динофитовые и около 40% – диатомовые водоросли. В сентябре в данном районе отмечена невысокая первичная продукция [Мошаров, 2010].

Целью данной работы являлось изучение распределения хлорофилла в поверхностном слое в проливе Карские ворота, в западной части Карского моря и в северной части Баренцева моря.

### Материалы и методы

Материал был собран в ходе экспедиции НИС «Дальние Зеленцы» по программе «Плавучий университет» МФТИ-ИО РАН в июле 2023 года. Район исследований включал пролив Карские ворота (I), разрушенное ледовое поле в западной части Карского моря (II) и прикромочную зону Баренцева моря (IIIa, IIIb) (рис. 1). В проливе (район I) станции располагались на открытой воде. В районах II, IIIa и IIIb станции располагались среди льдин и по мере удаления от ледяных полей, чтобы проследить изменение солёности. Расстояние между станциями составляло не менее 2,5 миль.

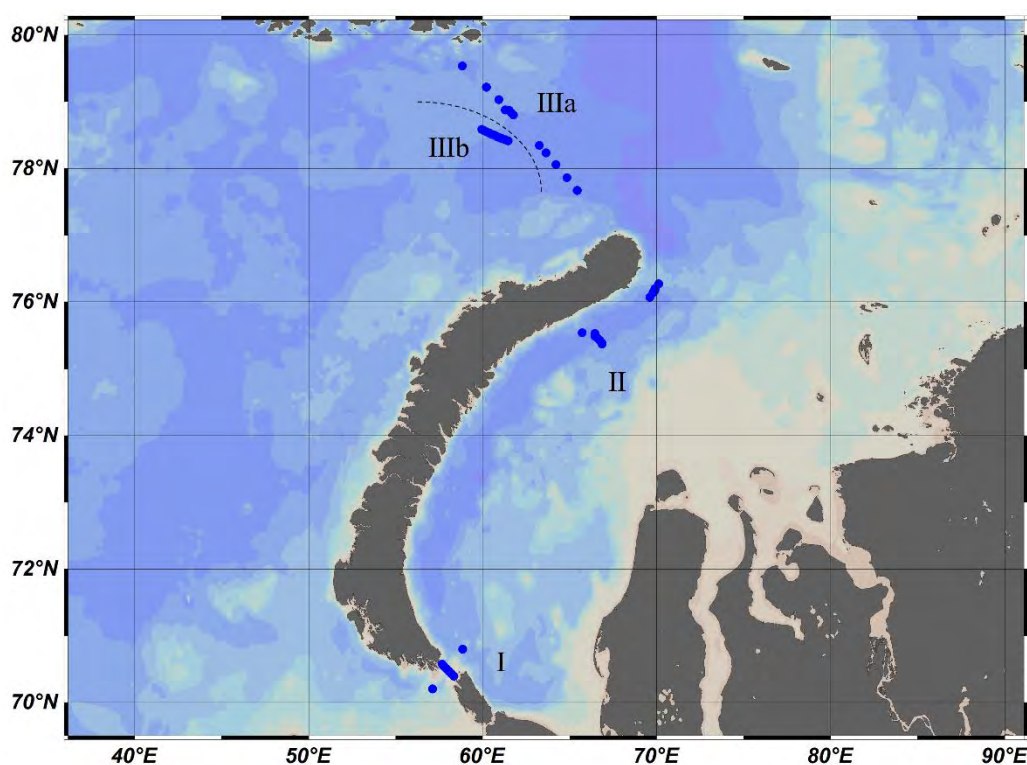


Рис. 1. Схема расположения станций в Карском и Баренцевом морях в июле 2023 г.

В ходе работы было собрано 52 пробы для определения концентрации хлорофилла *a* на 47 станциях с поверхностного горизонта. Из 52 проб 5 относились к ледовым. Фрагменты льда были собраны с поверхности воды ихтиологической сетью, затем растоплены в темноте в стерильных контейнерах с добавлением профильтрованной морской воды. Исходные пробы объемом 1 л были профильтрованы с помощью лабораторного насоса Integra DoseIt и мембранных фильтров с диаметром пор 0.2 мкм, фильтры были заморожены при -20°C.

Определение содержания хлорофилла *a* и феофитина *a* проводили флуориметрическим методом. Пигменты экстрагировали 90%-м водным раствором ацетона, светорассеивающую взвесь осаждали центрифугированием. Флуоресценцию полученных экстрактов измеряли на спектрофлуориметре AvaSpec (Avantes BV) до и после подкисления раствором соляной кислоты из расчета 30 мкл 0,1N HCL на 1 см<sup>3</sup> экстракта. Спектрофлуориметр был предварительно откалиброван по раствору аналитического стандарта хлорофилла *a* (Sigma Aldrich) в 90%-м ацетоне. Содержание хлорофилла *a* в калибровочном растворе определяли спектрофотометрически [Holm-Hansen, Riemann, 1978].

Табл. 1. Распределение температуры, солёности и хлорофилла «а» в Карском и Баренцевом морях в июле 2023 г.

Станции	Температура, °C	Солёность, PSU	Концентрация хлорофилла, мг/м <sup>3</sup>
Пролив Карские ворота (I)			
1, 17–22, 45	9,3±0,4	31,2±0,6	0,17±0,03
Западная часть Карского моря (II)			
61–69, 71, 72, 75, 77–80	3,8±0,4	20,7±0,9	0,11±0,02
Баренцево море, разрез от Новой Земли до Земли Франца-Иосифа (IIIa)			
83–93, 95	1,7±0,5	31,6±0,3	0,05±0,01
Баренцево море, разрез через ледовый вихрь (IIIb)			
96–106	1,9±0,3	31,1±0,2	0,06±0,01

### Результаты

Температура и солёность по районам существенно различались. В Карских воротах температура изменялась в пределах от 8,1 до 10,8°C, составляя в среднем 9,3±0,4°C. Солёность варьировала от 27,2 до 32,2 PSU, в среднем – 31,2±0,6 PSU (табл. 1). В западной части Карского моря значения температуры и солёности были ниже и изменялись в диапазоне от 1,2 до 6,9°C (среднее – 3,8±0,4°C) и от 10,9 до 24,9 PSU (среднее – 20,7±0,9 PSU), соответственно. В северной части Баренцева моря в районе IIIa температура варьировала от -0,5 до 4,3°C, составляя в среднем 1,7±0,5°C, солёность изменялась в пределах 30,4–34,5 PSU, в среднем – 31,6±0,3 PSU. В районе IIIb значения температуры и солёности составляли от 0,4 до 3,9°C (в среднем 1,9±0,3°C) и от 30,2 до 32,2 PSU (в среднем 31,1±0,2 PSU), соответственно. Существенных различий по температуре и солёности в районах IIIa и IIIb не выявлено. В проливе Карские ворота концентрация хлорофилла в поверхностном горизонте снижалась при продвижении с юга на север и варьировала от 0,06 до 0,28 мг/м<sup>3</sup>, составляя в среднем 0,17±0,03 мг/м<sup>3</sup>. В западной части Карского моря концентрация хлорофилла изменялась в пределах от 0,01 до 0,34 мг/м<sup>3</sup> (среднее – 0,11±0,02 мг/м<sup>3</sup>). В северной части Баренцева моря концентрация хлорофилла была на порядок ниже, чем в предыдущих областях. В районе IIIa значения изменялись в диапазоне от 0,01 до 0,18 мг/м<sup>3</sup> (среднее – 0,05±0,01 мг/м<sup>3</sup>), в районе IIIb показатели варьировали от 0,04 до 0,14 мг/м<sup>3</sup> (среднее – 0,06±0,01 мг/м<sup>3</sup>). По результатам корреляционного анализа выявлена положительная корреляция между концентрацией хлорофилла и температурой ( $r_s=0,47$ ;  $p<0,001$ ). Концентрация хлорофилла была обратно пропорциональна солёности, однако эта зависимость была недостоверна ( $r_s=-0,14$ ;  $p>0,05$ ).

Полученные результаты свидетельствуют о низкой концентрации хлорофилла *a* в поверхностном горизонте в исследованных районах в июле 2023 г. По литературным данным в районе I в марте 2018 г. концентрация хлорофилла *a* в поверхностном горизонте была более чем на порядок выше [Мошаров и др., 2018], в районе II в августе-сентябре 2007 и 2018 гг. концентрация была выше в 4-12 раз [Мошаров, 2010; Demidov et al., 2021].

Помимо измерения хлорофилла, в ходе экспедиции было собрано 52 пробы фитопланктона и 14 проб микрофитобентоса. Предполагается проследить изменение видового состава, количественных показателей сообществ микроводорослей в разных районах Карского и Баренцева морей.

### **Благодарность**

Автор выражает благодарность участникам экспедиции за помощь в сборе материала и измерение гидрологических показателей. Работа выполнена в рамках научно-образовательной программы «Плавающий университет» (соглашение № 075-01593-23-06).

### **Список литературы:**

1. Демидов А. Б., Гагарин В. И., Еремеева Е. В., Артемьев В. А., Полухин А. А., Щука С. А., Григорьев А. В., Храпко А. Н., Флинт М. В. Вертикальная изменчивость первичной продукции и хлорофилла в Карском море в середине лета: вклад подповерхностных максимумов в интегральные величины // *Океанология*. – 2021. – Т. 61, № 5. – С. 737-752.
2. Дружкова Е. И. Нанопланктон ледовой прикромочной зоны Баренцева моря в летний период 2017 года // *Труды Кольского научного центра РАН*. – 2018. – №. 4-5 (9). – С. 29-44.
3. Житина Л. С., Ильяш Л. В. Состав и обилие фитопланктона Байдарацкой губы Карского моря в летний и осенний периоды // *Вестник Московского университета. Серия 16. Биология*. – 2013. – №. 2. – С. 22-26.
4. Завьялов П. О., Ижицкий А. С., Осадчиев А. А., Пелевин В. В., Грабовский А. Б. Структура термохалинных и биооптических полей на поверхности Карского моря в сентябре 2011 г // *Океанология*. – 2015. – Т. 55, № 4. – С. 514.
5. а Зацепин А. Г., Завьялов П. О., Кременецкий В. В., Поярков С. Г., Соловьев Д. М. Поверхностный опресненный слой в Карском море // *Океанология*. – 2010. – Т. 50, № 5. – С. 698-708.
6. б Зацепин А. Г., Морозов Е. Г., Пака В. Т., Демидов А.Н., Кондрашов А.А., Корж А.О., Кременецкий В.В., Поярков С.Г., Соловьев Д.М. Циркуляция вод в юго-западной части Карского моря в сентябре 2007 г // *Океанология*. – 2010. – Т. 50, № 5. – С. 683-697.
7. Макаревич П. Р. Первичная продукция Баренцева моря // *Вестник Мурманского государственного технического университета*. – 2012. – Т. 15. – №. 4. – С. 786-793.
8. Морозов Е. Г., Козлов И. Е., Щука С. А., Фрей Д. И. Внутренний прилив в проливе Карские Ворота // *Океанология*. – 2017. – Т. 57, № 1. – С. 13-24.
9. Мошаров С. А. Распределение первичной продукции и хлорофилла «а» в Карском море в сентябре 2007 г // *Океанология*. – 2010. – Т. 50. – №. 6. – С. 933-941.
10. Мошаров С. А., Сажин А. Ф., Дружкова Е. И., Хлебопашев П. В. Структурные характеристики и продуктивность фитоплана юго-западной части Карского моря ранней весной // *Океанология*. – 2018. – Т. 58. – №. 3. – С. 420-430.
11. Паутова Л. А., Силкин В. А., Кравчишина М. Д., Якубенко В. Г., Чульцова А. Л. Летний фитопланктон северной части Баренцева моря (75-80° N) // *Экология гидросферы*. – 2019. – №. 2 (4). – С. 8-19.

12. Суханова И. Н., Флинт М. В., Мошаров С. А., Сергеева В. М. Структура сообществ фитопланктона и первичная продукция в Обском эстуарии и на прилежащем Карском шельфе // *Океанология*. – 2010. – Т. 50, № 5. – С. 785-800.
13. Demidov A. B., Sukhanova I. N., Belevich T. A., Flint M. V., Gagarin V. I., Sergeeva V. M., Eremeeva E. V., Fedorov A. V. Size-fractionated surface Phytoplankton in the Kara and Laptev Seas: Environmental control and spatial variability // *Marine Ecology Progress Series*. – 2021. – Т. 664. – С. 59-77.
14. HolmHansen O., Riemann B. Chlorophyll a determination: improvements in methodology // *Oikos*. 1978. V. 30. P. 438–447.
15. Pavlov V. K., Pfirman S. L. Hydrographic structure and variability of the Kara Sea: Implications for pollutant distribution // *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*. – 1995. – Т. 42. – №. 6. – С. 1369-1390.



УДК 574.34

Рубрика 34.35.17

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫЖИВАЕМОСТИ СЕГОЛЕТОК МАКОМЫ *MACOMA BALTHICA* В ЗИМНИЙ ПЕРИОД НА ЛИТОРАЛИ БЕЛОГО МОРЯ

SURVIVAL OF *MACOMA BALTHICA* JUVENILES DURING THE WINTER IN THE WHITE SEA TIDAL ZONE

**Яценко Илья Андреевич<sup>1,2</sup>, Новикова Софья Константиновна<sup>1,3</sup>, Назарова София Александровна<sup>1,4</sup>, Червякова Наталья Андреевна<sup>1</sup>, Сафонов Михаил Валерьевич<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Туристический центр “Полярный круг”, д. Нильмогуба, Карелия

<sup>2</sup> Новая Школа, Москва

<sup>3</sup> Хорошкола, Москва

<sup>4</sup> ЗИН РАН, Санкт-Петербург

**Iashchenko Ilya Andreevich<sup>1,2</sup>, Novikova Sofya Konstantinovna<sup>1,3</sup>, Nazarova Sophia Aleksandrovna<sup>1,4</sup>, Chervyakova Natalia Andreevna<sup>1</sup>, Safonov Mikhail Valeryevich<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> “The Arctic Circle” center, Nilmaguba, Karelia

<sup>2</sup> School “New School”, Moscow

<sup>3</sup> School “Horoshkola”, Moscow

<sup>4</sup> ZIN RAS, St. Petersburg

## Введение

В Белом море *Macoma balthica* (L.) относится к наиболее многочисленным обитателям илисто-песчаных пляжей. Эти моллюски являются одним из основных пищевых объектов для многих видов рыб и птиц Белого моря (Азаров, 1963; Перцов, 1963; Гольцев и др., 1997).

Массовость и доступность для изучения позволяет использовать данный вид как удобный модельный вид при анализе закономерностей развития поселений двустворчатых моллюсков. Именно поэтому локальные скопления маком Белого моря широко используются как объекты мониторинговых исследований, которые проводились и проводятся на всех крупных биологических стационарах на Белом море (Семенова, 1974; Максимович и др., 1991; Genelt-Yanovskiy et al., 2018). В результате к настоящему моменту получены многолетние ряды данных, характеризующих популяционные показатели маком на Белом море.

*M. balthica* имеет планктонную личинку, поэтому одним из важных фактов, влияющим на обилие моллюсков, является пополнение поселения молодью. В то же время показано, что массовое пополнение может быть практически полностью элиминировано к следующему лету (Максимович, Герасимова, 2004). Аналогичная ситуация в Северном море оказалась связана с прессом хищников (Beukema et al., 1998; Strasser, Günther, 2001; Hiddink et al., 2002), в то время как в Белом море основным действующим фактором предполагают температуру и зимний ледостав (Genelt-Yanovskiy et al., 2018). Это хорошо согласуется с общеэкологическими представлениями о том, что в высоких широтах абиотические факторы оказывают более сильное воздействие на популяции видов, а в более низких широтах на первый план выходят



биотические взаимодействия. Тем не менее, в последние годы для нескольких видов в Белом море было показано, что динамика их пополнения определяется именно прессом хищников (Yakovis, Artemieva, 2019; Чава и др., 2020; Yakovis, Artemieva, 2021). В связи с этим возник вопрос, насколько пресс хищников может быть значим для популяций маком.

В качестве пилотных исследований мы провели наблюдения за обилием спата *Macoma balthica* в течении осенне-зимнего периода для того, чтобы разделить осень и зиму. Наша гипотеза состояла в том, что осенью еще нет низких температур и льда, и, если значительное уменьшение численности маком начинается в осенний период, это дает основания предполагать воздействие хищников и требует более детальных исследований.

## Методика

Для данного исследования был выбран полигон в районе туристического центра “Полярный круг” на литорали острова Оленевский (N 66,521150; E 33,124285). Всего было произведено 4 отбора проб в разное время года: в июне, сентябре, ноябре 2022 года, и в мае 2023. Пробы отбирали с 3 горизонтов литорали: верхнего, среднего, нижнего. В июне для описания поселения на выбранном полигоне было отобрано 15 проб (по 5 с каждого горизонта) до глубины 5 см с площади 0,09м<sup>2</sup>. Данные пробы промывали через сито с диаметром ячеей 1 мм. В последующие даты отбирали по 5 проб площадью 0,03м<sup>2</sup> до глубины 5 мм для исследования численности спата. Их промывали на сите с диаметром ячеей 0,25 мм. Из проб выбирали все особи *M. balthica*, и под биноклем измеряли их длину раковины.

## Результаты

Средняя численность маком в исследованном поселении колебалась от  $127 \pm 40$  экз/м<sup>2</sup> в среднем горизонте литорали до  $206 \pm 174$  экз/м<sup>2</sup> в верхнем горизонте, где мозаичность распределения была выражена особенно сильно. Размерная структура моллюсков (рис. 1) различалась. Так, в нижнем горизонте литорали она была мономодальной с преобладанием особей размером 6 мм, а в верхнем и среднем горизонтах - бимодальной, причем в верхнем пики численности составляли моллюски меньших размеров. Таким образом, выбранное поселение представляет собой достаточно характерное для Белого моря по структуре и численности (Назарова, 2016).

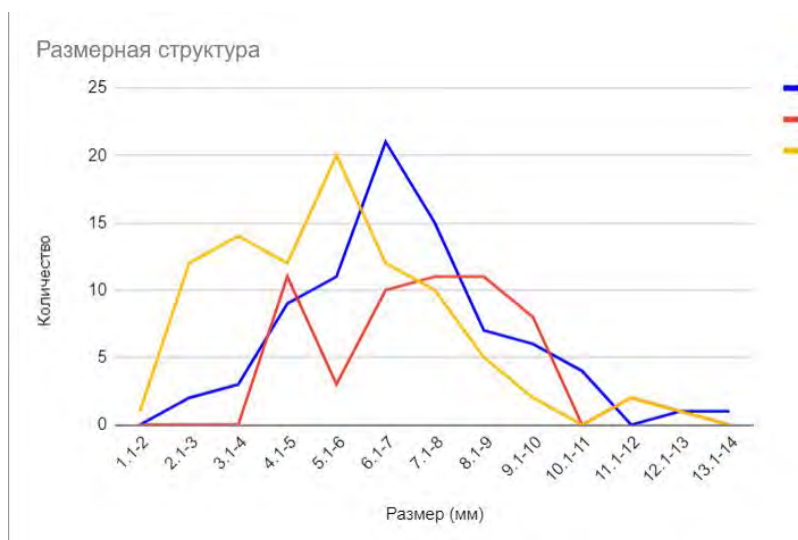


Рисунок 1. Размерная структура поселения *Macoma balthica* на острове Оленевский. Синяя линия - нижний горизонт, красная - средний горизонт, желтая - верхний горизонт.

Размер спата маком в сентябре 2022 года размер составлял от 0,5 до 1,1 мм. При этом к маю сеголетки (перезимовавшие особи маком) были размером от 0,5 до 1,5 мм. По-видимому, особи значительно различаются по начальной скорости роста. Интересно, что к маю особи размером 0,5-0,6 мм остались только в нижнем горизонте литорали. Это может говорить о более высоких скоростях роста в среднем и верхнем горизонтах, что может объясняться большим прогревом воды осенью в более мелководных частях литорали.

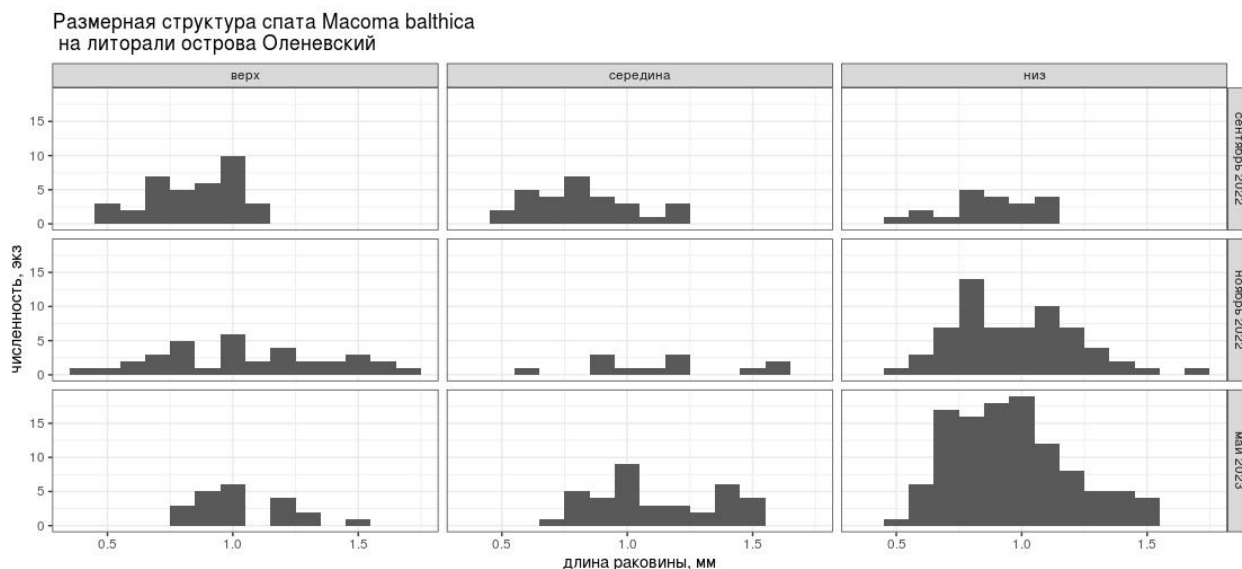


Рисунок 2. Размерная структура спата *Macoma balthica* на литорали острова Оленевский.

Анализ динамики численности показал сеголеток отсутствие достоверных изменений в верхнем и среднем горизонтах литорали, и увеличение численности в нижнем (рис. 3). Возможно, это говорит о миграции маком ниже по литорали в зимний период, что может быть связано с более защищенными условиями - меньше осушка и воздействие холодного зимнего воздуха, меньше истирающее воздействие льда.

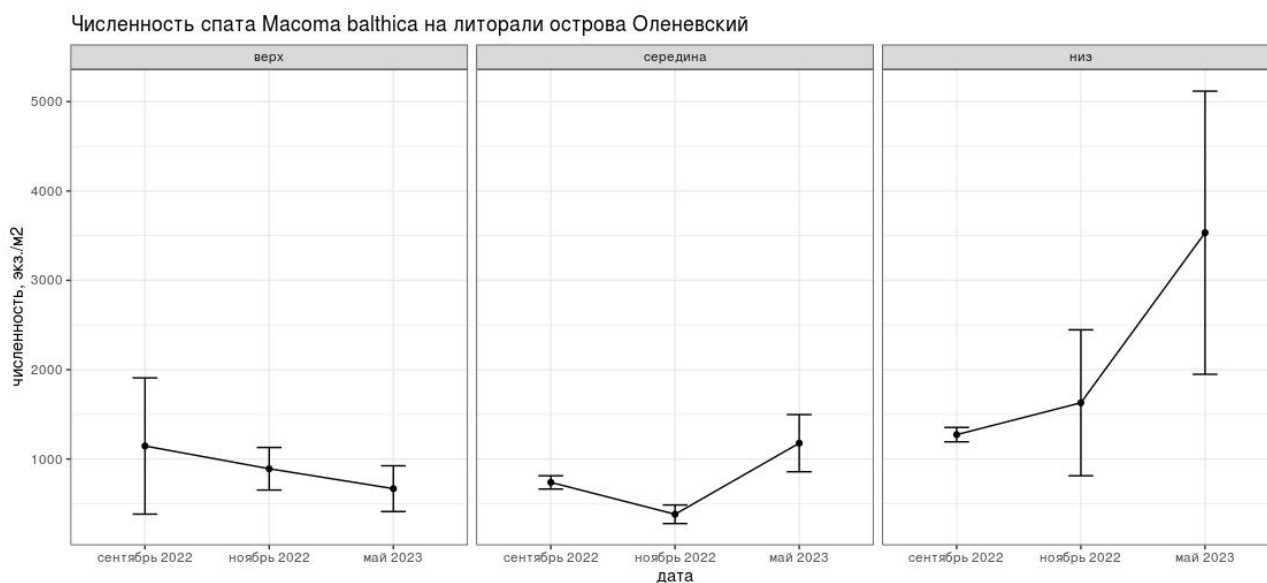


Рисунок 3. Динамика численности спата *Macoma balthica* на литорали острова Оленевский.

Таким образом, зимой 2022-2023 года на исследованном участке на о. Оленевский не было показано значительного уменьшения численности сеголетков маком в период с сентября по май, и для оценки выживаемости требуется продолжение исследований.

### Благодарность

Авторы благодарят сотрудников туристического центра Полярный круг, помогавших в полевых сборах материала.

### Список литературы:

1. Азаров В.В. Питание рыб на литорали островов Ряжкова и Лодейного в Белом море (Кандалакшский залив). // Труды ББС МГУ – Труды Кандалакшского государственного заповедника. – Воронеж, 1963. – т.2, вып. 4. – С.35-53.
2. Гольцев Н.А., Полозов Ю.С., Полоскин А.В. К вопросу об избирательности питания речной камбалы *Pleuronectes flessus* на литорали Кандалакшского залива Белого моря. // Аничковский вестник. – 1997. – вып. 1. – С.9-22.
3. Максимович Н., Герасимова А. Долговременный мониторинг литоральных поселений двустворчатых моллюсков (*Mollusca*, *Bivalvia*) в губе Чула (Белое море) // Морские и пресноводные биосистемы севера Карелии. Труды БиНИИ / под ред. А. И. Раилкин. : Издательство СПбГУ, 2004. С. 95–120.
4. Максимович Н.В., Герасимова А.В., Кунина Т.А. Динамика структурных характеристик литоральных поселений *Macoma balthica* (L.) в губе Чула (Белое море). // Вестник ЛГУ. – 1991. – сер. 3, N2. – С. 23-31.
5. Перцов Н.А. Некоторые данные о питании птиц, населяющих острова Северного архипелага Кандалакшского заповедника. // Труды ББС МГУ – Труды Кандалакшского государственного заповедника. – Воронеж, 1963. – т.2, вып. 4. – С.29-34.
6. Семенова Н.Л. Особенности размножения Беломорской *Macoma balthica* (L.) (*Mollusca*, *Lamellibranchiata*), позволяющие ей жить в сезонном биотопе. // Биология Белого моря. Труды ББС МГУ. – т. 5. – М., 1980. – С.115-123.
7. Чава А. И., Артемьева А. В., Яковис Е. Л. РОЛЬ БЕНТОСНЫХ ХИЩНИКОВ В ФОРМИРОВАНИИ ЭПИБИОЗА КРАСНОЙ ВОДОРΟΣЛИ *RHYSODRYS RUBENS* В ПРОЛИВЕ ВЕЛИКАЯ САЛМА (КАНДАЛАКШСКИЙ З-В, БЕЛОЕ МОРЕ) // Труды IX Международной научно-практической конференции «Морские исследования и образование (MARESEDU-2020)». - 2020. - С. 320–324.
8. Beukema J.J., Honkoop P.J.C., Dekker R. Recruitment in *Macoma balthica* after mild and cold winters and its possible control by egg production and shrimp predation. // *Hydrobiologia*. – 1998. – Vol.375/376. – P.23-34.
9. Genelt-Yanovskiy E. A. и др. Trends and drivers of *Macoma balthica* L. dynamics in Kandalaksha Bay, the White Sea // *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*. - 2018. - Vol. 98., № 1. - P. 13–24.
10. Hiddink J.G. Marijnissen S.A.E., Troost K., Wolff W.J. Predation on 0-group and older year classes of the bivalve *Macoma balthica*: interactions of size selection and intertidal distribution of epibenthic predators. // *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. – 2002. – Vol.269. – P.223-248.

11. Strasser M., Günther C. Larval supply of predator and prey: temporal mismatch between crabs and bivalves after a severe winter in the Wadden Sea. // Journal of Sea Research. – 2001. – Vol.46. – P.57-67.
12. Yakovis E., Artemieva A. Epibenthic predators control mobile macrofauna associated with a foundation species in a subarctic subtidal community // Ecology and evolution. - 2019. - Vol. 9., № 18. - P. 10499–10512.
13. Yakovis E., Artemieva A. Effects of a trophic cascade on a multi-level facilitation cascade // Journal of Animal Ecology. - 2021. - Vol. 90., № 10. - P. 2462–2470.

УДК 574.587

Рубрика 34.35.33

ЛИТОРАЛЬНЫЕ СООБЩЕСТВА МАГАДАНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
ЗАПОВЕДНИКА (ОЛЬСКИЙ УЧАСТОК)

INTERTIDAL COMMUNITY OF THE MAGADAN STATE RESERVE (OLSKY SECTION)

**Коновалова Ольга Петровна<sup>1</sup>, Юрикова Дарья Андреевна<sup>1</sup>, Киселев Александр  
Дмитриевич<sup>1</sup>, Булавинова Вера Иннокентьевна<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> ЦМИ МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва

<sup>2</sup> СПбГУ, Санкт-Петербург

**Konovalova Olga Petrovna<sup>1</sup>, Yurikova Daria Andreevna<sup>1</sup>, Kiselev Alexander  
Dmitrievich<sup>1</sup>, Bulavinova Vera Innokentevna<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> LMSU MRC, Moscow

<sup>2</sup> SPBbU, St. Petersburg

## Введение

Ольский участок Магаданского заповедника располагается в западной части полуострова Кони -- гористого выступа охотоморского побережья на восточной окраине Тауйской губы, являющейся одним из наиболее крупных заливов в северной части Охотского моря. С севера граница участка проходит по заливу Одян (Тауйская губа), с запада и юга границы омываются открытыми водами Охотского моря. К береговой линии Ольского участка примыкает полоса охранной зоны, охватывающая 2 км морской акватории.

Климат Тауйской губы суров: зимой наблюдаются достаточно низкие температуры, сильные шторма, в закрытых заливах образуется припай; лето непродолжительное, прохладное, с преобладанием облачной погоды. В акватории Тауйской губы у полуострова Кони наблюдается выход на поверхность глубинных вод, что влечет за собой локальные понижения температуры воды у побережья. Наблюдаются сезонные колебания солености, особенно значимые в прибрежных водах, омывающих литораль. Приливно-отливная зона Тауйской губы, в силу приливов, достигающих 4,9 м, развита отчетливо. На полуострове преимущественно наблюдается каменисто-скалистая литораль, подверженная значительному воздействию прибоа.

Несмотря на сложный комплекс условий заповедной территории и сравнительно высокое биоразнообразие, наблюдаемое в приливно-отливной зоне полуострова Кони, ее сообщества изучены мало.

В ходе выполнения задач, проводимого нами исследования в западной части полуострова Кони, были описаны несколько характерных для данного района литоральных сообществ и окружающих их условий.

## Материалы и методы

С 26.06 по 05.07.2023, в рамках прибрежной экспедиции ЦМИ-МГУ-Сколтех на полуостров Кони (Охотское море, Ольский участок Магаданского заповедника), нами были рассмотрены 5 участков каменистой и скалистой литорали с различным характером прибойности и опреснения (Рис. 1). На каждом участке были выделены три точки на расстоянии нескольких сотен метров друг от друга, где были отмечены их гидрологические и микрорельефные особенности, визуально выделены и отобраны представители массовых видов беспозвоночных, а также все встреченные виды макрофитов. На месте производились измерения водородного показателя морской воды, а также, при помощи CTD зонда YSI CastAway с GPS приемником, производились измерения солености и температуры. Для дополнительных исследований были отобраны пробы грунта и воды. Образцы водорослей были определены и промыты. Представители макрозообентоса были определены и отпрепарированы, с отделением пищеварительной системы и тканей, контактирующих с окружающей средой. Образцы воды были отфильтрованы, фильтры фиксировались. Все материалы были заморожены при температуре  $-20^{\circ}\text{C}$ .

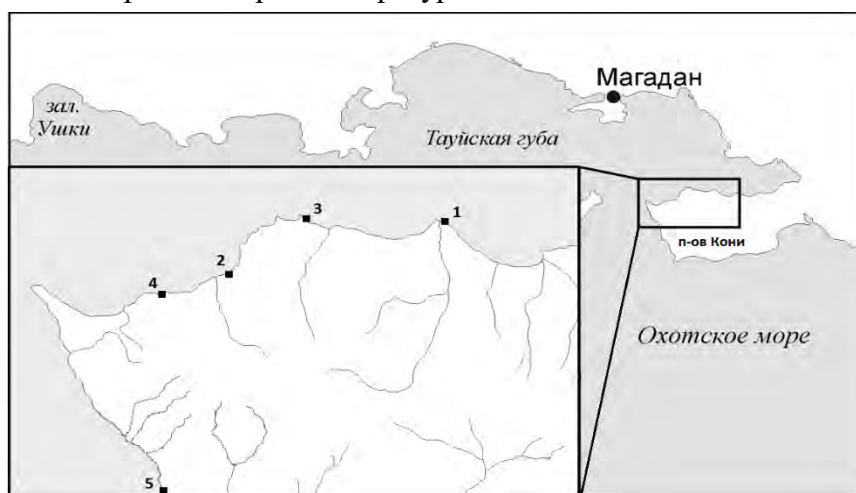


Рисунок 1. Исследованные участки литорали

## Результаты

Первый исследуемый участок располагался у мыса Плоский (N 59.1622 E 151.6544)

Верхний горизонт литорали на изученном участке песчано-галечный, средний и нижний представлены каменистыми россыпями, образующими косу, довольно глубоко вдающуюся в залив. На участке или в непосредственной близости от него отсутствуют прямые источники опреснения в виде ручьев, однако, неподалеку располагается устье довольно крупной реки. Характер берега непостоянен: с запада на восток песчаные обрывы сменяются отвесными выходами скальных пород. Относительно других исследуемых участков в данной точке наблюдается весьма умеренная прибойность.

Показатель солености на данном участке варьировался в пределах сотых долей 27‰. Температура воды изменялась от  $12.98^{\circ}\text{C}$  до  $14.08^{\circ}\text{C}$ . Водородный показатель в среднем достигал  $8.30 \pm 0.07$  единиц.

Всего на исследуемом участке нами были обнаружены 7 видов довольно распространенных для этих мест представителей макрофитов, произрастающих отдельными опущками: *Fucus evanescens*, *Pylaiella littoralis*, *Devalerae ramentacea*, *Dictiosyphon phoeniculaceum*, *Saccharina japonica* (однолетняя форма), *Ulva lactuca* и *Alaria ochotensis*.



Из макрозообентоса наиболее массово встречались представители *Mytilus trossulus*, *Littorina sitkana*, *Margarites helcescana*, родов *Acmea* и *Gammarus*, а также семейства *Patellidae*. Кроме того, наблюдались единичные особи рода *Pagurus*.

Второй исследуемый участок располагался между мысами Скалистый и Таран (N 59.1181 E 151.3545)

На данном участке литорали тип грунта изменяется с песчаного с массовыми россыпями валунов на юго-западе, на каменистый к северо-востоку. Берег достаточно пологий, представляет собой продолжение небольшой долины горного ручья, впадающего в море неподалеку от изучаемого участка. Прибойность значительная.

Соленость, по мере удаления от источника опреснения, последовательно изменялась от 20.93‰ до 26.96‰. У опресненной точки значение температуры было равно 13.06°C, в то время как в точка с большей соленостью и, следовательно, доминированием морских водных масс температура варьировалась от 12.85°C до 13.58°C. Водородный показатель изменялся от 8.15 до 8.36 единиц.

Распределение биомассы и разнообразия водорослей на данном участке различались. Были встречены следующие виды макрофитов: *Odonthalia corymbifera*, *Fucus evanescens*, *Sargassum pallidum*, *Ceramium rubrum*, *Ulva lactuca*, *Ptilota polydentata*, *Gloiopeltis furcata*, *Alaria ochotensis*, *Saccharina cichonoides*, *Devalerae ramentacea*. В опресненной точке был обнаружен *Fucus distichus*.

Среди макрозообентоса также преобладали *Mytilus trossulus*, *Littorina sitkana*, представители родов *Acmea* и *Gammarus* и семейства *Patellidae*, но кроме того массово встречались *Nucella heyseana* и *Littorina squalida*.

Третий исследуемый участок располагался у мыса Крокодил (N 59.1621 E 151.4703)

На данном участке преобладает каменисто-скалистая литораль. Берега представляют собой обрывистые скалы. Явные источники опреснения отсутствуют. Прибойность умеренная.

Соленость на данном участке изменялась от 25.76‰ до 28.24‰. Температура воды варьировалась в пределах 14.37-14.91°C. Водородный показатель различался незначительно и в среднем достигал 8.33±0.03 единиц.

Видовой состав макрофитов на данном участке несколько отличался от участков, рассмотренных ранее: *Fucus evanescens*, *Scytosiphon lomentaria*, *Halosaccion yendoi*, *Pylaiella littoralis*, *Monostroma grevillei*, *Saccharina cichonoides*, *Cladophora fracta*, *Ceramium rubrum*, *Devalerae ramentacea*.

Массово встречались следующие представители макрозообентоса: *Littorina squalida*, *Littorina sitkana*, *Mytilus trossulus*, *Nucella heyseana*, *Acmea* sp., *Patellidae* gen. sp. Отдельно отмечается встреча значительного количества представителей рода *Asterias*.

Четвертый исследованный участок располагался между мысами Таран и Скалистый (N 59.1037 E 151.2809)

Литораль на данном участке крупнокаменистая. Берег достаточно пологий, также, как и на втором участке, является продолжением долины. Участок пересекает несколько рукавов достаточно многоводного горного ручья. Прибойность значительная.

Не смотря на наличие явного источника опреснения, соленость на данном участке ниже 26.06‰ не наблюдалась, а в своем максимуме достигала 29.66‰. Температура в точках изменялась в пределах 11.20-11.83°C, наибольшее значение было зафиксировано в точке с меньшей соленостью. Водородный показатель был наиболее стабильный по сравнению с прочими исследованными участками и в среднем равнялся 8.35 единицам.

На данном участке наблюдалось наибольшее видоразнообразие и биомасса макрофитов. Были встречены следующие виды: *Saccharina japonica*, *Fucus evanescens*, *Devalerae ramentacea*, *Ulvaria splendens*, *Stephanocystis crassipes*, *Gloiopeltis furcata*, *Odonthalia corymbifera*, *Saccharina cichonoides*, *Scytosiphon lomentaria*, *Ceramium rubrum*, *Halosaccion yendoi*.

Разнообразие макрозообентоса на данном участке также было велико. Помимо повсеместно наблюдаемых ранее *Mytilus trossulus*, *Nucella heyseana*, *Littorina squalida*, *Littorina sitkana*, рода *Gammarus* и семейства *Patellidae*, были встречены представители родов *Cucumaria*, *Idotea*, *Pagurus*, и отряда *Actiniaria*. Участок также отличался большим количеством мидиевых банок.

Пятый исследованный участок располагался между мысами Таран и Первый  
(N 58.9856 E 151.2432)

Литораль на данном участке крупнокаменистая. Берег достаточно крутой, задернованный. Участок пересекает небольшой ручей. Прибойность, среди исследованных участков, наибольшая.

Показатель солености в точках, удаленных от источника опреснения достигал 29.50‰, у опресненной точки-- 20.72‰. Температура воды варьировалась от 4.41°C до 7.21°C, минимум и максимум наблюдались в наименее опресненных точках. Водородный показатель также весьма различался между точками данного участка: 8.02-8.45 единиц.

На данном участке были обнаружены следующие виды макрофитов: *Palmaria stenogona*, *Desmarestia viridis*, *Alaria ochotensis*, *Phycodris riggii*, *Ceramium rubrum*, *Cladophora fracta*, *Ulva lactuca*, *Devalerae ramentacea*, *Laminaria yezoensis*, *Fucus evanescens*, *Halosaccion yendoi*.

Сообщества макрозообентоса не отличались большим разнообразием. Были встречены основные массовые виды: *Nucella heyseana*, *Littorina sitkana*, *Mytilus trossulus* и представители семейства *Patellidae*.

## Выводы

В ходе исследований, суммарно на пяти изученных участках, были выявлены 25 видов макрофитов. Наиболее массовые и распространенные оказались представители *Fucus evanescens*, *Alaria ochotensis*, *Devalerae ramentacea*, *Ulva lactuca*.

Массовые виды макрозообентоса, встреченные на большей части участков, вполне типичны для данных мест: *Mytilus trossulus*, *Littorina squalida*, *Littorina sitkana*, *Nucella heyseana*.

Четвертый участок, располагавшийся достаточно близко к открытому морю, но все же защищенный мысом от сильного прибоя, отличался наибольшими биомассой и видоразнообразием макробентоса.

В дальнейшем для каждого участка в стационарной лаборатории будет проведено химическое исследование загрязнений в образцах воды и грунта для анализа распределения микробных сообществ по градиенту содержания загрязняющих веществ.

### Список литературы

1. Блинова, Е.И. Фитобентос литорали и сублиторали северной части Охотского моря (Тауйская губа, полуострова Кони и Пьягина)// Морские водоросли и их использование. - М.: Пищевая промышленность. – 1977. – С. 12 - 21 - (Труды ВНИРО, т. 124).
2. Жарников В. С. Распределение двухстворчатых и брюхоногих моллюсков на литорали залива Одян Тауйской губы Охотского моря // Чтения памяти Олега Григорьевича Кусакина. – Владивосток: Дальнаука. – 2008. – С. 84-104.
3. Иванова М. Б., Цурпало А. П. Состав и распределение сообществ макробентоса на литорали Тауйской губы (Охотское море) // Известия ТИНРО. – 2011. – С. 180-199 - (т. 166).
4. Утехина И. Г. Заповедник "Магаданский" // Биота и среда заповедных территорий. – 2018. – №. 1. – С. 121-136.
5. Черешнев И. А., Атрашкевич Г. И., Регель Кв Таксономическое и экологическое разнообразие морской биоты Тауйской губы Охотского моря // Известия Самарского научного центра РАН. – 2006. – №1 – С. 26-39.

УДК 574.5

Рубрика 34.33.15

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ БЕНТОСНОГО СООБЩЕСТВА НА СТАНЦИИ 6-8 ПОЛИГОНА № 6 ВБЛИЗИ О. МОЛОЧНИЦА КАНДАЛАКШСКОГО ЗАЛИВА БЕЛОГО МОРЯ

THE DYNAMICS OF THE BENTHIC COMMUNITY OF THE 6-8 STATION, THE 6<sup>TH</sup> POLYGON, CLOSE TO MOLOCHNITSA ISLAND, THE KANDALAKSHA BAY OF THE WHITE SEA

**Табачникова Ксения Семеновна<sup>1</sup>, Кузнецов Карен Олегович<sup>1</sup>, Константинова Юлия Ильинична<sup>1</sup>, Поляков Даниил Иванович<sup>1</sup>, Гомжин Илья Олегович<sup>1</sup>, Петрушкова Таисия Игоревна<sup>1</sup>, Синицын Алексей Михайлович<sup>1</sup>, Кокорин Александр Игоревич<sup>2</sup>, Мокиевский Вадим Олегович<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> *Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова (МГУ), г. Москва*

<sup>2</sup> *Центр морских исследований МГУ им. М. В. Ломоносова, г. Москва*

<sup>3</sup> *Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН, г. Москва*

**Tabachnikova Ksenia Semenovna<sup>1</sup>, Kuznetsov Karen Olegovich<sup>1</sup>, Konstantinova Yulia Ilyinichna<sup>1</sup>, Polyakov Daniil Ivanovich<sup>1</sup>, Gomzhin Ilya Olegovich<sup>1</sup>, Petrushkova Taisia Igorevna<sup>1</sup>, Synitsin Alexei Mihailovich<sup>1</sup>, Kokorin Alexander Igorevich<sup>2</sup>, Mokievsky Vadim Olegovich<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> *Lomonosov Moscow State University (LMSU), Moscow*

<sup>2</sup> *Lomonosov Moscow State University Marine Research Center (MRC, LMSU), Moscow*

<sup>3</sup> *Shirshov Institute of Oceanology of Russian Academy of Sciences, Moscow*

## **Введение**

В рамках учебной практики на Беломорской Биологической станции МГУ имени Н. А. Перцова проводился сбор макрозообентоса на станции 6-8 полигона № 6, расположенного вблизи о. Молочница в Кандалакшском заливе Белого моря (рис. 1а). В 2016 и 2019 гг. на полигоне были выделены сообщества макрозообентоса (рис. 1б): доминантом сообщества станции 6-8 оказалась *Portlandia arctica*. Количественный состав дночерпательных проб и качественный учёт тралов в 2023 г. (табл. 1) показали, что сообщество действительно является «портландийным». Кроме того, была выявлена тенденция снижения численности доминанта и смена субдоминантов станции.

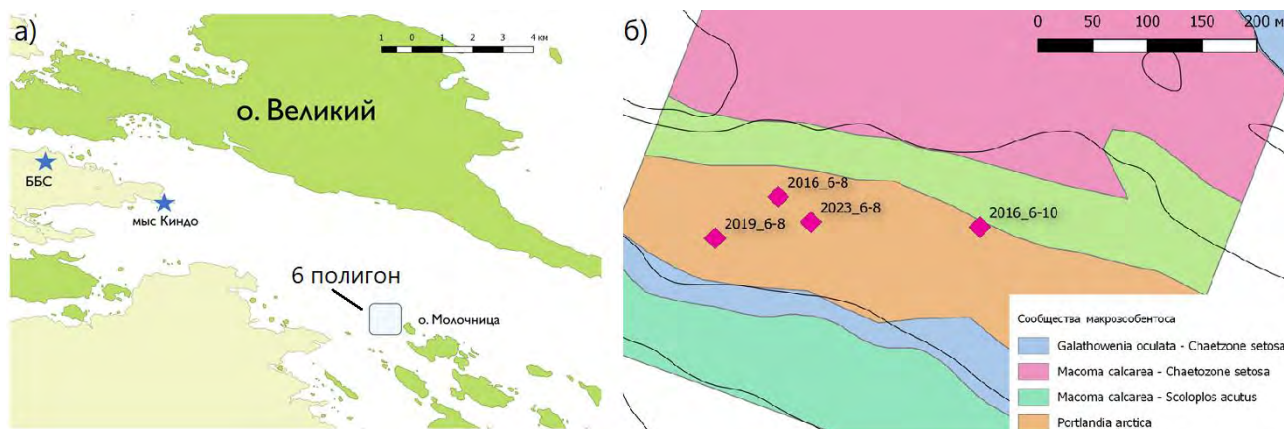


Рисунок 1. География проведения работ: а) местоположение 6-го полигона; б) точки сбора проб и сообщества макрозообентоса полигона.

Таблица 1. Координаты точек работы на станции и использованное оборудование

Координаты точки работы	Глубина, м	Орудие лова	Количество проб
N 66°30.344' E 33°20.109'	35,5 → 38	Дночерпатель "Океан-01"	3
N 60°30.295' E 33°20.211' → N 66°30.440' E 33°19.801'	37 → 10	Трал	1
N 66°30.345' E 33°20.149' → N 66°30.' E 33°19.620'	37 → 25	Трал	1

## Результаты

Описана видовая структура станции 6-8: рассмотрен таксономический состав сообщества; посчитаны средние численности, средние биомассы, вычислены коэффициенты дыхания для видов. Коэффициент дыхания ( $Q$ ) учитывает среднюю биомассу ( $B$ ) и среднюю численность ( $N$ ) вида. Формула для коэффициента дыхания:

$$Q = B^{0,75} * N^{0,25}$$

Выявлено преобладание Annelida по численности, однако больший вклад в биомассу вносят Mollusca. Доминантным видом по коэффициенту дыхания стала *Portlandia arctica*, субдоминанты: *Galathowenia oculata*, *Aricidea nolani* (= *Pectinaria hyperborea*), *Chaetozone setosa*, *Praxillella praetermissa* (рис. 2). Наблюдается смена субдоминант сообщества. Например, *G. oculata*, вносящая самый большой вклад в коэффициент дыхания в 2023 году среди субдоминант, в эту категорию попала впервые. *Macoma calcarea* и представители рода *Nephtys*, являвшиеся субдоминантами в 2016 и 2019 гг., в 2023 году не попали в эту группу.

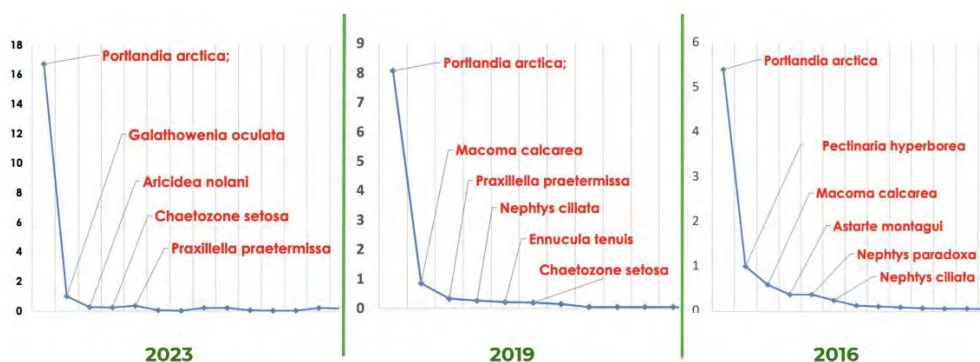


Рисунок 2. Смена субдоминантных видов в сообществе за годы работы, показаны коэффициенты дыхания для видов.

Сравнивая данные по годам, было обнаружено, что общая численность и биомасса особей в пробах достоверно снижаются (рис. 3). Однако, количество выявленных видов достоверно не изменяется. Несмотря на общую тенденцию снижения численности и биомассы видов сообщество станции остаётся «портландийным».

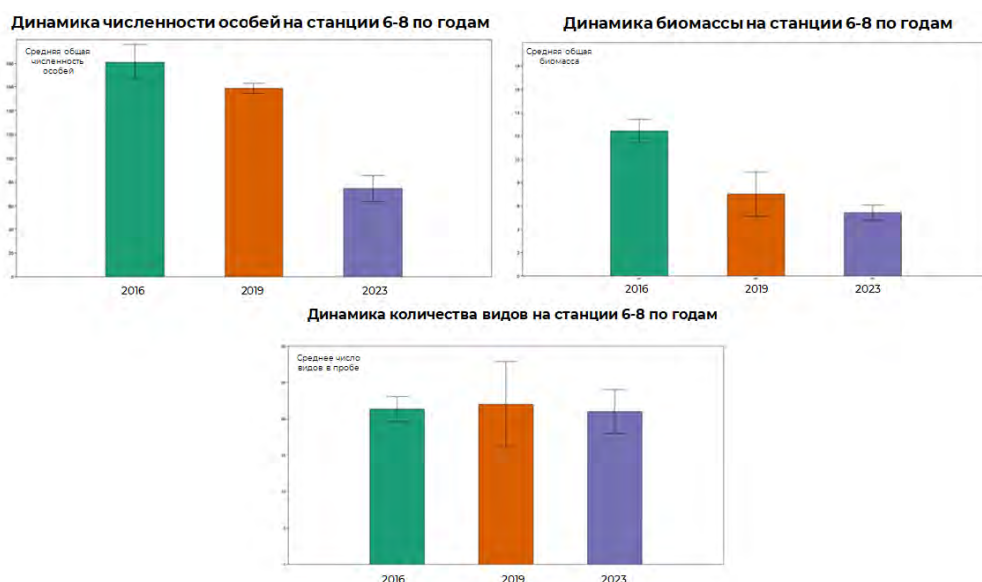


Рисунок 3. Изменение динамики численности и биомассы особей в пробах за 2016, 2019 и 2023 годы.

Сопоставим таксономический состав на станции 6-8 с другими станциями полигона №6. Для выполнения кластерного анализа по методу Bray-Curtis (рис. 4) была выбрана аутгруппа – станция 6-1 полигона №6. Доминантом для этой станции является *Galathowenia oculata*, а не *Portlandia arctica*. Кроме того, станция удалена от «портландийных»: 2016\_6-8, 2016\_6-10, 2019\_6-8. Закономерно, пробы с этой станции (2016\_6-1) образовали отдельную кладу. Однако, пробы 2023 года также обособляются от других «портландийных» проб (2016\_6-8, 2016\_6-10, 2019\_6-8). Аутгруппа (2016\_6-1) имеет большее сходство с последними в сравнении с 2023\_6-8 (40% vs. 30%).



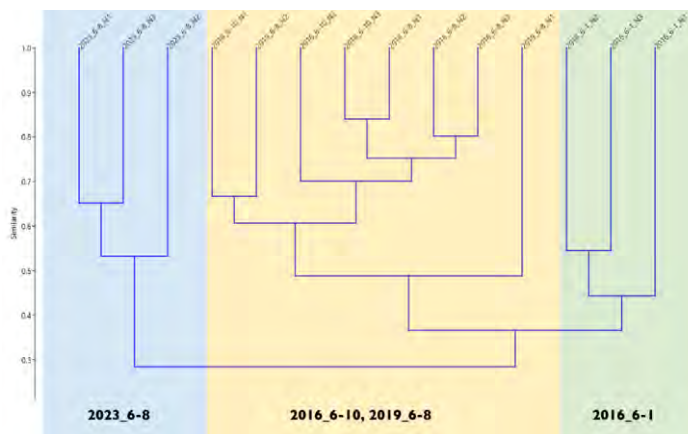


Рисунок 4. Кластерный анализ сходства проб с различных станций полигона № 6 (метод Bray-Curtis).

Интересно отметить, что в ходе разбора проб было обнаружено много пустых (мёртвых) створок *P. arctica*. Их количество значительно превышало число живых моллюсков. Изучение размерной структуры популяции *P. arctica* (рис. 5) показало, что взрослые моллюски преобладают над молодыми особями. Пики численности как для живых, так и для мёртвых животных находятся в размерном диапазоне раковин 12-14 мм. Вследствие чего популяцию *P. arctica* можно назвать «стареющей».

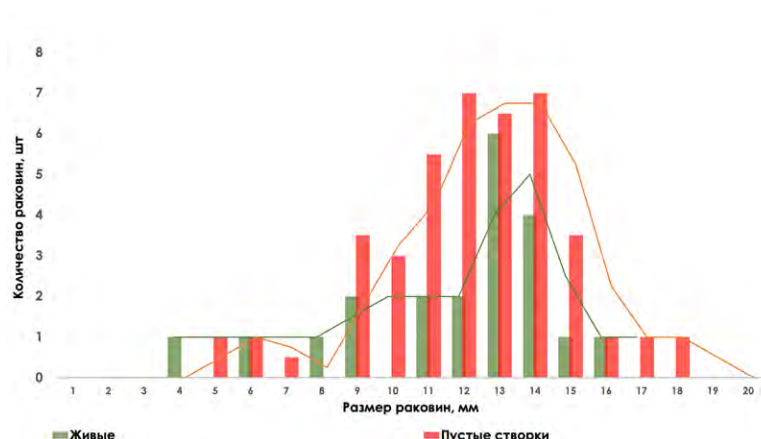


Рисунок 5. Размерная структура *Portlandia arctica*.

## Выводы

В пределах изолированного сообщества *Portlandia arctica* близ о. Молочница наблюдается тенденция к снижению количественных характеристик сообщества:

- Снижение численности доминирующего вида (*P. arctica*), снижение численности субдоминант и смена их состава;
- Анализ размерной структуры *P. arctica* иллюстрирует «стареющую» популяцию и отсутствие возобновления.

## Благодарность

Необходимо отметить вклад Агунович Катерины, которая участвовала в сборе проб и разборе полученного в рейсе материала. Также мы выражаем благодарность группе исследователей, работавшей на полигоне №6 в 2016 году. Кроме того, мы хотим поблагодарить студенческую группу 2019 года: Осипова Д. Д., Мельников Н. П., Пименов Т. П., Кудрявкина А. И., Маргарит А. А., Ратновская А. В., Федоров Д. А., Белоусова Е. В., Батрина Д. А. Мы очень признательны всему преподавательскому составу, который нам помогал в определении беспозвоночных животных, давал нам советы по обработке данных и поддерживал нас на протяжении всей учебно-производственной практики на ББС имени Н. А. Перцова: Цетлин Александр Борисович, Мокиевский Вадим Олегович, Жадан Анна Эльмировна, Кокорин Александр Игоревич и Михлина Анна Леонидовна.

## Список литературы:

1. *Азовский А.И.* Анализ многолетних рядов биологических данных: методологические проблемы и возможные подходы // *Общ. Биология.* 2018. том 79, №5. с. 329–341.
2. *Бажин А. Г., Степанов В. Г.* Морские ежи семейства Strongylocentrotidae морей России / Под ред. д.б.н., проф. В. С. Левина. Петропавловск-Камчатский – Камчат НИРО. 2012. 196 стр.
3. *Гурьянова Е. Ф.* Бокоплавы морей СССР и сопредельных вод (Amphipoda – Gammaridea) / Под ред. академ. Е. Н. Павловского. Издательство Академии Наук СССР. 1951. 1033 стр.
4. *Дьяконов А. М.* Морские звёзды морей СССР / Под ред. академ. Е. Н. Павловского. Издательство Академии Наук СССР. 1950. 205 стр.
5. *Дьяконов А. М.* Офиуры (Змеехвостки) Морей СССР/ Под ред. академ. Е. Н. Павловского. Издательство Академии Наук СССР. 1954. 135 стр.
6. *Жирков И.А.* Полихеты Северного Ледовитого океана/ Под ред. А.Н. Миронов М.: Янус-К. 2001. 632 стр.
7. *Наумов А. Д.* Двустворчатые моллюски Белого моря / Под ред. академ. РАН А. Ф. Алимova. СПб. 2006. 367 стр.
8. *Наумов А.Д.* Моллюски Белого моря/ Под ред. О.А. Скарлато» Л.: Наука. 1987. 328 стр.
9. *Ушаков П.В.* Многощетинковые черви Дальневосточных морей СССР (Polychaeta) / Под ред. академ. Е.Н. Павловского. Издательство Академии наук СССР. 1955. 445 стр.

УДК 574.587

Рубрика 34.35.33

УТОЧНЕНИЕ ФАУНЫ CRINOIDEA В АРКТИЧЕСКИХ МОРЯХ РОССИИ (БЕЛОЕ, БАРЕНЦЕВО, КАРСКОЕ, ЛАПТЕВЫХ, ВОСТОЧНО-СИБИРСКОЕ, ЧУКОТСКОЕ) И СОПРЕДЕЛЬНЫХ ВОДАХ

REVISION OF THE CRINOIDEA FAUNA IN THE ARCTIC RUSSIA SEA (WHITE, BARENTS, KARA, LAPTEV, EAST-SIBERIAN, CHUKCHI) AND ADJACENT WATERS

**Стратаненко Екатерина Алексеевна**

*Зоологический институт Российской академии наук (ЗИН РАН), г. Санкт-Петербург*

**Stratanenko Ekaterina Alekseevna**

*Zoological Institute of Russian Academy of Sciences (ZIN RAS), St. Petersburg*

**Введение**

Морские лилии (Crinoidea) являются представителями типа иглокожих. В настоящее время мы располагаем лишь отрывочными и не систематизированными данными о видовом составе и распространении представителей класса Crinoidea в арктических морях России и сопредельных водах арктического бассейна. В силу того, что морские лилии представлены в исследуемом районе небольшим числом видов, данные в публикациях об их находках, как правило, приводятся совместно с другими иглокожими. Для арктического региона наиболее полная информация о встречаемости и распространении иглокожих, в том числе и морских лилий, в литературе представлена для Баренцева моря [1, 2]. В меньшей степени изучена фауна морей, находящихся к востоку от Баренцева моря. Общий список донных беспозвоночных Карского моря был опубликован в первой половине 20-го века Т.С. Пергаментом [3], основная же часть публикаций об иглокожих этого моря посвящена его юго-западным районам [4]. Видовые списки и распространение иглокожих в морях Лаптевых, Восточно-Сибирском и Чукотском приводятся отдельно для каждого моря в работах А.В. Смирнова и И.С. Смирнова [5, 6, 7, 8]. Данные о фауне иглокожих Белого моря представлены в работе А.А. Шорыгина [9]. В целом, общая информация о видовом составе морских лилий морей арктического бассейна дается в работах А.М. Дьяконова [10], В.И. Зацепина и Л.А. Риттих [11] и А.В. Смирнова [12, 13], при этом ни в одной из перечисленных публикаций данные о находках морских лилий подробно не анализируются. Целью данной работы было провести ревизию и уточнить состав фауны Crinoidea арктических морей России на современном этапе исследования Арктики.

**Результаты**

В ходе анализа литературных источников и ревизии коллекционных материалов [16], находящихся в распоряжении лаборатории Морских исследований Зоологического института РАН была проведена актуализация таксономии видовых списков морских лилий для

северных морей России и сопредельных вод, кроме этого уточнены и обобщены данные об их распространении и встречаемости.

По результатам проведенного исследования фауна морских лилий арктических морей России и сопредельных акваторий включает в себя четыре вида: *Hathrometra tenella*, *Heliometra glacialis*, *Poliometra prolixa* (безстебельчатые лилии) и *Bathycrinus carpenterii* (стебельчатая лилия). По уточненным данным о распространении и встречаемости Crinoidea было выявлено, что в пределах географических границ Баренцева моря фауна Crinoidea представлена двумя видами (*H. glacialis*, *P. prolixa*), Белого – 1 видом (*H. glacialis*), Карского и Лаптевых – 3 видами (*B. carpenterii*, *H. glacialis*, *P. prolixa*), Восточно-Новосибирского – 2 видами (*H. glacialis*, *P. prolixa*). Интересно, что в границах Чукотского моря морские лилии не были отмечены. Так, упоминающиеся в публикациях данные о находках *B. carpenterii* вблизи северной границы этого моря [14] при нанесении на карту демонстрируют их приуроченность к приграничному глубоководному району Арктического бассейна, а не к основной акватории моря. Аналогичный анализ распределения находок *H. glacialis*, описанных А.М. Дьяконовым [15] для рассматриваемого моря показал, что они были локализованы к северо-западу от о. Врангель и находятся скорее в пределах Восточно-Сибирского моря, а не Чукотского (Рисунок 1).

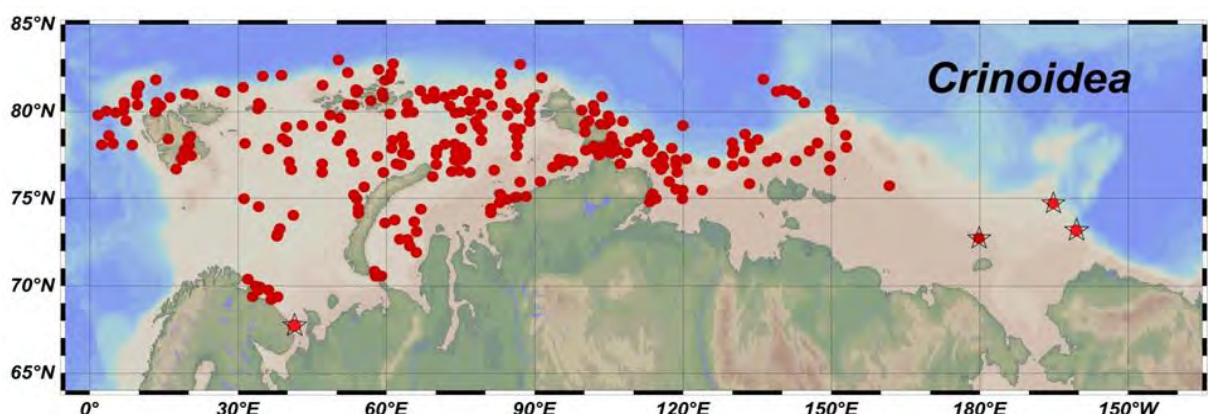


Рисунок 1. Находки Crinoidea в морях российской Арктики и на прилегающей акватории. Местонахождения обозначены точками, звездочками показаны находки А.В. Кременецкой с соавторами (Kremenetskaia et al., 2022), по А.М. Дьяконову (1952), и А.А.Шорыгину (1926).

## Выводы

Таким образом, на шельфе рассматриваемых северных морей России, за исключением шельфа Чукотского моря, обитают *H. glacialis* и *P. prolixa*. Морские лилии *H. tenella* и *B. carpenterii* отмечены преимущественно вне основных акваторий исследуемых морей в сопредельных водах, при этом *B. carpenterii*, являясь батинально-абиссальным видом, также встречается в глубоководных желобах морей Карского и Лаптевых.

## Финансирование

Работа выполнена в рамках темы государственного задания № 1021051402797-9

### Список литературы:

1. Анисимова Н.А. Иглокожие (Echinodermata) Баренцева моря // Современный бентос Карского и Баренцева морей. – Апатиты: КНЦ РАН, 2000. – С. 228-362.
2. Шорыгин, А.А. Иглокожие Баренцева моря // Труды Плавучего морского научного института. – 1928. – Т. 3. – Вып. 4. – С. 1-128.
3. Пергамент, Т.С. Бентос Карского моря / Т.С. Пергамент // Проблемы Арктики. – 1945. – Серия 1. – С. 102-132.
4. Анисимова, Н.А. Иглокожие южной части Карского моря (по результатам количественных сборов 1993-1994 гг.) // Фауна беспозвоночных Карского, Баренцева и Белого морей. – Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2003 – С. 111-129.
5. Смирнов, А.В., Смирнов И.С. Иглокожие моря Лаптевых // Экосистемы Новосибирского мелководья и фауна моря Лаптевых и сопредельных вод. Исследование фауны морей. – Л.: Наука, 1990. – Т. 37(45). – С. 411-462.
6. Смирнов, А.В., Смирнов И.С. Иглокожие Восточно-Сибирского моря // Фауна Восточно-Сибирского моря. Часть 3. Исследование фауны морей. – СПб., 1994. – Т. 49(57) – С. 132-182.
7. Смирнов, А.В., Смирнов И.С. Новые находки иглокожих в море Лаптевых (по материалам экспедиций 1993-1998 гг.) // Морские беспозвоночные Арктики, Антарктики и Субантарктики. Исследование фауны морей. – СПб., 2006. – Т. 56(64) – 93-139.
8. Смирнов, А.В., Смирнов И.С. Фауна иглокожих Чукотского моря и Берингова пролива // Экосистемы и биоресурсы Чукотского моря и сопредельных акваторий. Исследование фауны морей. – СПб., 2009. – Т. 64(72). – С. 154-199.
9. Шорыгин, А.А. Иглокожие Белого моря // Труды Плавучего морского научного института. – 1926. – Т. 2. – Вып. 1. – С. 1-59.
10. Дьяконов А.М. Иглокожие северных морей. Определители по фауне СССР, издаваемые Зоологическим институтом Академии наук / Акад. наук СССР, 8. Ленинград: Акад. наук СССР, 1933. – 166 с.
11. Зацепин, В.И., Риттих Л.А. Донная фауна морей СССР. Иглокожие. – М.: МГУ, 1982. – 246 с.
12. Smirnov A.V. Class Ophiuroidea // List of species of free-living invertebrates of Eurasian Arctic seas and adjacent deep waters. Explorations of the fauna of the seas. – S. Peterburg, 2001. – V. 51(59). – P. 125.
13. Smirnov, A.V. Arctic echinoderms: Composition, distribution and history of the fauna // Echinoderms through Time / Eds. B. David, A. Guile, JP. Feral, M. Roux. – Rotterdam: Balkema, 1994. – P. 135-143.
14. Kremenetskaia A, Dilman A, Mironov A, Minin K, Gebruk A (2022). Echinodermata collection of Shirshov Institute of Oceanology. Version 1.2. Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences. Occurrence dataset <https://doi.org/10.15468/pwj7fx> accessed via GBIF.org on 2023-03-24. <https://www.gbif.org/occurrence/3970869332>

15. Дьяконов, А.М. Игокожие (Echinodermata) Чукотского моря и Берингова пролива / А.М. Дьяконов // Крайний северо-восток Союза ССР. Т. 2. Фауна и флора Чукотского моря. – 1952. – С. 286-310.
16. <http://www.ckr-rf.ru/usu/73561/>



УДК 592  
Рубрика 34.33.15

ОРГАНИЗАЦИЯ ПОЛОСТИ ТЕЛА У БЕЛОМОРСКОЙ ХЕТОГНАТЫ  
*PARASAGITTA ELEGANS*

THE ANATOMY OF BODY CAVITIES IN THE WHITE-SEA CHAETOGNATH  
*PARASAGITTA ELEGANS*

**Уразаева Анастасия Олеговна<sup>1</sup>, Темерева Елена Николаевна<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> МГУ им. М. В. Ломоносова, Москва

**Urazaeva Anastasia Olegovna<sup>1</sup>, Temereva Elena Nikolaevna<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Lomonosov Moscow State University

Chaetognatha – двусторонне-симметричные многоклеточные животные, повсеместно распространенные в Мировом океане. Морские стрелки питаются веслоногими и ветвистоусыми рачками, составляя важное звено пищевой цепи между зоопланктоном и рыбами. Многие аспекты анатомии и биологии хетогнат, имеющие большое значение для понимания филогении и эволюции группы, до сих пор остаются предметом острых дискуссий. В данной работе изучено строение циркуляторной и целомической систем у беломорского вида *Parasagitta elegans* (Verrill, 1873)

Тело морских стрелок разделено поперечными септами на три части: голову, туловище и хвост. В каждой части находится пара целомов, разделённых продольными мезентериями. Кроме того, самостоятельными отделами целома являются парные женские и мужские гонады (Terazaki, Miller, 1982). Мужские гонады располагаются в хвостовом целоме и включают в себя семенники с семенными протоками и семенными пузырьками. Женская половая система располагается в туловищном целоме и включает парные яичники, окружённые собственным перивариальным целомом, и яйцеводы (Ghirardelli, 1968). Кровеносная система представлена полостями между внутренними органами и специализированным целомическим эпителием или между базальных мембран двух смежных целомических эпителиев. Главные органы кровеносной системы – это дорсальный кровеносный синус, проходящий по спинной стороне кишечника, вентральный синус, окружающий вентральный нервный центр, и задний синус, расположенный в туловище вблизи хвостовой септы. Предположительно, в заднем синусе производится ультрафильтрация крови в хвостовые целома (Shinn, 1997). В голове морских стрелок кровеносные синусы проходят параллельно продольной оси тела и располагаются дорсально, над пищеводом (Малахов, Березинская, 2001). Кроме того, ранее мы обнаружили у глубоководной морской стрелки *Eukrohnia hamata* в хвостовом мезентерии парные кровеносные сосуды, но эти данные ещё не были опубликованы.

Материалом для данной работы послужили ювенильные и взрослые особи *Parasagitta elegans*. Материал отбирали из планктонных проб, собранных в Кандалакшском заливе Белого моря в июле 2022 года. Животных фиксировали 2,5% глютаровым альдегидом на какодилатном буфере, постфиксировали в 1% растворе OsO<sub>4</sub>, дегидратировали и заключали в смолу Embed-812. Затем животных ультратомировали и получали серии поперечных и продольных полутонких срезов головной, туловищной и хвостовой частей тела. Срезы оцифровали и обрабатывали в программе Amiga для получения трёхмерных реконструкций. В этих же участках тела были сделаны ультратонкие срезы, которые изучали в трансмиссионный электронный микроскоп. Полученные нами результаты позволяют провести более точную и детальную реконструкцию циркуляторной и целомической систем *Parasagitta elegans*, в том числе выявить некоторые ранее не описанные особенности. Так, нами показано, что у взрослых особей головная септа имеет сложную форму и представляет собой не просто поперечную перемычку, а имеет глубокую медиальную инвагинацию туловищной составляющей. У половозрелых морских стрелок в области головной септы обнаружены крупные латеральные кровеносные сосуды, ранее не описанные для этого вида. Мы предполагаем, что эти латеральные синусы представляют собой части единого крупного кольцевого сосуда головы. У взрослых особей хвостовая септа образует глубокие латеральные впячивания в хвостовой области и формирует парные дорзальные и вентральные карманы, глубоко вдающиеся в туловищный целом. Также нами было отмечено, что у ювенильных особей и головная, и хвостовая септы не имеют таких инвагинаций, какие образуют септы половозрелых особей. Работа выполнена при поддержке гранта РФФ (№ 23-17-00121).

### Список литературы

Малахов, В. В., Березинская, Т. Л. (2001). Организация кровеносной системы щетинкочелюстных (Chaetognatha). Доклады Академии наук, 377(4), 566-568

Ghirardelli, E. (1968). Some aspects of the biology of the chaetognaths. Advanced Marine Biology 6: 271-375.

Shinn, G. L. (1997). Chaetognatha. In: Harrison, F. W. & Ruppert, E. E. (eds.). Microscopic Anatomy of Invertebrates, Vol. 15: Hemichordata, Chaetognatha, and the Invertebrate Chordates. Wiley-Liss, New York: 178-208

Terazaki M., Miller C.B. (1982). Reproduction of meso- and bathypelagic chaetognaths in the genus *Eukrohnia*. Marine biology 71: 193-196

УДК 592

Рубрика 34.33.15

DIMORPHILUS GYROCILIATUS - ПЕРСПЕКТИВНАЯ МОДЕЛЬ В ИЗУЧЕНИИ СТАРЕНИЯ

DIMORPHILUS GYROCILIATUS - A PROMISING MODEL IN AGING RESEARCH

**Фофанова Елизавета Геннадьевна<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*ФГБУН Институт биологии развития им. Н.К. Кольцова РАН, 119334, Москва*

**Fofanova Elizaveta Gennadievna<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Koltzov Institute of Developmental Biology RAS, Moscow*

## **Введение**

Старение – неотъемлемая часть онтогенеза организма. Нематоды, плодовые мушки и дрожжи позволили существенно продвинуться в понимании механизмов старения. Однако эти модели имеют свои ограничения, что делает актуальным поиск новых объектов для исследований долговременных процессов. Предполагаемые модели должны обладать определенным набором черт: небольшой размер, проницаемые покровы, быстрый цикл размножения, простота содержания в культуре. Среди трохофорных животных морские аннелиды *Dimorphilus gyrociliatus* обладают всеми перечисленными чертами. Кроме того, известен геном и транскриптом *D. gyrociliatus*, что делает данный вид подходящей моделью и для молекулярно-генетических исследований.

Целью данной работы было выявить и детально описать признаки старения у данного вида животных.

## **Материалы и методы**

Мы провели индивидуальные наблюдения за 720 особями от стадии зиготы до смерти организма. Учитывали сроки полового созревания, смертность, количество яиц и соотношение полов в кладке, расстояние от стенки тела до кишки, скорость ресничной локомоции, длину и количество наружных ресничек и количество серотонин-содержащих нейронов в нервной системе.

## **Результаты и обсуждение**

Нам удалось показать, что первые кладки, содержащие 1 женское и 1 мужское яйцо, появляются на 8-9 день после вылупления. С возрастом количество яиц увеличивается, достигая максимально 10-12 на 2й месяц жизни, при этом соотношение женских и мужских яиц в кладке составляет 8:3. Максимальная продолжительность жизни составляет 4,5 месяца. На четвертый месяц жизни уменьшается количество женских яиц в кладке, соотношение женских и мужских яиц инвертируется и становится 1:9. Снижается скорость ресничной

локомоции в 3-5 раз. Уменьшается длина ресничек вентральной локомоторной полосы с 7-8 мкм до 3-4 мкм, а также количество ресничек в ресничных клетках с 70-80 до 40-50. Соответственно скорость ресничной локомоции снижается в 3-5 раз. Также уменьшается длина и количество ресничек пищедобывающего аппарата и кольцевых ресничных шнуров, что, по-видимому, приводит к нарушениям в питании особи. Увеличивается расстояние от стенки кишки до стенки тела. В ганглиях уменьшается количество серотониновых клеток с 3-4 до 1-2. Также становится меньше сеть серотониновых волокон, что скорее всего связано с уменьшением количества ресничных клеток. Среди перечисленных признаков, на наш взгляд, наиболее перспективным является изменение длины ресничек полицилиарных клеток и соответствующей серотонинергической иннервации ресничных структур. Эти компоненты являются очень консервативными и встречаются в половых протоках, легких и выстилке канала мозга у позвоночных животных. Исследование процесса старения *D. gyrociliatus* может пролить свет на клеточные механизмы, лежащие в основе изменения активности ресничек полицилиарных клеток с возрастом.

### **Благодарность**

Авторы благодарят ЦКП ББС МГУ и ЦКП ИБР РАН за возможность работы на конфокальном микроскопе.

УДК 592

Рубрика 34.33.15

СВЕТООТРАЖАЮЩАЯ СТРУКТУРА В ГОЛОВНОЙ ЧАСТИ НЕМЕРТИНЫ  
ARCTOSTEMMA ARCTICUM (NEMERTEA, HOPLONEMERTEA): ЧТО НАМ  
ИЗВЕСТНО?

REFLECTIVE STRUCTURE IN THE ANTERIOR END OF THE NEMERTEAN  
ARCTOSTEMMA ARCTICUM (NEMERTEA, HOPLONEMERTEA): WHAT DO WE  
KNOW SO FAR?

**Лихачева Галина Вячеславовна<sup>1</sup>, Чернева Мирослава Александровна<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> МГУ имени М.В. Ломоносова, Биологический факультет

**Likhacheva Galina Vyacheslavovna<sup>1</sup>, Cherneva Miroslava Aleksandrovna<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Lomonosov Moscow State University, Moscow

## Введение

Немертины – типа несегментированных червеобразных организмов. Их главной отличительной чертой является наличие хобота – трубковидного органа, лежащего в специальной полости, заполненной жидкостью (ринхоцели), способного выворачиваться наружу. Они весьма широко распространены, среди немертин есть морские планктонные, пресноводные и даже наземные виды, однако подавляющее большинство немертин – бентосные морские организмы.

На данный момент морфология и систематика немертин активно изучаются, поскольку до сих пор есть довольно мало сведений по этим важным научным вопросам. Среди уже имеющихся данных довольно много путаницы. Например, в двадцатом веке систематика этого типа неоднократно пересматривалась, и одним из признаков разделения родов и видов был такой орган, как головная железа. Это разнородный комплекс желез, расположенных на переднем конце немертин. Так, Сундберг (Sundberg, 1979) работал с видом *Tetrastemma laminariae* и изучал головные железы этого вида на большой выборке. Он пришел к выводу, что длина головных желез этих немертин варьирует в небольших пределах. Однако у типового экземпляра этого вида головная железа оказалась более протяженной, чем у всех немертин, изученных Сундбергом (Chernyshev, 2003).

На данный момент не существует классификации головных желез, хотя, очевидно, они весьма сильно варьируют между видами и тем более классами немертин. Считается, что есть минимум три типа групп желез: это фронтальная железа, связанная с фронтальным органом (который есть не у всех немертин), собственно головные железы, диффузные и открывающиеся наружу через покровы, и субмышечные железы, лежащие под мускулатурой стенки тела (Чернышев, 2011). Однако зачастую установить происхождение этих желез у немертин по морфологии крайне затруднительно. Кроме этого, традиционно существует предположение, что большинство этих желез слизистые, но это, по всей видимости, ошибочно.

У беломорской гоппонемертины *Arctostemma arcticum* (Uschakov, 1926) сквозь покровы в головной части видна светоотражающая структура между церебральными ганглиями и второй парой глаз. Строение и функции этой структуры ранее известны не были.

## Цель работы

Целью работы стало исследование этой неизвестной структуры головного конца немертины *Arctostemma arcticum*.

## Материалы и методы

Материал был собран тралом в окрестностях Беломорской биологической станции МГУ летом 2021, 2022 и 2023 годов. Для проведения работы животные фиксировались для дальнейшего заключения в смолу или в парапласт, а затем раскладывались на серию срезов с последующим окрашиванием метиленовым синим, по Азану, муцикармином. Также проводились эксперименты на живых особях с изменением осмотических концентраций. Кроме этого, несколько особей исследовались на трансмиссионном электронном микроскопе.

## Результаты и обсуждение

С помощью полутонкой гистологии и изучения ультраструктуры на ТЭМ, было выяснено, что в области интереса расположены клетки, чья цитоплазма практически полностью занята большими вакуолями. При этом хорошо развитых ЭПР или аппаратов Гольджи не наблюдалось.

Первая и самая простая гипотеза, которую мы поставили – эта структура могла оказаться слизистой железой. Для выяснения этого было проведено окрашивание серии срезов на мукополисахариды (с помощью окрашивания муцикармином). Цитоплазма клеток, действительно, окрашивалась, однако сами вакуоли нет.

Далее аутофлуоресценция объекта была исследована методом широкопольной микроскопии при длине волны возбуждения 435/40 нм и длине волны эмиссии 500 нм. Области с высокой аутофлуоресценцией не совпадали с вакуолизированными структурами.

Кроме этого, мы провели эксперимент по осморегуляции, чтобы проверить, участвуют ли каким-то образом эти вакуоли в водно-солевом обмене, однако в зависимости от условий эти клетки изменялись так же, как и клетки окружающих тканей.

Также голова *Arctostemma arcticum* была исследована на конфокальным микроскопе, окрашенная с помощью антител к фаллоидину, серотонину и  $\alpha$ -FMRFамиду. Зона интереса находилась в промежутках между густой мышечной сетью и, как и предполагалось, с помощью использованных антител не прокрашивалась.

Таким образом, можно подытожить, что данная светоотражающая структура не является слизистой железой, не является сигнальной структурой (так как отсутствует аутофлуоресценция), не участвует в осморегуляции.

На данный момент мы работаем с зафиксированными немертинами после эксперимента с нейтральным красным – при добавлении этого вещества в среду его всасывают вакуоли и его цвет помогает определить рН внутри них. Кроме этого, планируется выполнение 3D-реконструкции головы немертины по серии полутонких срезов, возможно, это позволит установить, открывается ли структура каким-либо протоком на поверхность тела.



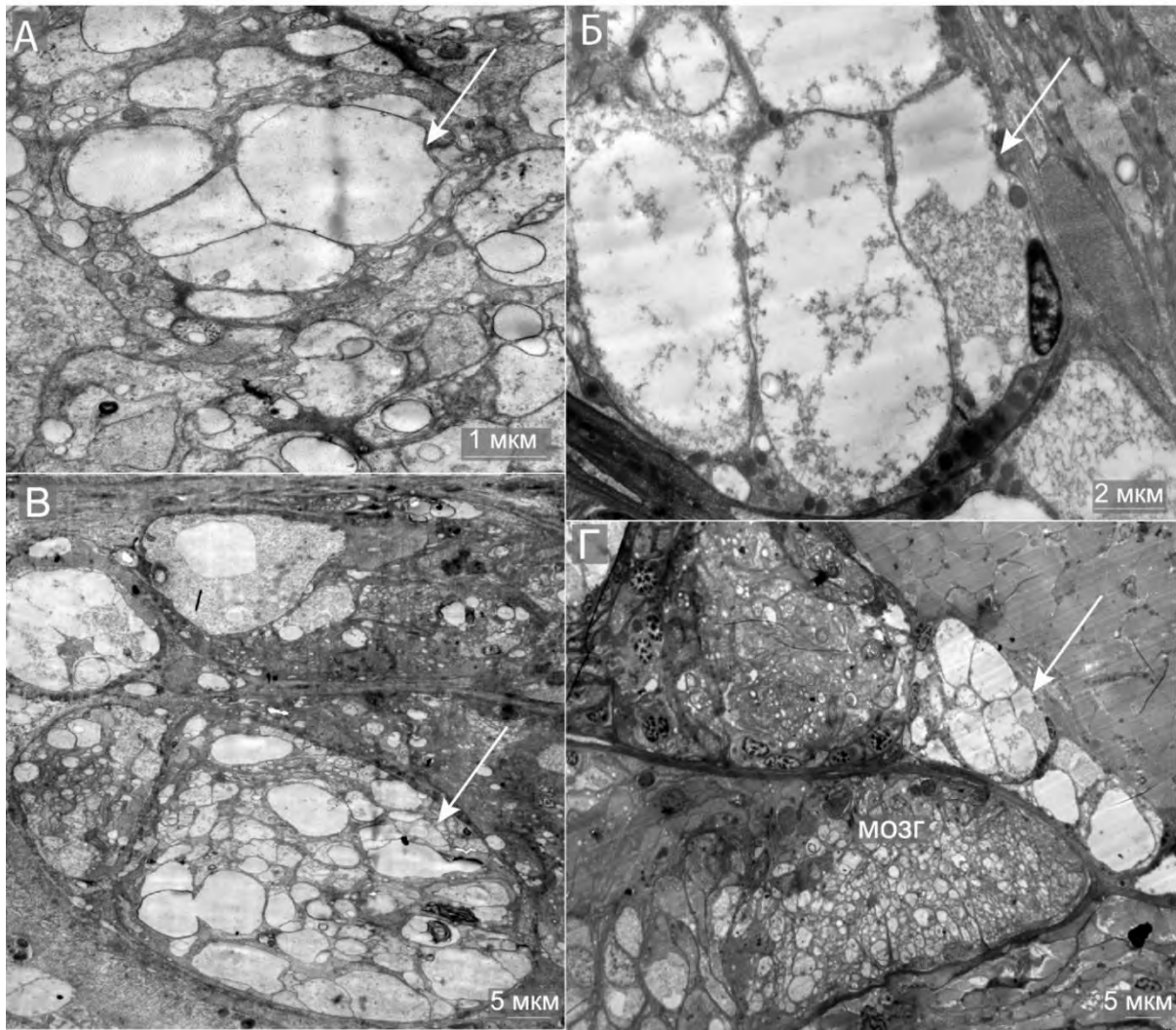


Рис. 1. Трансмиссионная электронная микроскопия. Стрелка указывает на вакуоли.

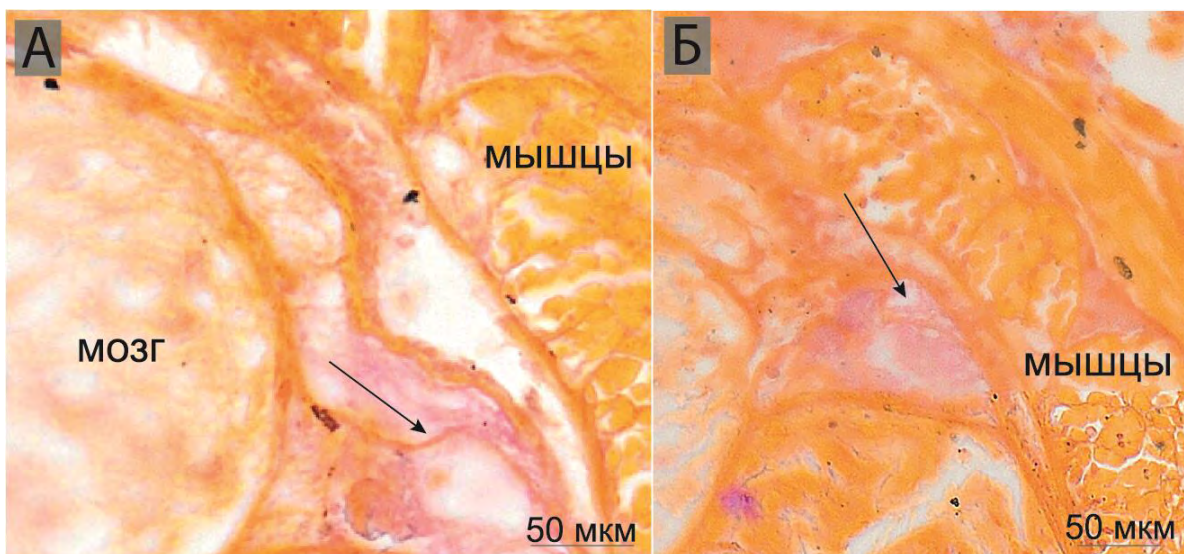


Рис. 2. Окрашивание муцикармином, мукополисахариды окрашиваются оттенками красного. А – неокрашенная вакуолярная жидкость, Б – окрашенная цитоплазма клетки. Стрелкой показана зона интереса.

### Список литературы:

1. Чернышев, А. В. Сравнительная морфология, систематика и филогения немертин. // Дальнаука, 2011.
2. Chernyshev, A. A new species of *Tetrastemma* from the Sea of Japan and redescription of *Tetrastemma laminariae* Uschakov, 1928 (Nemertea: Tetrastemmatidae). *Zoosystematica Rossica* 12.1 (2003): 19-22.
3. Sundberg P. Statistical analysis of variation in characters in *Tetrastemma laminariae* (Nemertini), with a redescription of the species. *Journal of Zoology* 189.1 (1979): 39-56.

УДК 3176

Рубрика 34.33.15

СТРОЕНИЕ РЕПРОДУКТИВНОЙ СИСТЕМЫ ПАРТЕНОГЕНЕТИЧЕСКИХ САМОК  
PODON LEUCARTII (G.O. SARS, 1862)

STRUCTURE OF THE REPRODUCTIVE SYSTEM OF PARTHENOGENETIC FEMALES  
PODON LEUCARTII (G.O. SARS, 1862)

**Дегтярева Елена Константиновна**<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Кафедра зоологии беспозвоночных, Биологический факультет, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва

<sup>2</sup> Лаборатория экологии водных сообществ и инвазий, Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, Москва

**Degtyareva Elena Konstantinovna**<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Department of Invertebrate Zoology, Biological Faculty, M.V. Lomonosov Moscow State University, Leninskie Gory, Moscow

<sup>2</sup> Laboratory of Ecology of Aquatic Communities and Invasions, A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution, the Russian Academy of Sciences, Moscow

## **Введение**

Хотя наибольшего разнообразия ветвистоусые ракообразные достигли в пресных водах, на данный момент известно около трех десятков морских и солоноводных видов. Значительная их часть относится к семейству Podonidae, отряда Onychopoda, однако есть и представители из других отрядов: *Penilia avirostris* (Ctenopoda), *Moina salina* (Anomopoda).

Репродуктивная система самок большинства ветвистоусых ракообразных состоит из яичников, яйцеводов и выводковой камеры. Выводковая камера у солоноводных видов (известно для Onychopoda; Moinidae, Anomopoda; *P. avirostris*, Ctenopoda) представляет собой замкнутую полость в задней части туловища, окруженную гиподермой и раковинкой. У большей части ветвистоусых ракообразных именно в ней вынашиваются эмбрионы. У представителей семейства Podonidae, а также у *P. avirostris* (Ctenopoda) внутри выводковой камеры располагается выводковая сумка, исполняющая роль матки (Аладин, Коровчинский, 1984; Rivier, 1998). Таким образом, эмбрионы оказываются отделены от внешней среды тремя оболочками: хитиновой раковинкой, тонким слоем гиподермы и стенкой выводковой сумки. Узкий канал соединяет стенку выводковой сумки и гиподерму. В процессе развития эмбрионов канал расширяется. Сквозь него взрослые эмбрионы выходят в пространство между гиподермой и хитиновой раковинкой, а затем попадают во внешнюю среду во время линьки матери.

Питание эмбрионов ветвистоусых ракообразных, имеющих подобное строение репродуктивной системы, может быть различным. Для *Polyphemus pediculus* (Onychopoda) и большинства Moinidae (Anomopoda) характерно наличие специальной железы - плацентарного органа (Kuhn, 1913; Patt, 1947; Goulden, 1968), в то время как у *P. avirostris* (Ctenopoda) и представителей Cercopagididae (Onychopoda) роль железистого органа выполняет сама выводковая сумка (Аладин, Коровчинский, 1984; Ривьер, 1969).

Согласно литературным данным, у представителей семейства Podonidae (Onychopoda) отсутствует плацентарный орган. Выводковая сумка Podonidae является производным гиподермы и, согласно Ривьер (1969), маловероятно, что она выполняет роль секретирующего органа.

Целью данной работы является исследование строения репродуктивной системы *Podon leucartii* при помощи гистологических и ультраструктурных методов.

### **Результаты**

Яичники *Podon leucartii* имеют стандартное для Onychopoda строение. Выводковая сумка партеногенетических самок *P. leucartii* состоит из одного слоя клеток. Клетки выводковой сумки заметно тоньше клеток гиподермы. Со стороны кишечника обнаружены укрупненные вакуолизованные клетки, изначально принятые автором за измененные клетки выводковой сумки. В результате изучения ультраструктуры выводковой сумки методом трансмиссионной электронной микроскопии было обнаружено, что укрупненные вакуолизованные клетки подостланы тонкими клетками выводковой сумки и находятся между выводковой сумкой и кишечником.

### **Выводы**

Строение репродуктивной системы *Podon leucartii* в целом не отличается от строения репродуктивной системы как других Podonidae, так и большинства Onychopoda и состоит из парных яичников, яйцеводов, замкнутой выводковой камеры и замкнутой выводковой сумки. Между выводковой сумкой и кишечником находятся крупные вакуолизованные клетки, которые предположительно функционируют как плацентарный орган. Подобное строение репродуктивной системы, вероятно, является признаком высокой специализации морских ветвистоусых ракообразных.

Вопросы механизма работы «плацентарного органа» и взаимодействия клеток выводковой сумки, «плацентарного органа» и клеток кишечника требуют дальнейшего изучения.

### **Благодарность**

Автор благодарит А.А. Котова, А.Н. Неретину, А.Ю. Синева, М.А. Петрову, Н.Н. Коровчинского и О.С. Бойкову за помощь и проявленный интерес к работе. Также автор благодарит сотрудников Беломорской биологической станции МГУ за предоставленную возможность работы на территории станции и сотрудников Межфакультетской лаборатории электронной микроскопии МГУ за предоставленное оборудование и помощь в работе на нем.

### **Финансирование**

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 22-14-00258)

### **Список литературы:**

1. Аладин Н. В., Коровчинский Н. М. Обоснование разделения семейства Sididae (Crustacea, Cladocera) на два подсемейства // Зоологический журнал. – 1984. – Т. 63. – №. 9-12. – С. 1329-1336.

2. Ривьер И. К. Размножение церкопагид (Cladocera, Polyphemidae) Каспийского моря //Физиология водных организмов и их роль в круговороте органического вещества. Л.: Наука. – 1969. – №. 19(22). – С. 119-128.
3. Goulden C. E. The systematics and evolution of the Moinidae //Transactions of the American Philosophical Society. – 1968. – Vol. 58, No. 6. – P. 1-101.
4. Kühn A. Die Sonderung der Keimesbezirke in der Entwicklung der Sommereier von Polyphemus pediculus de Geer //Zool Jb Anat. – 1913. – Vol. 35. – P. 243-340.
5. Patt D. I. Some Cytological Observations on the Nährboden of Polyphemus pediculus Linn //Transactions of the American Microscopical Society. – 1947. – Vol. 66, No. 4. – P. 344-353.
6. Rivier I. K. et al. The predatory Cladocera (Onychopoda: Podonidae, Polyphemidae, Cercopagidae) and Leptodorida of the World //Guides to the identification of the micro-invertebrates of the continental waters of the world. – 1998. – Vol. 3. – 213 p.



УДК 592

Рубрика 34.33.15

ИЗУЧЕНИЕ НАУПЛИАЛЬНЫХ СТАДИЙ КОПЕПОД РОДА CALANUS В КАРСКОМ МОРЕ ЛЕТОМ 2021 ГОДА

THE STUDY OF COPEPODS NAUPLIAL STAGES OF THE GENUS CALANUS IN THE KARA SEAS IN THE SUMMER 2021

**Ступникова Александра Николаевна<sup>1</sup>, Дриц Александр Викторович<sup>1</sup>, Симакова Ульяна Вадимовна<sup>1</sup>, Москаленко Виктория Никитична<sup>1</sup>, Мельникова Софья Алексеевна<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН (ИО РАН), Москва*

<sup>2</sup> *Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н.И. Пирогова (РНИМУ им. Н.И. Пирогова), Москва*

**Stupnikova Alexandra Nikolaevna<sup>1</sup>, Drits Alexander Viktorovich<sup>1</sup>, Simakova Ulyana Vadimovna<sup>1</sup>, Moskalenko Victoria Nikitichna<sup>1</sup>, Melnikova Sofya Alekseevna<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *P.P. Shirshov Institute of Oceanology, Moscow*

<sup>2</sup> *Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow*

## Введение

*Calanus finmarchicus*, *C. glacialis* и *C. hyperboreus* доминируют в Северной Атлантике и Арктике. Они играют ключевую роль в морских пищевых цепях как потребители первичных продуцентов и микрозоопланктона и как добыча для многих коммерческих и некоммерческих видов [Falk-Petersen et al., 2009]. Эти копеподы считаются видами-индикаторами арктических и атлантических вод соответственно, а изменения в их распространении часто используются в качестве инструмента для отслеживания последствий изменения климата в морских экосистемах северного полушария [Broms et al., 2009].

Карское море находится под влиянием арктических вод и течений, берущих своё начало в Атлантическом океане, что сказывается на жизненных циклах, размерах и распространении этих видов копепод. До сих пор нет однозначного ответа, могут ли размножаться все три вида рода *Calanus* в Карском море. Эти три вида имеют разные основные ареалы распространения и развили разные жизненные стратегии в зависимости от физической и биологической среды, которой они подвергаются. Самый мелкий из трех видов, бореальный *C. finmarchicus*, имеет 1-летний жизненный цикл в самой северной части своего ареала. Вид среднего размера – арктический *C. glacialis* – населяет Северный Ледовитый океан, максимальная численность которого в настоящее время приурочена к внешнему шельфу и склонам [Ershova et al., 2021]. *Calanus glacialis* имеет жизненный цикл 1–2 года [Kosobokova, 1999]. Самый крупный арктический океанический вид *C. hyperboreus* адаптировался к экстремальным условиям олиготрофного Северного Ледовитого океана, он начинает размножаться зимой на глубине, питаясь исключительно внутренними ресурсами, а жизненный цикл может длиться до 4 лет в зависимости от экстремальности окружающей среды [Ashjian et al., 2003]. Все три вида развиваются через шесть стадий науплиусов (NI-NVI), за которыми следуют шесть стадий копеподита (CI-CVI), из которых стадия CV развивается либо во взрослого самца (CVI, AM), либо во взрослую самку (CVI, AF).



В настоящей работе проведено исследование науплиальных стадий рачков рода *Calanus* в Карском море, собранных летом 2021 года, а именно их видовая идентификация по размерам и по фрагменту 16S.

## Материалы и методы

Сборы зоопланктона осуществлялись во время 83-го рейса НИС "Академик Мстислав Келдыш" в Карское море в июне-июле 2021 года на ст. 7017, 7020, 7025 (рис. 1) сетью Джеди-37 с ячейей 180 микрон тотально от поверхности до дна. Всего проанализировано 72 науплия *Calanus* spp., с промером длины и определением стадии развития. Мы пользовались размерными диапазонами для науплиусов разных видов по стадиям, выведенных в экспериментальной работе [Jung-Madsen, Nielsen, 2015].

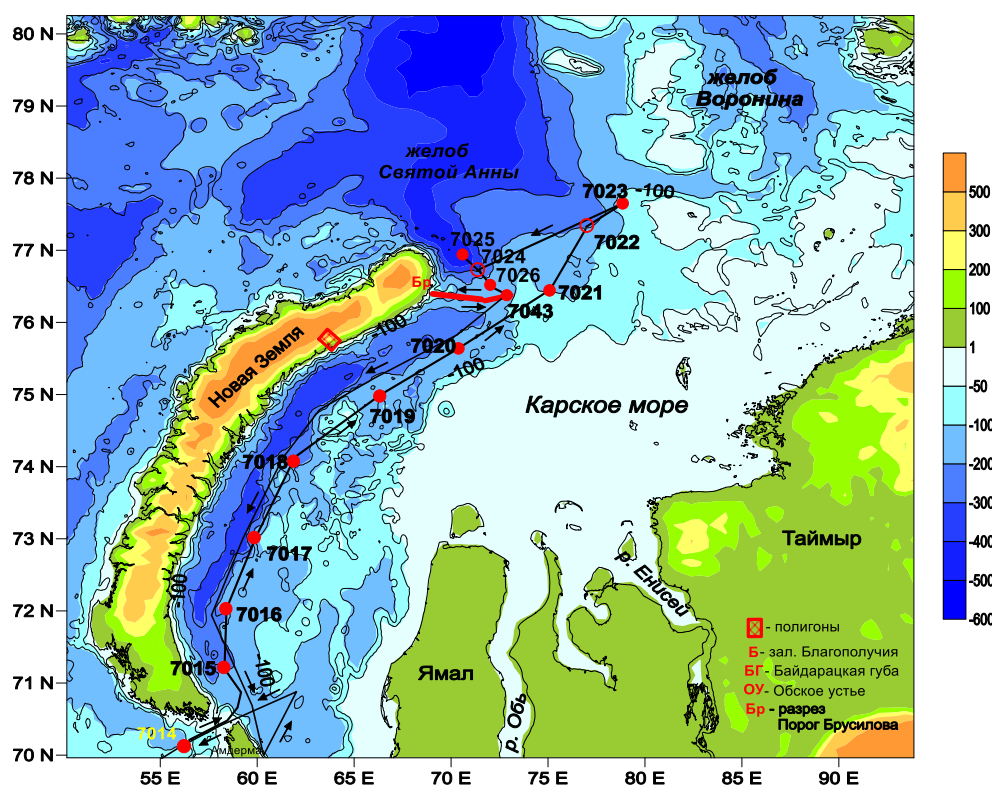


Рис. 1. Схема маршрута и расположение станций 83-го рейса НИС "Академик Мстислав Келдыш" в Карское море в июне-июле 2021 года

Для выделения ДНК из целых рачков использовали метод прямого лизиса с использованием WLB (на 100 мкл: 10 мкл 10xTaqBuffer без MgCl<sub>2</sub> (Evrogen), 10 мкл Proteinase K (10 мг/мл), 10 мкл водного раствора Chelex (5% w/v)) в 96 луночных планшетах (сушка при 60С, добавление 50 мкл WLB, инкубация при 56С в течение 1 ч., а при 98С – 10 мин.). ПЦР проводили с помощью HS-ScreenMix (Evrogen) и пары праймеров C\_16s\_Fd1 и C\_16s\_Rd1 [Smolina et al., 2014] при температуре отжига 54С. Секвенирование проводили с помощью набора реактивов ABI PRISM® BigDye™ Terminator v. 3.1 с последующим анализом продуктов реакции на автоматическом секвенаторе Applied Biosystems 3500 Genetic Analyzer.

## Результаты

Каждый науплий был определен до вида двумя способами - по длине просомы и общей длине, и по фрагменту гена 16S. На рис. 2 показано, как соотносятся между собой определение по морфологии и молекулярно-генетическим методом. Из диаграммы видно, что на всех стадиях определение вида по длине просомы приводит к ошибкам.

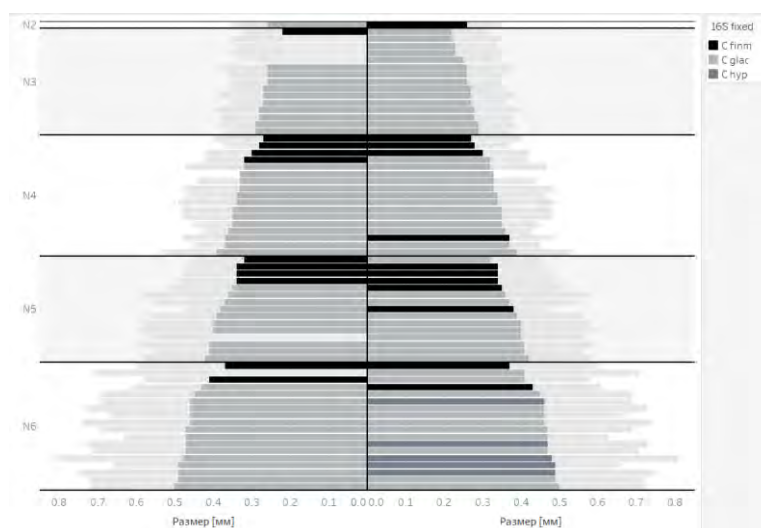


Рис. 2. Видовая принадлежность изученных науплиусов, определенная по размеру особи (слева от оси) и по фрагменту 16S (справа от оси).

## Обсуждение

Несмотря на обширную доступную литературу, идентификация этих двух видов остается сложной задачей. Ни один из морфологических признаков, описанных в литературе, не может надежно идентифицировать копепоидитные стадии *C. finmarchicus* и *C. glacialis* [Choquet et al., 2018]. Из соображений удобства измерение длины просомы остается наиболее часто используемым методом разделения двух видов. При этом описано хорошее расхождение в структуре митохондриального фрагмента 16S рДНК для *C. glacialis* и *C. finmarchicus* [Bucklin et al., 1999, Lindeque et al., 1999].

Нами показано, что метод определения науплиусов до вида по длине просомы и общей длине неинформативен. Никаких морфологических различий у науплиусов *C. glacialis* и *C. finmarchicus* не обнаружено.

С помощью молекулярно-генетических методов впервые показано, что в Карском море летом 2011 года присутствовали науплии трех видов рода *Calanus*: *C. glacialis*, *C. finmarchicus*, *C. hyperboreus*.

## Финансирование

Исследование выполнено при поддержке Государственного задания в рамках НИР № FMWE-2021-0009

## Список литературы:

1. Ashjian C., Campbell R., Welch H., Butler M., Keuren D. Annual cycle in abundance, distribution, and size in relation to hydrography of important copepod species in the western

- Arctic Ocean // Deep Sea Res. Part I: Oceanographic Research Papers. – 2003. – Vol. 50. – ap. 1235-1261. Doi:10.1016/S0967-0637(03)00129-8.
2. Broms C., Melle W., Kaartvedt S. Oceanic distribution and life cycle of *Calanus* species in the Norwegian Sea and adjacent waters // Deep Sea Res. Part II: Topical Studies in Oceanography. – 2009. – Vol. 56, № 21–22. – P. 1910-1921. Doi:10.1016/j.dsr2.2008.11.005
  3. Bucklin A., Guarnieri M., Hill R.S. et al. Taxonomic and systematic assessment of planktonic copepods using mitochondrial COI sequence variation and competitive, species-specific PCR // Hydrobiol. – 1999. – Vol. 401. – P. 239-254.
  4. Choquet, M., Kosobokova, K., Kwaśniewski, S., Hatlebakk, M., Dhanasiri, A.K.S., Melle, W., Daase, M., Svensen, C., Søreide, J.E., Hoarau, G. Can morphology reliably distinguish between the copepods *Calanus finmarchicus* and *C. glacialis*, or is DNA the only way? // Limnol. Oceanogr. Methods. – 2018. – Vol. 16. – P. 237-252. <https://doi.org/10.1002/lom3.10240>
  5. Ershova E.A., Kosobokova K.N., Banas N.S., Ellingsen I., Niehoff B., Hildebrandt N., Hirche H.J. Sea ice decline drives biogeographical shifts of key *Calanus* species in the central Arctic Ocean // Global Change Biol. – 2021. – Vol. 27. – P. 2128-2143
  6. Falk-Petersen S., Mayzaud P., Kattner G., Sargent J.R. Lipids and life strategy of Arctic *Calanus* // Mar. Biol. Res. – 2009. – Vol. 5, № 1. – P. 18-39. DOI: 10.1080/17451000802512267
  7. Jung-Madsen S., Nielsen T.G. Early development of *Calanus glacialis* and *C. finmarchicus* // Limnology and Oceanology. – 2015. – Vol. 60, № 3. – P. 934-946. <https://doi.org/10.1002/lno.10070>
  8. Kosobokova, K. The reproductive cycle and life history of the Arctic copepod *Calanus glacialis* in the White Sea. *Polar Biol* **22**, 254–263 (1999). <https://doi.org/10.1007/s003000050418>
  9. Lindeque P. K., Harris R. P., Jones M. B. et al. Simple molecular method to distinguish the identity of *Calanus* species (Copepoda: Calanoida) at any developmental stage // Mar. Biol. – 1999. – Vol. 133. – P. 91-96.
  10. Smolina I., Kollias S., Poortvliet M., Nielsen T.G., Lindeque P., Castellani C., Møller E.F., Blanco-Bercial L., Hoarau G. Genome- and transcriptome-assisted development of nuclear insertion/deletion markers for *Calanus* species (Copepoda: Calanoida) identification // Mol. Ecol. Resour. – 2014. – Vol. 14, № 5. – P. 1072-9. doi: 10.1111/1755-0998.12241

УДК 593.714.2

Рубрика 34.15.49

УЧАСТИЕ СИГНАЛЬНОГО ПУТИ cWNT В МОЛЕКУЛЯРНОЙ РАЗМЕТКЕ  
АРХИТЕКТУРНО СЛОЖНОЙ КОЛОНИИ ГИДРОИДНОГО ПОЛИПА DYNAMENA  
PUMILA

CWNT SIGNALING PATHWAY IN THE MOLECULAR PATTERNING OF  
ARCHITECTURALLY COMPLEX COLONY OF THE HYDROZOAN DYNAMENA  
PUMILA

**Ветрова Александра Александровна<sup>1,2</sup>, Лебедева Татьяна Семёновна<sup>3</sup>, Кремнёв  
Станислав Валерьевич<sup>1,4</sup>**

<sup>1</sup> ИБР РАН им. Н. К. Кольцова, Москва

<sup>2</sup> СПбГУ, Санкт-Петербург

<sup>3</sup> Венский Университет, Вена

<sup>4</sup> МГУ им. М. В. Ломоносова, Москва

**Vetrova Alexandra Aleksandrovna<sup>1,2</sup>, Lebedeva Tatyana Semenovna<sup>3</sup>, Kremnev  
Stanislav Valerievich<sup>1,4</sup>**

<sup>1</sup> Koltsov Institute of Developmental Biology, Moscow

<sup>2</sup> Saint Petersburg State University, Saint Petersburg

<sup>3</sup> University of Vienna, Vienna

<sup>4</sup> Lomonosov Moscow State University, Moscow

## Введение

Одним из важнейших сигнальных путей, регулирующих развитие животных, является канонический сигнальный путь cWnt. У большинства исследованных в этом отношении животных он обеспечивает молекулярную разметку основной оси тела [Petersen, Reddien, 2009]. У представителей типа Cnidaria этот каскад участвует в формировании орально-aborальной оси тела на всех этапах жизненного цикла [Holstein, 2022].

Среди стрекающих наиболее широкий спектр морфологического разнообразия демонстрируют колониальные гидроидные полипы (Hydrozoa). Колонии гидроидов различаются по архитектуре и сложности устройства [Cartwright et al., 2021]. В случае столонических колоний, например, у *H. echinata*, от стелящегося по субстрату столона через определённые промежутки отходят отдельные радиально симметричные питающиеся зооиды (гидранты). В других случаях от столона отходят побеги, несущие множество гидрантов. Такие колонии по архитектуре и типу симметрии различают на симподиальные и моноподиальные [Kosevich, 2005]. Рост побега осуществляется за счёт особого органа, верхушки роста, расположенного на его дистальном конце. Циклические морфогенетические процессы, происходящие в верхушке, также определяют архитектуру колонии гидроидов [Kosevich, Fedosov, 2008].

Сами морфогенетические процессы, происходящие в верхушках роста колоний гидроидов, описаны достаточно подробно. Однако исследования молекулярных механизмов, регулирующих формирование плана строения, ранее не затрагивали колонии со сложной архитектурой и касались либо одиночных полипов, либо относительно просто устроенных колоний [Cartwright et al., 2021]. Между тем, именно отличия в активности молекулярных механизмов могут стоять за тем буйством форм, демонстрируемым гидроидами.

Предметом этого исследования стала молекулярная разметка верхушки роста побега колонии текатного гидроида *Dynamena pumila*. *D. pumila* обладает моноподиальной колонией, тело которой покрыто хитиновым перисарком (текой). Побег колонии состоит из повторяющихся модулей, в каждом из которых можно выделить отрезок колонии в центре и два гидранта, расположенных по бокам. Два гидранта расположены несколько под углом по отношению друг другу, из-за чего побег имеет билатеральную симметрию.

В ходе морфогенетического цикла верхушка роста побега делится на три зачатка. Центральный зачаток дифференцируется в новый отрезок побега с зачатком верхушки роста на кончике, а боковые зачатки дадут начало новым гидрантам. Мы предположили, что в спецификации зачатков верхушки роста побега ключевую роль играют компоненты сигнального пути Wnt и лиганды Wnt. Методом гибридизации *in situ* мы исследовали их экспрессию в ходе морфогенеза верхушки роста колонии *D. pumila*.

## Результаты

Мы получили паттерны экспрессии генов Wnt-лигандов (*wnt2*, *wnt3*, *wnt6*, *wnt7*, *wnt8* и *wnt9/11*), генов компонентов сигнального пути cWnt (*axin*,  $\beta$ -*catenin* и *tcf*), а также эндогенных ингибиторов этого сигнального пути (*sfrp1* и *notum*).

В самом начале нового морфогенетического цикла, когда верхушка роста начинает выгибаться вверх, в ней равномерно визуализируется экспрессия генов *wnt3*, *wnt6*, *wnt8* и *wnt9/11*, и его генов компонентов (*axin*,  $\beta$ -*catenin* и *tcf*). Экспрессия генов *wnt2* и *wnt7* оказалась иной. Экспрессия *wnt2* на первом этапе морфогенеза была детектирована под верхушкой, окаймляя её. Экспрессия *wnt7* наблюдается в области будущих гидрантов с самого начала формирования верхушки роста.

На следующем этапе верхушка роста расширяется в плоскости побега и принимает форму уплощённого обратного конуса. На этой стадии экспрессия *wnt2* была обнаружена на латеральных поверхностях верхушки. Там же была обнаружена экспрессия  $\beta$ -*catenin*, кроме того, этот ген экспрессируется в апикальной эпидерме верхушке. Гены *wnt3*, *wnt6*, *wnt8*, *axin* и *tcf* тоже экспрессируются в апикальной эпидерме, однако экспрессия *wnt6* в области формирования зачатков гидрантов усиливается. В свою очередь, сигнал экспрессии *wnt9/11* усиливается в области формирования центрального зачатка. Экспрессия *wnt7* маркирует зачатки гидрантов, экспрессируясь в виде двух пятнышек в апикальной эпидерме.

На следующем этапе в верхушке начинают разделяться три зачатка (Рисунок 1). Разделение идёт за счёт двух пар хитиновых септ, которые начинают формироваться и расти навстречу друг другу из хитинового перисарка на фронтальных поверхностях верхушки. На этой стадии экспрессия *wnt2* наблюдается на латеральных поверхностях верхушки роста побега в виде полуколец под зачатками гидрантов. Экспрессия *wnt3* наблюдается во всей апикальной эпидерме, несколько усиливаясь по линии разделения зачатков. Экспрессия *wnt6* представляет собой два чётких пятна над каналами гастродермы в зачатках гидрантов, а экспрессия *wnt7* визуализируется в виде колец в апикальной эпидерме зачатков гидрантов. Ген *wnt8* экспрессируется полосой вокруг верхушки роста. Наконец, сигнал экспрессии *wnt9/11* в апикальной эпидерме усиливается по линии разделения зачатков, а также в



апикальной эпидерме боковых зачатков, где визуализируется паттерн в виде полуколец. Также по линии разделения зачатков усиливается экспрессия *axin*,  $\beta$ -*catenin* и *tcf*.

Когда три зачатка полностью разделяются, экспрессия *wnt2* сохраняется в виде полуколец под зачатками гидрантов. Сигнал экспрессии *wnt3* ослабевает в центральном зачатке верхушки роста, но сохраняется в зачатке гидрантов. Особенно ярко он визуализируется в эпидерме, прилегающей к зачатку верхушки роста. Паттерн экспрессии *wnt6* представляет собой два кольца, видимо, отмечая область формирования рта у гидрантов. Также в виде колец визуализируется экспрессия *wnt7*. Ген *wnt8* продолжает экспрессироваться равномерно, а экспрессия *wnt9/11* наблюдается в области границ между зачатками. Экспрессия *axin* и *tcf* визуализируется только в латеральных зачатках гидрантов.  $\beta$ -*catenin* визуализируется под зачатками гидрантов и в их апикальной эпидерме.

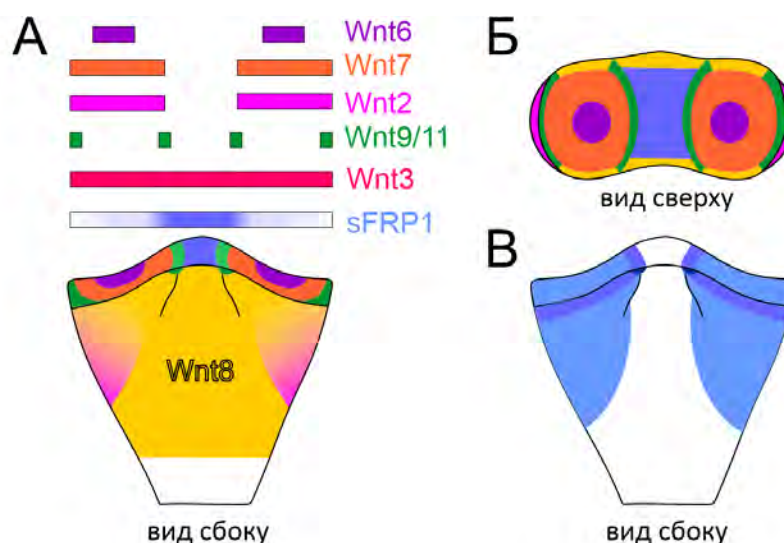


Рисунок 1. Схема разметки верхушки роста побега колонии *D. pumila* во время её разделения на три зачатка. (А, Б) Схема разметки верхушки роста побега генами лигандов Wnt и *sfrp1*. (В) Обобщённая схема активности сигнального пути cWnt в верхушке роста побега (на основе паттернов экспрессии *wnt3*, *axin*,  $\beta$ -*catenin* и *tcf*).

Исчезновение экспрессии генов компонентов сигнального пути cWnt из центрального зачатка, видимо, связано с экспрессией там гена *sfrp1*. Вероятно, продукт этого гена снижает активность канонического cWnt каскада в центральном зачатке, направляя его спецификацию в сторону зачатка верхушки роста. Экспрессия другого эндогенного ингибитора, *notum*, была обнаружена в эпидерме фронтальных сторон побега под верхушкой роста на самых ранних этапах её формирования. На одной фронтальной стороне сигнал экспрессии оказался выше, чем на другой. Возможно, этот ген принимает участие в формировании билатеральной симметрии побега.

## Выводы

Согласно полученным данным, лиганды Wnt и гены компоненты сигнального пути cWnt осуществляют разметку верхушки роста побега *D. pumila* с первых этапов морфогенетического цикла. На первых этапах морфогенеза активность этого сигнального пути, видимо, необходима для её нормального функционирования. Далее сигнал экспрессии некоторых исследованных генов усиливается по линии разделения зачатков верхушки.



Можно предположить, что сигнальный путь *cWnt* участвует в определении границ между зачатками. Затем активность сигнального пути *cWnt* падает в центральной зачатке верхушки, но сохраняется и даже усиливается в боковых зачатках. Вероятно, именно разница в активности сигнального пути *cWnt* направляет спецификацию зачатков верхушки роста. Поскольку паттерны экспрессии *wnt2* и *wnt7* с первых этапов морфогенеза ассоциированы с зачатками гидрантов, можно утверждать, что верхушка роста побега предразмечена с самого начала морфогенеза.

### **Благодарность**

Авторы благодарят Биологическую биостанцию МГУ им. Н. А. Перцова за возможность осуществить это исследование.

### **Финансирование**

Исследование/проект выполнен при поддержке гранта РФФИ №23-74-10046.

### **Список литературы:**

1. Cartwright P., Travert M.K., Sanders S.M. The evolution and development of coloniality in hydrozoans//Journal of Experimental Zoology Part B: Molecular and Developmental Evolution, 2021, Vol. 336, No. 3, P. 293-299.
2. Holstein T.W. The role of cnidarian developmental biology in unraveling axis formation and Wnt signaling//Developmental Biology, 2022, T. 487, C. 74-98.
3. Kosevich I.A. Mechanics of growth pulsations as the basis of growth and morphogenesis in colonial hydroids//Russian Journal of Developmental Biology, 2005, Vol. 37, No. 2, P. 90-101.
4. Kosevich I.A., Fedosov A.E. Morphogenesis in colonial hydroids: Pulsating rudiment splitting//Russian Journal of Developmental Biology, 2008, Vol. 39, Morphogenesis in colonial hydroids, No. 5, P. 279-292.
5. Petersen C.P., Reddien P.W. Wnt Signaling and the Polarity of the Primary Body Axis//Cell, 2009, T. 139, N 6, C. 1056-1068.

УДК 593.71

Рубрика 34.33.15

ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ АКТИВНОСТИ WNT/ $\beta$ -КАТЕНИН СИГНАЛЬНОГО ПУТИ НА РАЗВИТИЕ ЭМБРИОНОВ И АГРЕГАТОВ ЭМБРИОНАЛЬНЫХ КЛЕТОК ГИДРОИДНОГО ПОЛИПА *GONOTHYRAEA LOVENI* (HYDROZOA, CNIDARIA)

THE IMPACT OF WNT/ $\beta$ -CATENIN SIGNALING PATHWAY MODULATION ON THE DEVELOPMENT OF EMBRYOS AND EMBRYONIC CELL AGGREGATES IN HYDROZOAN *GONOTHYRAEA LOVENI* (HYDROZOA, CNIDARIA)

**Соколова Мария Алексеевна<sup>1</sup>, Калинкин Алексей Николаевич<sup>1</sup>, Лебедева Татьяна Семеновна<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва

<sup>2</sup> Университет Вены, Вена

**Sokolova Maria Alekseevna<sup>1</sup>, Kalinkin Aleksei Nikolaevich<sup>1</sup>, Lebedeva Tatiana Semenovna<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> M.V. Lomonosov MSU, Moscow

<sup>2</sup> University of Vienna, Vienna

## Введение

Wnt/ $\beta$ -катенин сигнальный путь играет ключевую роль в регуляции эмбрионального развития множества групп организмов, находящихся на значительном эволюционном удалении друг от друга. При этом одной из основных эволюционно консервативных функций Wnt/ $\beta$ -катенин сигнального пути является регуляция определения молекулярной полярности в раннем эмбриональном развитии и дальнейшего формирования основной оси тела развивающегося эмбриона.

Тип Cnidaria занимает важное филогенетическое положение в качестве сестринской группы для Bilateria, что делает их ценными модельными объектами для изучения эволюционной консервативности процессов эмбрионального развития у животных. Удивительной особенностью животных, относящихся к типу Cnidaria, является способность формировать клеточные агрегаты после диссоциации организма на отдельные клетки, которые впоследствии развиваются во взрослый организм. Ранее на актинии *Nematostella vectensis* (Cnidaria, Anthozoa) было показано, что, как и в нормальном эмбриональном развитии, Wnt сигнальный путь необходим для восстановления молекулярной полярности у агрегатов, полученных путем диссоциации-реагрегации эмбриональных клеток.

Среди Cnidaria, для многих животных класса Hydrozoa, в том числе *Gonothyrea loveni*, характерно уникальное эмбриональное развитие - в отличие от *N.vectensis* и большинства других многоклеточных животных, раннее эмбриональное развитие многих гидроидных полипов аполярно. При этом, вопрос вовлеченности Wnt/ $\beta$ -катенин сигнального пути в регуляцию раннего эмбрионального развития у животных типа Cnidaria с аполярным ранним развитием остается малоизученным. В нашей работе мы провели исследование влияния

изменения активности Wnt/ $\beta$ -катенин сигнального пути на развитие эмбрионов гидроидного полипа *Gonothyraea loveni*. Дополнительно мы оценили, как ингибирование и активирование Wnt/ $\beta$ -катенин сигнального пути влияет на формирование и дальнейшее развитие агрегатов, полученных путем диссоциации-реагрегации эмбрионов *Gonothyraea loveni* на стадии гастрюлы.

## Материалы и методы

Материал для проведения работы (колонии морских полипов *G.loveni*) был собран в окрестностях Беломорской биологической станции им. Н.А.Перцова и содержался в условиях протока фильтрованной морской водой. При помощи препаровальных игл нами было произведено извлечение эмбрионов *G.loveni* на стадии гастрюлы из женских споросаков. Половина полученных эмбрионов была отобрана для получения агрегатов эмбриональных клеток, другая половина была определена в контрольную группу (Рис.1). Для проведения работы был модифицирован протокол опубликованный ранее (Kirillova et al. 2018). Для диссоциации клеток отобранные эмбрионы помещали в декальцинированную демагнетизированную искусственную морскую воду ( $\text{Ca}^{2+}$   $\text{Mg}^{2+}$  Free ASW) и суспендировали путем пипетирования при помощи автоматического дозатора с пластиковым наконечником (200 мкл). Полученную суспензию диссоциированных клеток центрифугировали 40 мин при 100g. Для формирования агрегатов нужного размера большой агрегат, формировавшийся на дне пробирки, разрезали (Kirillova et al., 2018). Для модуляции Wnt/ $\beta$ -катенин сигнального пути контрольные эмбрионы и полученные агрегаты обрабатывали фармакологическими агентами: активатором (AZK, 5 $\mu$ M) и ингибитором (iCRT14, 20 $\mu$ M). В качестве контроля отсутствия действия растворителя мы использовали DMSO (диметилсульфоксид) в концентрации равной наибольшей использованной концентрации AZK и iCRT14.

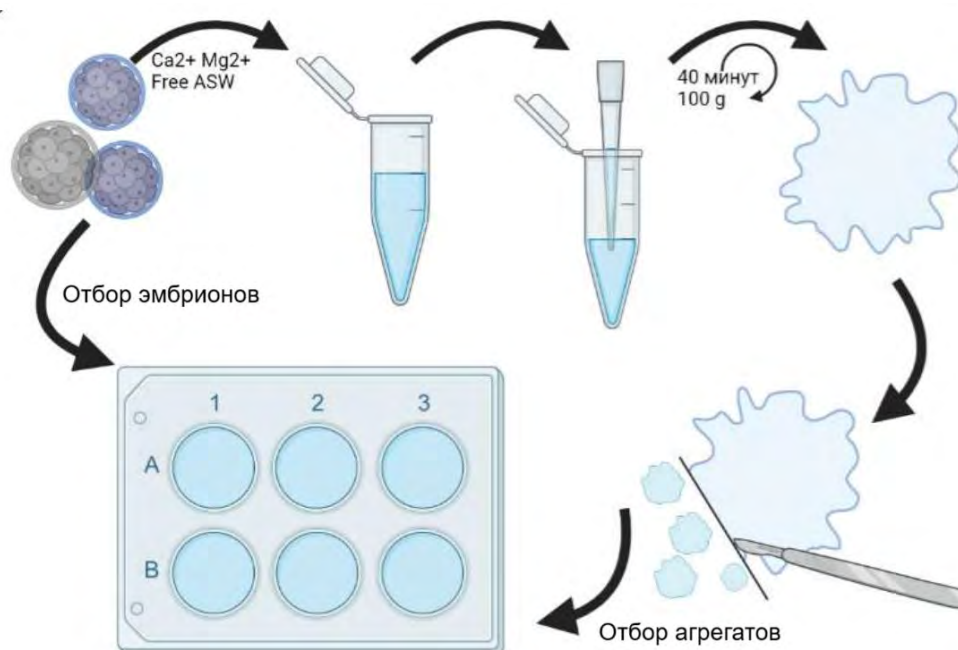


Рис. 1 Схема получения агрегатов путем диссоциации-реагрегации эмбриональных клеток *G.loveni*.

Когда контроль достигал стадии оседания, производилась оценка морфологии агрегатов эмбриональных клеток и эмбрионов и классификация наблюдаемых фенотипов на 4 группы (Рис. 2). К группе “1” относили аполярные агрегаты и эмбрионы, к группе “2” - полярные, но не удлинненные, к группе “3” - удлинненные, к группе “4” - осевшие. Наблюдения за объектами и их фотографирование производили с помощью стереомикроскопа Leica M165C.

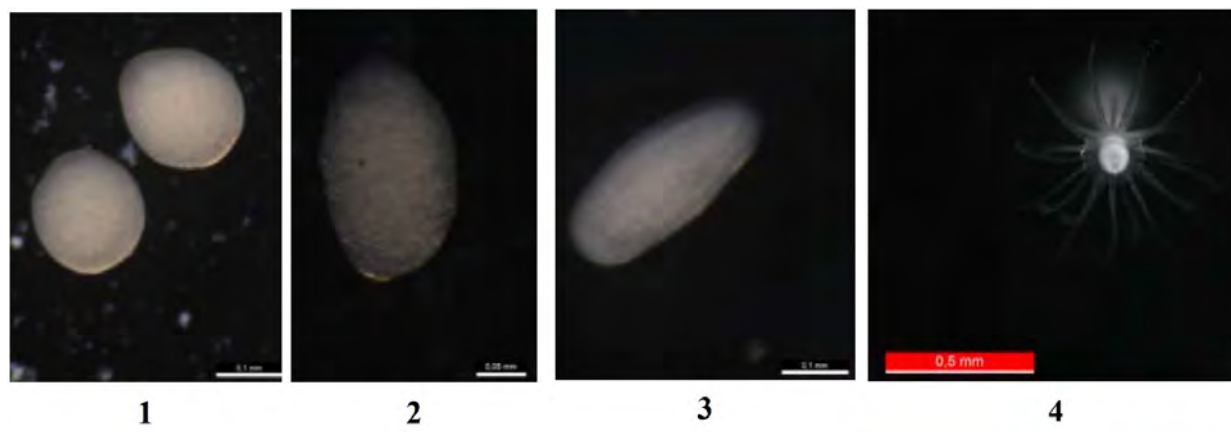


Рис. 2 Классификация морфологии агрегатов эмбриональных клеток и эмбрионов *G. loveni*, наблюдаемых при модуляции Wnt/ $\beta$ -катенин сигнального пути.

### Результаты и обсуждение

В ходе работы нами была модифицирована методика получения агрегатов путем диссоциации и реагрегации эмбриональных клеток для гидроидного полипа *G. loveni*. Нами было произведено наблюдение за эмбрионами и агрегатами эмбриональных клеток. Полученные агрегаты претерпевали постепенное развитие, в результате которого они приобретали округлую форму, наружный слой клеток в течение 3,5 часов формировал классическую эпителиальную структуру (Рис. 3). Также в течение 2-3х суток агрегаты, близкого к эмбрионам размера, формировали личинку - планулу, но впоследствии не были способны метаморфизировать и образовывать первичные полипы.

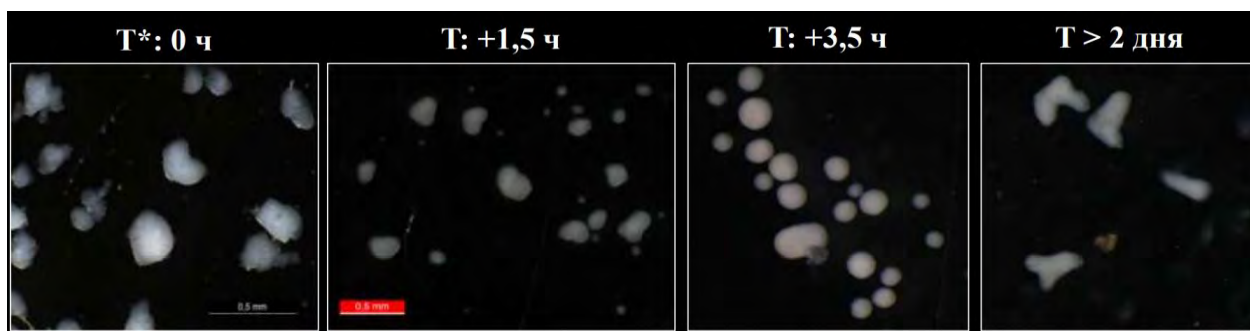


Рис. 3 Последовательное развитие агрегатов эмбриональных клеток *G. loveni*, T - время после разрезания цельного агрегата.

Дополнительно нами было изучено развитие крупных агрегатов эмбриональных клеток, которые были получены из клеточного материала нескольких десятков эмбрионов. В ходе развития таких агрегатов их поверхность также претерпевала процесс эпителизации, со временем на ней образовывалось множество выростов (вероятно, соответствующих оральному и хвостовым структурам единичных личинок *G. loveni*). При этом большой агрегат не разделялся на отдельные фрагменты и не проходил стадию метаморфоза (Рис. 4)

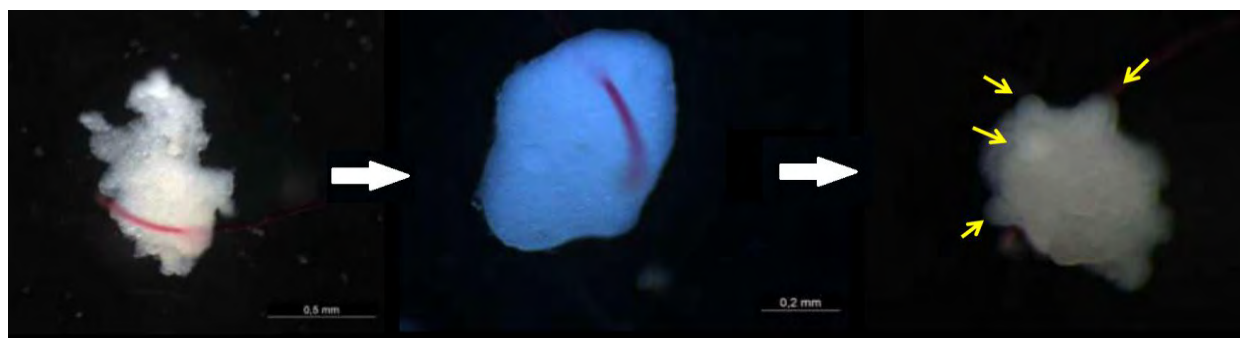


Рис. 4 Последовательное развитие агрегатов, полученных из материала нескольких десятков эмбрионов *G. loveni*, желтыми стрелками указаны, предположительно, формирующиеся орально-аборальные структуры.

Результаты изучения морфологии эмбрионов и агрегатов эмбриональных клеток *G. loveni* после модуляции Wnt/ $\beta$ -катенин сигнального пути представлены на Рис. 5. Были показаны значительные различия в развитии эмбрионов и агрегатов, как в контрольных группах, так и между группами, обработанными активатором или ингибитором Wnt/ $\beta$ -катенин сигнального пути. Заметна тенденция значительного отставания развития агрегатов от эмбрионов даже в контрольных группах (DMSO). При модуляции Wnt/ $\beta$ -катенин сигнального каскада в агрегатах, мы наблюдали неспособность эмбрионов морфологически вытягиваться как при активации (AZK) так и при ингибировании (iCRT14) сигнального пути.

Кроме того, эмбрионы с пониженной активностью Wnt/ $\beta$ -катенин сигнального каскада (iCRT14) останавливали свое развитие, оставаясь круглыми или с мало выраженной морфологической полярностью. Таким образом, мы предполагаем, что модуляция Wnt сигнального пути негативно сказывается на способности агрегатов и эмбрионов к поляризации и дальнейшему развитию. Однако, для выявления статистически значимых заключений необходимо проведение дальнейших исследований с большим числом повторностей и большим временем наблюдения.

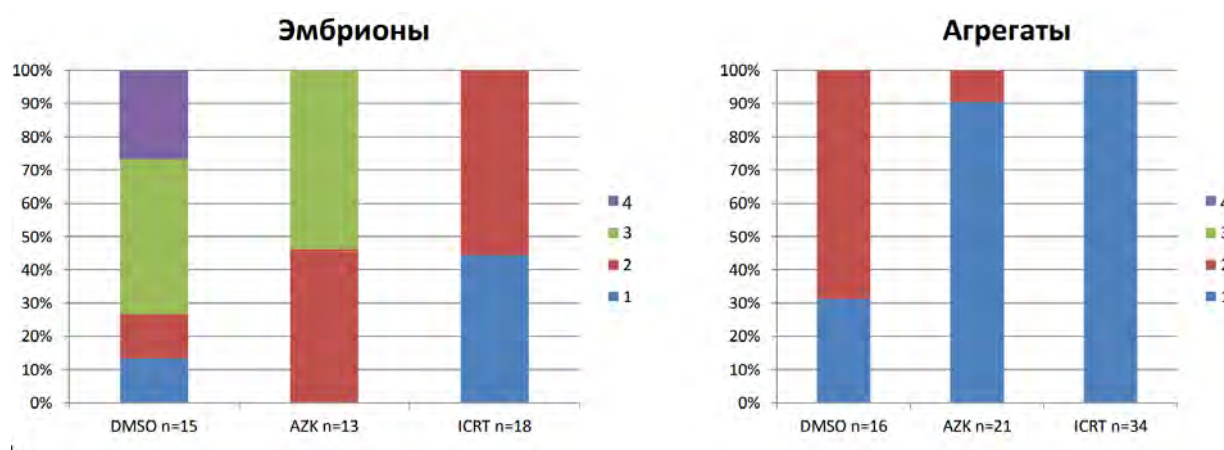


Рис. 5 Влияние модуляции Wnt/ $\beta$ -катенин сигнального каскада на развитие эмбрионов и агрегатов эмбриональных клеток *G. loveni*. По горизонтальной оси отложены группы исследуемых объектов, по вертикальной - процент от числа объектов в группе.

## Выводы

В ходе работы был разработан протокол получения агрегатов из эмбриональных клеток гидроидного полипов *G. loveni* на стадии гаструлы. Мы показали, что через 3,5 часа после получения агрегатов происходит их эпителизация, в течение 3-х дней агрегаты формируют планулу, однако личинки не способны метаморфизировать и формировать первичные полипы. Агрегаты, содержащие большое количество клеток, не способны разделяться на отдельные планулы, в ходе развития формируют множество орально-аборальных структур и не проходят метаморфоз. Подавление Wnt/ $\beta$ -катенин сигнального пути в нормальном развитии *G. loveni* приводит к более выраженным нарушениям формирования орально-аборальной оси, чем его активация. В обоих случаях модуляции Wnt/ $\beta$ -катенин сигнального пути нарушает процесс метаморфоза. Таким образом, Wnt/ $\beta$ -катенин сигнальный путь необходим для восстановления орально-аборальной поляльности у клеточных агрегатов.

## Благодарность

Авторы благодарят коллектив и руководство ББС им. Н.А.Перцова за предоставленные возможности, а также преподавателей кафедры эмбриологии биологического факультета МГУ им. М.В.Ломоносова Семенову М.Л., Никишина Д.А., Фролову В.С. за руководство и помощь в освоении методов.

## Список литературы:

1. Kirillova A., Genikhovich G., Pukhlyakova E., Technau U. Germ-layer commitment and axis formation in sea anemone embryonic cell aggregates // Proc. Natl. Acad. Sci. – 2018. – Vol. 115, No. 8. – P. 1813–1818.



2. Burmistrova Y., Osadchenko B., Bolshakov F., Kraus Y., Kosevich I. Embryonic development of thecate hydrozoan *Gonothyraea loveni* (Allman, 1859) // *Dev Growth Differ.* – 2018. – Vol. 60, No. 8. – P. 483–501.
3. Freeman G. The role of polarity in the development of the hydrozoan planula larva // *Wilhelm Roux' Archiv.* 1981. Vol. 190, № 3. P. 168–184.

УДК 576.371

Рубрика 34.21.15

АТЛАС СПЕРМАТОЗОИДОВ МОРСКИХ БЕСПОЗВОНОЧНЫХ БЕЛОМОРСКОЙ  
БИОЛОГИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ МГУ

SPERM ATLAS OF MARINE INVERTEBRATES OF THE BELOMORSKAYA  
BIOLOGICAL STATION OF MOSCOW STATE UNIVERSITY

**Каминская Анна Витальевна<sup>1</sup>, Морозова Влада Алексеевна<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва

**Kaminskaya Anna Vitalievna<sup>1</sup>, Morozova Vlada Alekseevna<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> MSU M. V. Lomonosov, Moscow

### Введение

Сперматозоиды — это одни из самых разнообразных и удивительных клеток животных организмов. Вопреки стандартному представлению об их морфологии (наличие головки, вмещающей в себя ядро и акросому, и отходящего от нее жгутика), существуют множество совершенно непривычных для нас вариантов их строения [Lüpold, Pitnick, 2018; Pitnick et al., 2009]. В настоящей работе определены внешние и внутренние особенности морфологического строения мужских половых клеток некоторых обитателей Белого моря в окрестностях Беломорской биологической станции МГУ. Среди рассмотренных нами животных выявляются следующие таксоны: гидроидные полипы, иглокожие, брюхоногие и двустворчатые моллюски, панцирные моллюски, аннелиды, ракообразные.

### Методы

Для изучения особенностей сперматозоидов первым этапом из животных выделялись мужские половые клетки. В основном это производилось прокалыванием стенки тела, но были те виды, у которых это достигалось сложнее - путем аккуратной препаровки или стимулирования гаметометания раствором КС1. После получения спермы на ее основе делался живой препарат. Далее он анализировался при помощи световой микроскопии с применением метода дифференциально-интерференционного контраста (ДИК). Благодаря этому наблюдались общие внешние особенности морфологии половых клеток. Для более тщательного рассмотрения мы провели иммуофлюоресцентный анализ с использованием антител на ацетилованный тубулин для наблюдения жгутиков. Также мы использовали специфичный краситель DAPI для выявления ядер клеток и неспецифичный краситель LCA-FITC, окрашивающий акросому у млекопитающих.

### Результаты

Среди гидроидных полипов нами было рассмотрено два вида: *Gonothyraea loveni* и *Dynamena pumila*, колонии которых имеют специализированные участки, в которых развиваются гаметы - гонотеки и гонангии соответственно. Извлечение спермы производилось путем протыкания

данных участков. В результате были получены изображения сперматозоидов данных животных (рис. 1). Как видно, сперматозоиды этих видов крайне похожи, вероятно, в связи со схожими условиями жизни и размножения.

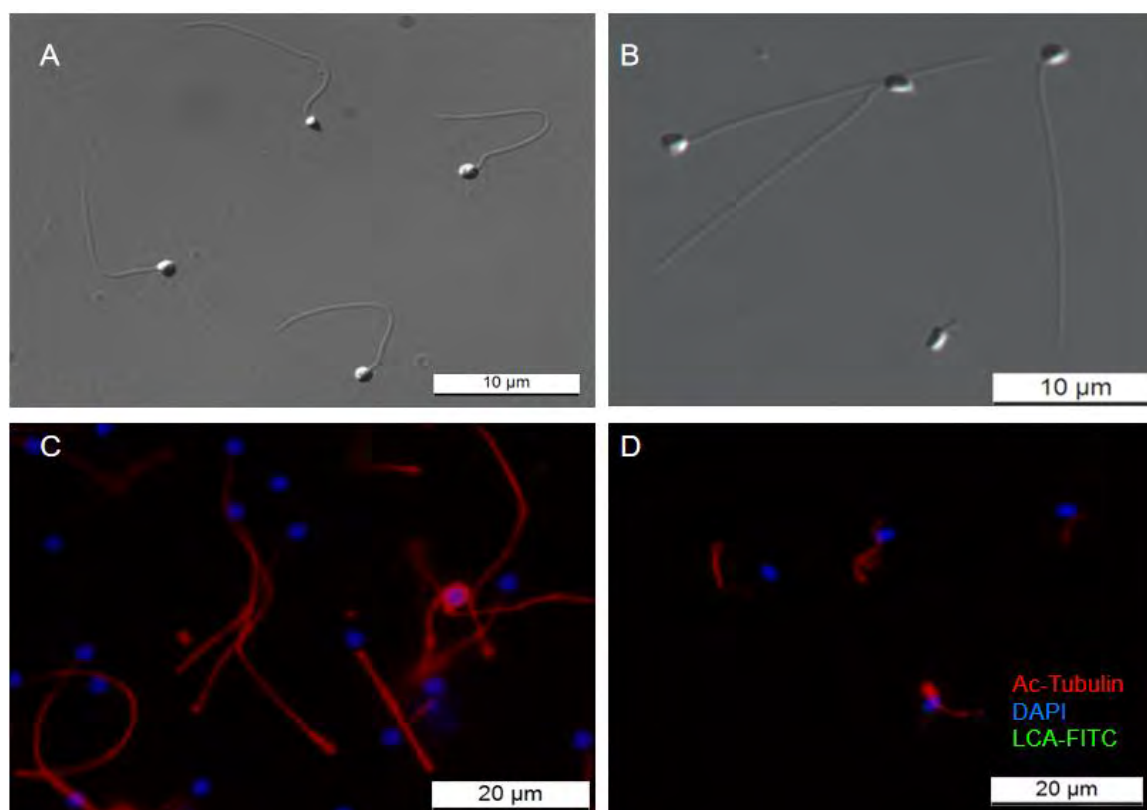


Рис. 1. А, В - сперматозоиды *Gonothyraea loveni* и *Dynamena pumila* соответственно (ДИК); С, D - сперматозоиды *Gonothyraea loveni* и *Dynamena pumila* соответственно (флюоресцентная микроскопия).

Далее мы рассмотрели три вида иглокожих животных: морскую звезду *Asterias rubens*, морского ежа *Strongylocentrotus pallidus* и офиуру *Ophiopholis aculeata*. Извлекали сперматозоиды путем надреза между лучами у морской звезды и офиуры, а метание гамет морского ежа стимулировали инъекцией раствора KCl. Среди общих черт сперматозоидов (рис. 2) стоит отметить крайне маленький размер, не ярко выраженную акросому. Тем не менее мелкие отличия в морфологии головок присутствуют, несмотря на схожие механизмы оплодотворения.

Помимо этого, нами были проанализированы мужские половые клетки двух видов, принадлежащих к одному роду, брюхоногих моллюсков - *Littorina saxatilis* и *Littorina littorea*. Для получения их половых продуктов мы вскрывали раковины и находили гонады, располагавшиеся на вентральной стороне последнего витка пищеварительной системы. На полученных нами фотографиях (рис. 3) можно заметить сильное сходство сперматозоидов этих двух видов, что неудивительно для столь близкого родства. Их сперматозоиды содержат шарообразную часть, длинную тонкую и длинную толстую части. По результатам иммунофлюоресцентного анализа мы выяснили, что именно шарообразная часть содержит в себе ядро.

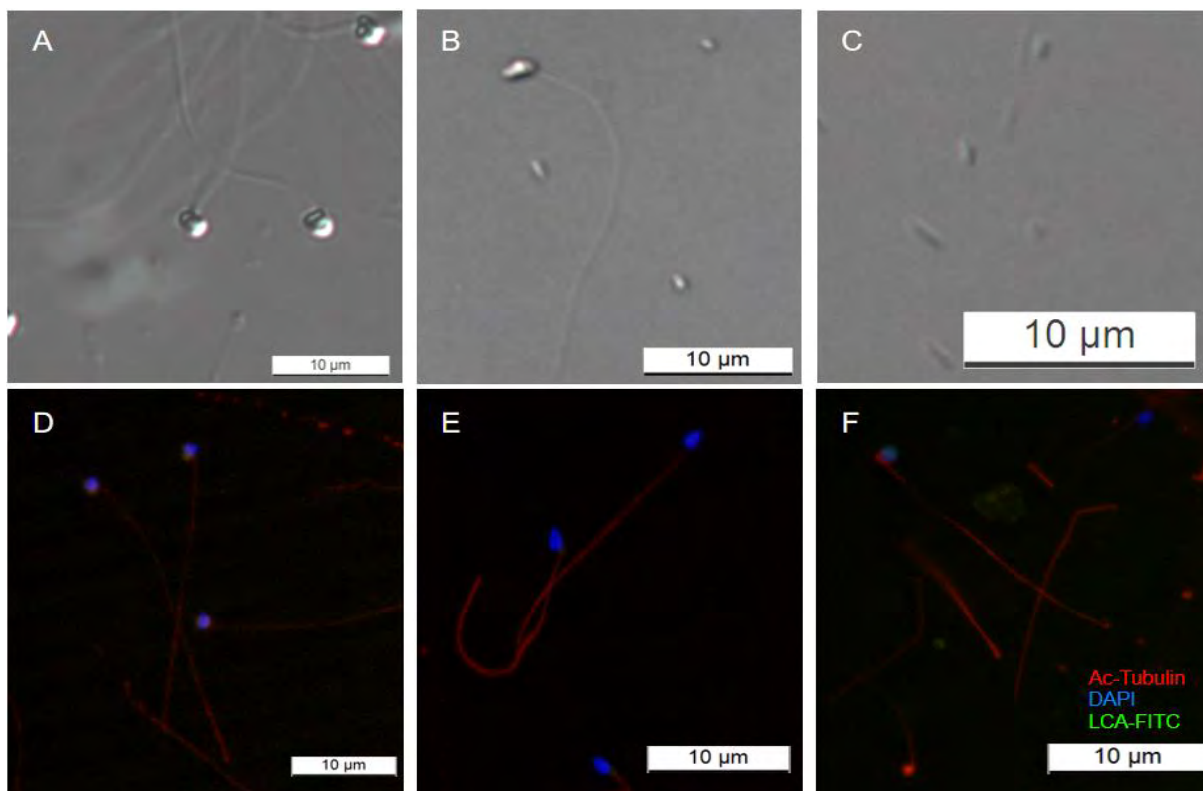


Рис. 2. А, В, С - сперматозоиды *Asterias rubens*, *Strongylocentrotus pallidus* и *Ophiopholis aculeata* соответственно (ДИК); D, E, F - сперматозоиды *Asterias rubens*, *Strongylocentrotus pallidus* и *Ophiopholis aculeata* соответственно (флюоресцентная микроскопия).

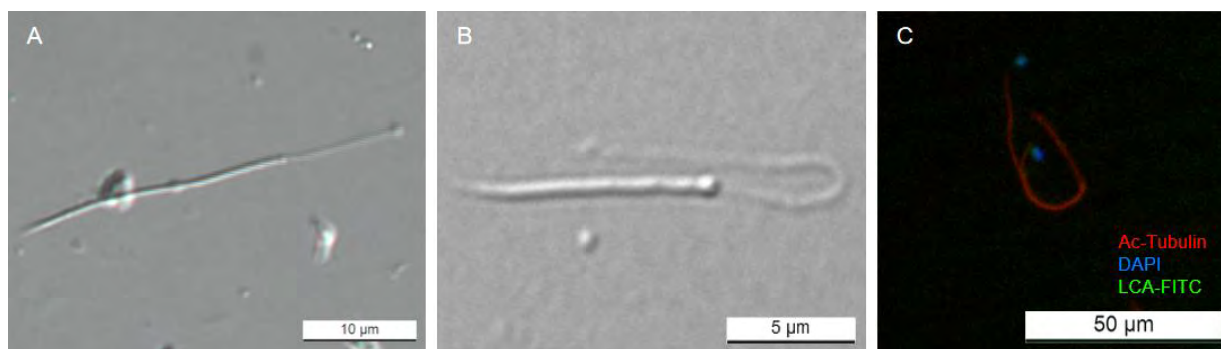


Рис. 3. А, В - сперматозоиды *Littorina saxatilis* и *Littorina littorea* соответственно (ДИК); С - сперматозоиды *Littorina saxatilis* (флюоресцентная микроскопия).

Далее были рассмотрены два вида двустворчатых моллюсков: *Mytilus edulis* и *Mya arenaria*. Процесс получения половых продуктов у этих двух видов различался: мидия (*Mytilus edulis*) была простимулирована к метанию гамет инъекцией раствора KCl, в свою очередь, *Mya arenaria* на такое воздействие не ответила, из-за чего отбор сперматозоидов проводился механически. У обоих рассматриваемых нами видов двустворок присутствует характерная морфологическая особенность строения сперматозоидов - наличие расположенного четко над ядром акросомального пузырька (рис. 4).

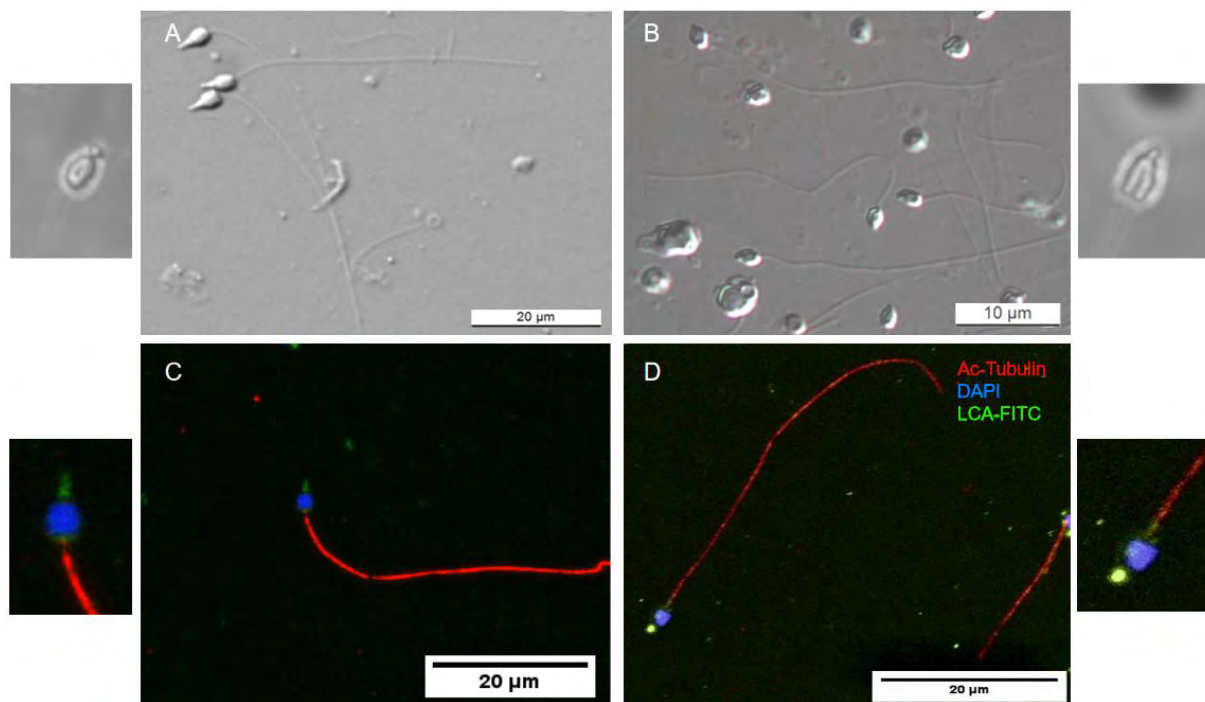


Рис. 4. А, В - сперматозоиды *Mytilus edulis* и *Mya arenaria* соответственно (ДИК); С, D - сперматозоиды *Mytilus edulis* и *Mya arenaria* соответственно (флюоресцентная микроскопия).

Еще одним проанализированным нами видом является хитон *Tonicella marmorea*. Процесс получения половых продуктов заключался в поглаживании его вентральной части тела пальцем либо стеклянной палочкой, на что животное уже через несколько минут принималось активно выметывать гаметы. Сперматозоиды хитона имеют одну специфическую особенность - наличие “носика” в передней части головки, представленного выпячиванием цитоплазмы (рис. 5).

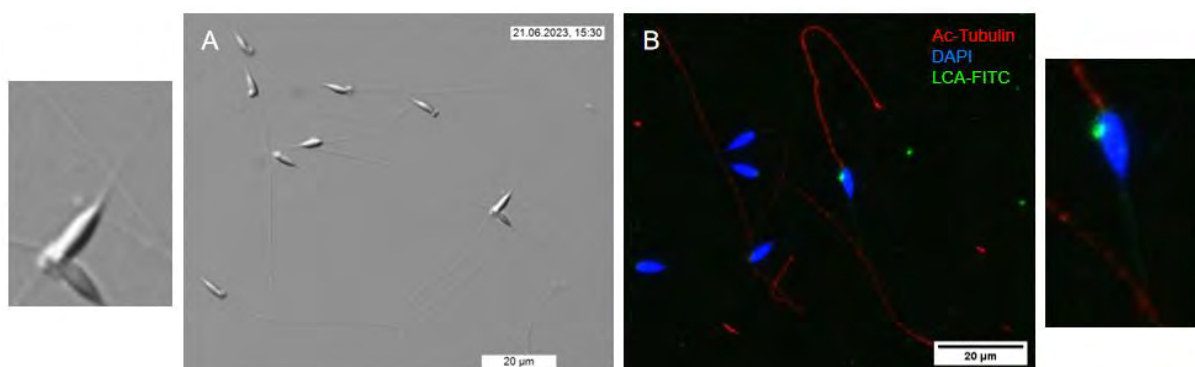


Рис. 5. А, В - сперматозоиды *Tonicella marmorea* (ДИК и флюоресцентная микроскопия соответственно).

Половые клетки кольчатого червя нереиса (*Alitta virens*) были изъятые путем прокалывания стенки тела. Сперматозоиды этой аннелиды обладают крайне интересной особенностью - имеют “муфточку” в нижней части головки, представляющую из себя кольцевую митохондрию. Такую же особенность имеют многие родственные виды нереиса [Jamison, Rouse, 1989] (рис. 6).

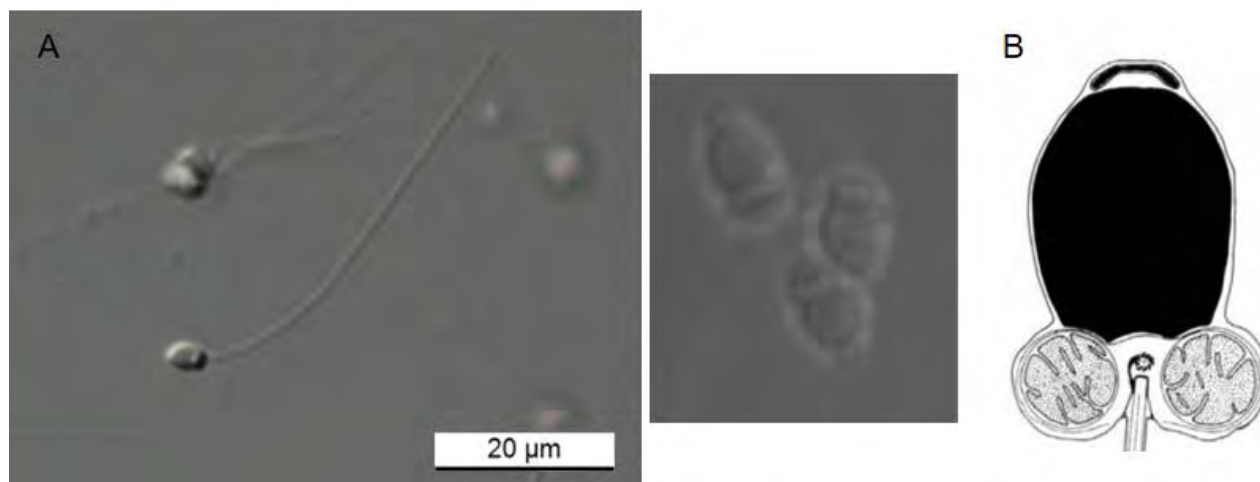


Рис. 6. А - сперматозоиды *Alitta virens* (ДИК), В - изображение сперматозоида родственного вида *Eulalia sp.* (взято из Jamison, Rouse, 1989).

Другой кольчатый червь *Dinophilus taeniatus* в отличие от других рассмотренных нами видов имеет внутреннее оплодотворение. Вероятно, именно из-за этого его сперматозоиды обладают крайне необычной длинной, тонкой головкой и длинным извитым жгутиком (рис. 7).

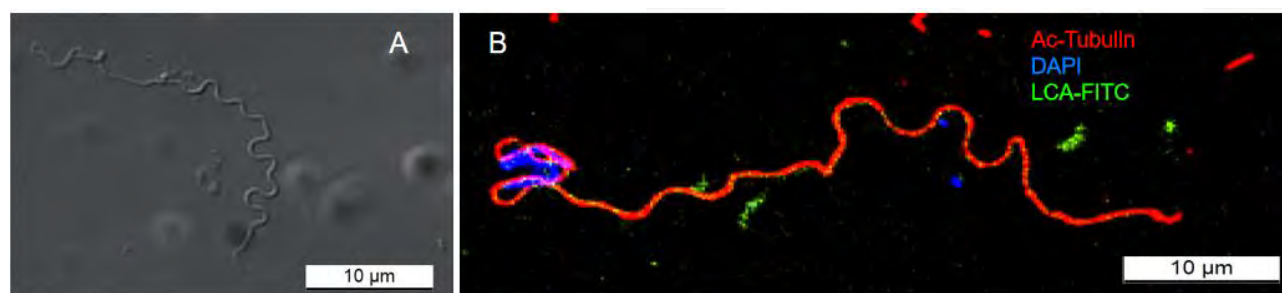


Рис. 7. А, В - сперматозоиды *Dinophilus taeniatus* (ДИК и флюоресцентная микроскопия соответственно).

Далее нами были рассмотрены половые продукты пескожила - *Arenicola marina*. Извлечение производилось проколом стенки тела. При этом из тела червя вытекало большое количество мелких частиц. В процессе микроскопирования содержимого мы выяснили, что эти частицы представляют из себя агрегаты клеток. Для более подробного анализа их структуры была использована конфокальная микроскопия (рис. 8). Анализ литературы показал, что сперматогенез у многих аннелид проходит в форме так называемых морул или сперматосфер.



Данные структуры отсоединяются от тканей мужской гонады и выходят в пространство целома, где и проходят основные стадии сперматогенеза. Ранние сперматосферы состоят из неготовых сперматозоидов на различных стадиях созревания. Со временем половые клетки созревают и приобретают жгутики. Помимо этого, центральная часть сперматосфер является свободной от ядер клеток и заполнена цитоплазмой, соединяющей все развивающиеся в данной сперматосфере клетки, благодаря чему образуется синцитиальная структура. Такую центральную свободную от ядер цитоплазму называют цитофор [Pasey, Bentley, 1992].

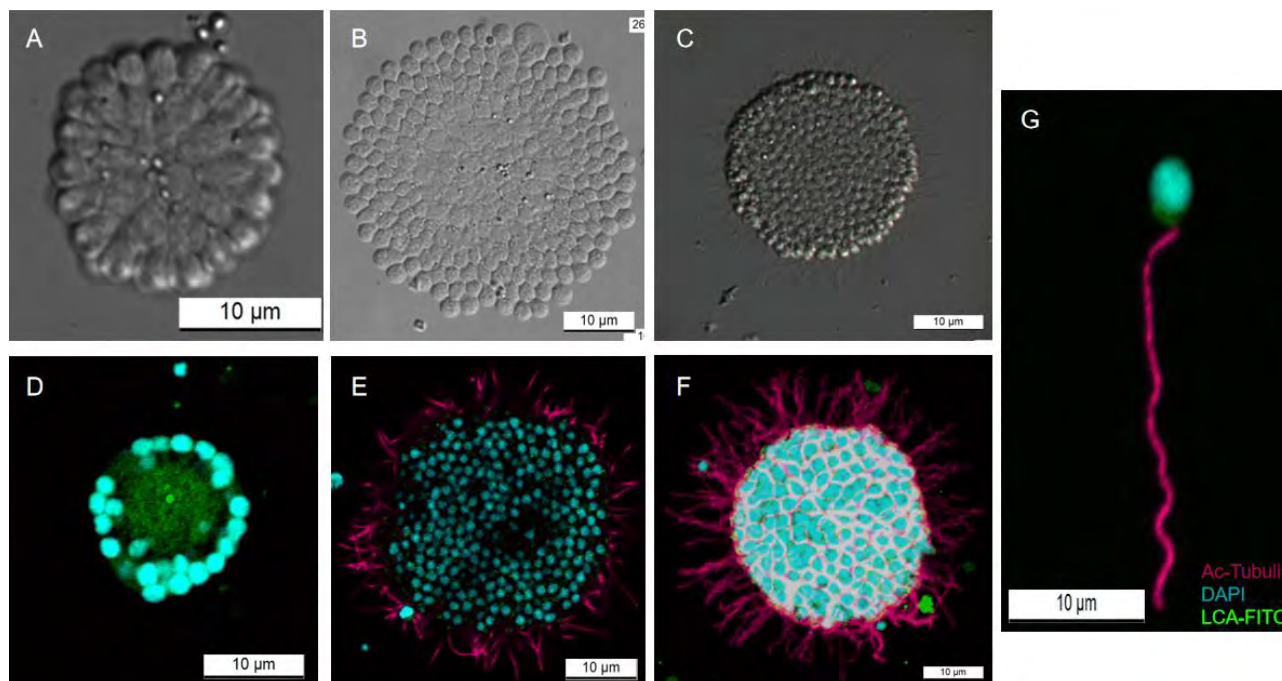


Рис. 8. *Arenicola marina*. А, В - ранние сперматосферы, содержащие незрелые сперматозоиды (ДИК); С - поздняя сперматосфера с жгутиковыми формами половых клеток (ДИК); D - ранняя сперматосфера, в центре которой виден цитофор (конфокальная микроскопия); Е, F - поздние сперматосферы (конфокальная микроскопия); G - сперматозоид.

Заключительный рассмотренный нами вид относится к таксону ракообразных — это *Gammarus duebeni*. Ракообразные отличаются своим невероятным разнообразием форм сперматозоидов, часто они характеризуются отсутствием жгутика, но имеют при этом хитиновый шип [Jamieson, 1991]. Сперматозоиды гаммаруса, как мы выяснили, построены именно по такому принципу. Из-за такой особенности процесс их извлечения оказался самым сложным и трудоемким: половые клетки из-за отсутствия подвижности невозможно было сразу распознать и приходилось тщательно просматривать все полученные образцы тканей для нахождения именно тех клеток, которые были нам необходимы. Таким образом, на рис. 9 можно увидеть общий вид сперматозоида, а также отсутствие тубулиновой метки в шипе, что подтверждает тот факт, что вытянутая часть половой клетки не является жгутиком.

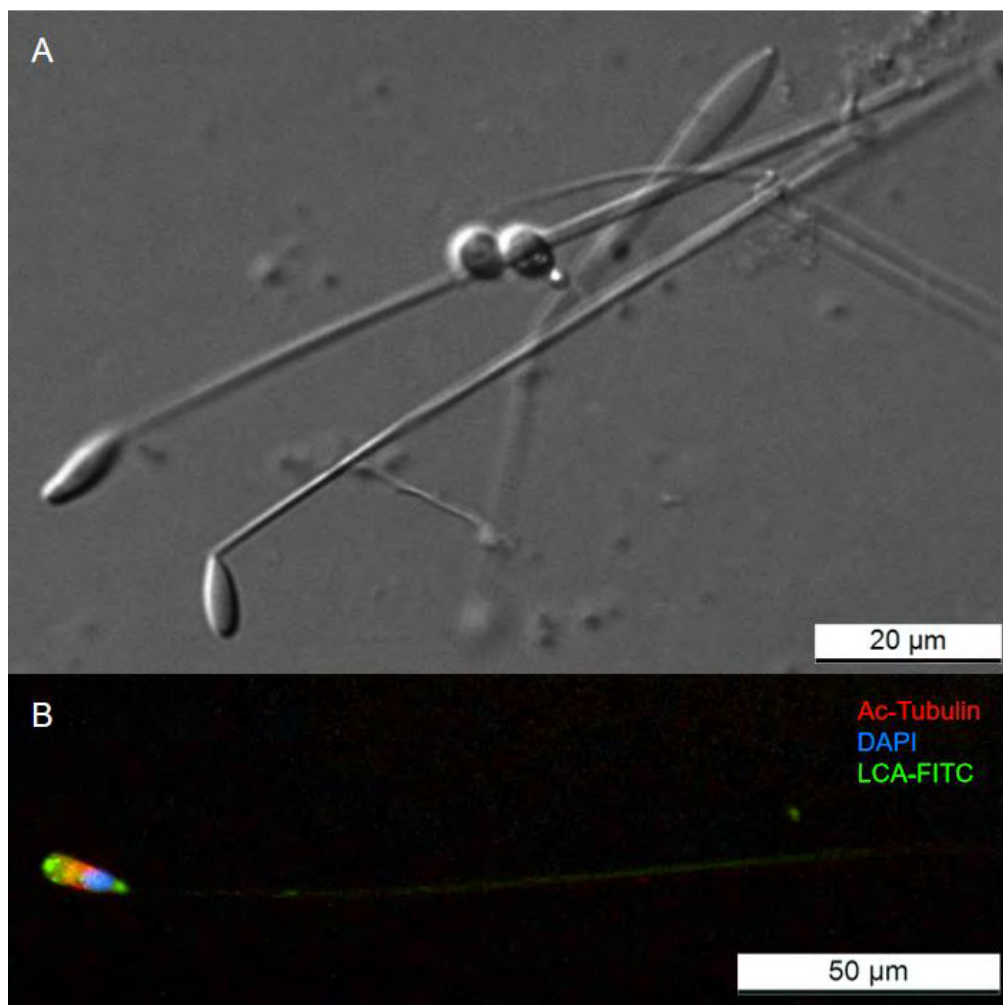


Рис. 9. А, В - сперматозоиды *Gammarus duebeni* (ДИК и флюоресцентная микроскопия соответственно).

### Заключение

Таким образом, среди рассмотренных нами морских беспозвоночных Беломорской биологической станции наблюдается широкое морфологическое разнообразие мужских половых клеток. Зачастую специфические особенности, характерные для определенных видов, наблюдаются у родственных им животных.

### Благодарности

Авторы благодарят Беломорскую биологическую станцию МГУ за предоставленное оборудование, а также доктора биологических наук Семенову Марию Львовну и кандидата биологических наук Никишина Дениса Александровича за значимые замечания и помощь.

### Список литературы:

1. Jamieson B.G., Rouse G.W. The spermatozoa of the polychaeta (Annelida): an ultrastructural review // Biological Reviews. – 1989. – Vol. 64, No. 2. – P. 93–157.

2. Jamieson B.G. Ultrastructure and phylogeny of crustacean spermatozoa // *Memoirs of Queensland Museum*. – 1991. – Vol. 31. – P. 109–142.
3. Lüpold S., Pitnick S. Sperm form and function: what do we know about the role of sexual selection? // *Reproduction*. – 2018. – Vol. 155, No.5. – P. 229–243.
4. Pacey A.A., Bentley M.G. An ultrastructural study of spermatogenesis and sperm morula breakdown in *Arenicola marina* (L.) (Annelida: Polychaeta) // *Helgolander Meeresunters.* – 1992. – Vol. 46, No. 2. – P. 185–199.
5. Pitnick S., Hosken D. J., Birkhead T. R. Sperm morphological diversity // *Sperm Biology*. – 2009. – P. 69–149.

УДК 591.1: 611.85: 594.3: 57.017.64

Рубрика 34.33.15

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДИКИ ПОДСЧЕТА ОТМЕТОК РОСТА НА СТАТОЛИТАХ  
ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВОЗРАСТА *B. OSAGAWAI*

USING THE METHOD OF CALCULATING STATOLITH'S GROWTH INCREMENTS FOR  
AGE DETERMINATION OF *B. OSAGAWAI*

**Хорошутина Ольга Андреевна<sup>1</sup>, Ботнев Дмитрий Александрович<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup> ФГБНУ ВНИРО, Москва

**Khoroshutina Olga Andreeva<sup>1</sup>, Botnev Dmitriy Aleksandrovich<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup> VNIRO, Moscow

**Введение**

Возможность определить индивидуальный возраст моллюска крайне важна для понимания популяционной динамики и возможности оценить вероятный уровень изъятия для промысловых видов. Индивидуальный возраст видов р. *Vaccinum*, в том числе *B. osagawai*, обычно оценивается по годовым отметкам роста на оперкулуме (Голиков, 1980). В то же время, как внешние регистрирующие структуры, оперкулумы могут травмироваться, подвергаться эрозии и плохо читаться (Kideys, 1996). Статолиты, как внутренние структуры, лишены этих недостатков. Возможность определения индивидуального возраста брюхоногих моллюсков по годовым отметкам остановки роста на статолите показана для ряда видов (Chatzinikolaou, Richardson, 2007; Fisher, Rudders, 2017; Galante-Oliveira и др., 2013), в том числе, для *B. undatum* (Hollyman, 2018). Цель нашей работы – апробировать методику определения индивидуального возраста по отметкам на статолитах для *B. osagawai*.

**Материалы и метода**

Материалы были собраны в сентябре 2021 года в Охотском море, в районе, ограниченном координатами 56°2' - 58°2' с.ш. и 146°3' - 150°6' в.д. Всего было отобрано 32 экземпляра *B. osagawai* разных размерных классов. Производился биологический анализ моллюсков (измерялись высота, ширина раковины, ширина предпоследнего оборота, вес моллюска с раковиной и вес раковины, определялся пол моллюска, измерялась длина и ширины оперкулума), затем извлекались статолиты, очищались от окружающих тканей, закреплялись на предметном стекле и шлифовались до центральной плоскости. Затем измерялся диаметр статолита, подсчитывалось количество отметок, их диаметр, определялся возраст моллюска. Также возраст моллюсков определяли по количеству отметок на оперкулуме, проводилось сравнение эффективности этих методов: рассчитывался коэффициент вариации по формуле:

$$CV = \frac{\sqrt{(R_1 - R)^2 + (R_2 - R)^2}}{R},$$

где  $R_1$  – количество отметок на оперкулуме,  $R_2$  – количество отметок на статолите.

## Результаты и обсуждение

Микроструктура статолитов *B. osagawai* представлена темным ядром в центре, ограниченным первой отметкой, предположительно, отметкой, образующейся в процессе выклева моллюска. По мере удаления от ядра на шлифе статолита заметны узкие темные зоны (предположительно, годовые отметки остановки роста), перемежающиеся более широкими светлыми зонами (зонами роста). Также на шлифе статолита хорошо заметна радиальная исчерченность (рис. 1).

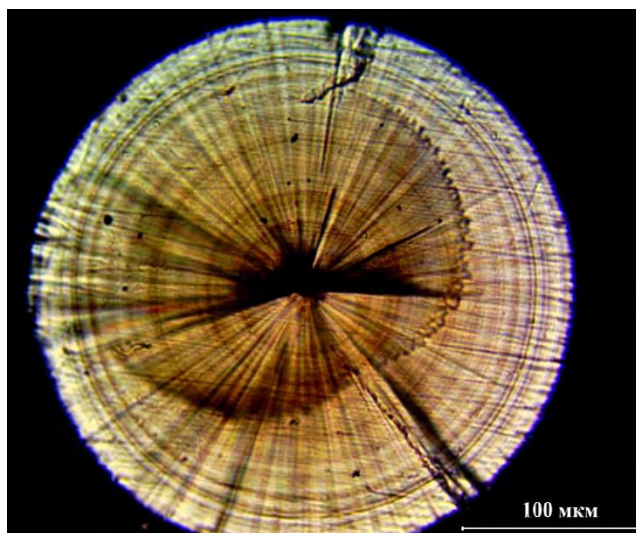


Рис. 1. Шлиф статолита *B. osagawai*.

Краткие результаты биологического анализа, а также результаты определения возраста двумя разными методами (с использованием оперкулумов и с использованием статолитов), представлены в таблице 1.

Таблица 1. Данные биологического анализа и определения возраста *B. osagawai*.

<i>B. osagawai</i> , N=32	Высота раковины, мм	Ширина раковины, мм	Диаметр статолита, мкм	Возраст по отметкам на статолите, лет	Возраст по отметкам на оперкулуме, лет
Минимум	43	26,1	246,3	8	7
Максимум	131	79	333	17	16
Среднее	73,3	44,9	283,02	12,1	11,4
CV				CV <sub>ср</sub> =4,9%	

Определение возраста моллюсков двумя разными методами показало схожие оценки возраста с низким коэффициентом вариации (CV<sub>ср</sub>=4,9%), что подтверждает применимость методики определения возраста по отметкам роста на статолитах. При этом для значительного количества оперкулумов (31%) отмечена плохая читаемость – это отмечалось ранее и для *B. undatum* (Kideys, 1996; Lawler, 2013). Также для *B. undatum* показано, что читаемость статолитов значительно выше (Hollyman, 2018). Принимая во внимание, что методика обработки статолитов достаточно трудоемка, можно предложить ее использование для лабораторной оценки индивидуального возраста, уточнения оценок и составления размерно-

возрастных ключей. Тем не менее, для точной верификации метода для вида *B. osagawai* необходимо проведение дополнительных исследований.

### Выводы

Полученные результаты показали возможность определения возраста по отметкам на статолитах *B. osagawai*, что позволяет уточнять оценки возраста, полученные другими методиками.

### Благодарность

Авторы благодарят д.б.н. Д. О. Алексеева за критические замечания, высказанные в процессе работы.

### Список литературы:

1. Голиков А.Н. Моллюски Buccinidae Мирового океана // Фауна СССР. Новая серия. Л.: Наука.– 1980. – Т. 5. Вып. 2. – 508 с.
2. Chatzinikolaou E., Richardson C. Evaluating growth and age of netted whelk *Nassarius reticulatus* (Gastropoda: Nassariidae) using statolith growth rings // Marine Ecology Progress Series. – 2007. – Vol. 342. – P. 163–176. <https://doi.org/10.3354/meps342163>
3. Fisher R.A., Rudders D.B. Population and reproductive biology of the channeled whelk, *Busycotypus canaliculatus*, in the US Mid-Atlantic // Journal of Shellfish Research.– 2017. – Vol. 36. – P. 427–444. <https://doi.org/10.2983/035.036.0215>
4. Galante-Oliveira S., Marçal R., Ribas F., Machado J., Barroso C. Studies on the morphology and growth of statoliths in Caenogastropoda // Journal of Molluscan Studies. – 2013. –Vol. 79. – P. 340–345. DOI: 10.1093/mollus/eyt028
5. Hollyman, P., Leng, M., Chenery, S., Laptikhovsky, V., Richardson, C. Statoliths of the whelk *Buccinum undatum*: a novel age determination tool // Marine Ecology Progress Series. – 2018. Vol. 598. – P. 261–272. <https://doi.org/10.3354/meps12119>.
6. Kideys A.E. Determination of age and growth of *Buccinum undatum* L. (Gastropoda, Prosobranchia) off Douglas, Isle of Man // Helgoländer Meeresuntersuchungen. – 1996. – Vol. 50, No 3. – P. 353–368. <https://doi.org/10.1007/BF02367109>
7. Lawler A. Determination of the size of maturity of the whelk *Buccinum undatum* in English Waters. // Defra Project. – 2013. – MF0231. –39 pp.



УДК 593.5

Рубрика 34.33.15

ПРОДОЛЖЕНИЕ НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ВИДАМИ-ДВОЙНИКАМИ МЕДУЗ РОДА  
CYANEA В КАНДАЛАКШСКОМ ЗАЛИВЕ БЕЛОГО МОРЯ

CONTINUATION OF OBSERVATION OF THE TWIN SPECIES OF CYANEA JELLYFISH  
IN THE KANDALAKSHA BAY OF THE WHITE SEA

**Новикова Варвара Степановна<sup>1</sup>, Кудрявцева Елена Иосифовна<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*ГБОУ школа 179, Москва*

<sup>2</sup>*ГБОУ школа 179, Москва*

**Novikova Varvara Stepanovna<sup>1</sup>, Kudryavtseva Elena Iosifovna<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*School 179, Moscow*

<sup>2</sup>*School 179, Moscow*

### **Введение**

В июле-августе 2022 года (с 16 июля по 16-е августа) проводилось исследование двух видов-двойников медуз *Cyanea tzetlinii* Kolbasova&Neretina, 2015 и *Cyanea capillata* (Linnaeus, 1758) в окрестностях деревни Ковда в губе Ковда.

Вид *Cyanea tzetlinii* был открыт только в 2015 году в окрестностях Беломорской биостанции МГУ им. Н. А. Перцова (пролив Великая Салма Ругозерской губы Кандалакшского залива Белого моря) и был подтвержден на молекулярном уровне [Kolbasovaetal., 2015]. В той же работе были найдены морфологические отличия двух видов, на которые ранее не обращали внимание. Эти отличия на самом деле позволяют надежно отличать два вида без генетического исследования.

Ещё в первой работе было описано постепенное замещение в планктонных пробах *C. capillata* на *C. tzetlinii* во второй половине августа.

В 2019 году учениками двух биоклассов (школы 179 и школы 67) было проведено повторное исследование встречаемости этих двух видов в двух точках Кандалакшского залива Белого моря – в губе Кереть около острова Пезжостров и в окрестностях деревни Ковда, в губе Ковда и губе Старцева [Виноградов ГМ и др., 2020]. Полученные данные показывали, что общая динамика смены одного вида на другой сохраняется, но конкретные даты появления *C. tzetlinii* в прибрежных водах отличались от наблюдаемых в первый год.

В 2022 году было решено повторить наблюдения на биостанции в деревне Ковда. В этот раз, помимо размера купола, учитывалась и стадии репродуктивного цикла медузы. Это позволило получить некоторые данные касательно биологии размножения этих видов медуз и поставить некоторые вопросы.

### **Методика**

С 16 июля по 16 августа 2022 года проводились исследования на территории Ковдской губы. Медуз вылавливали сачком с пирса в Запади напротив гидробиологической лаборатории биокласса или собирали на берегу вокруг пирса во время отлива. (Кандалакшский залив, Мурманская обл., 66.699717, 32.861467). Затем их определяли в лаборатории с помощью бинокля. В таблицу вносилась дата, пол медузы, наличие/отсутствие личинок планулы или яйцеклеток, вид медузы и диаметр ее купола.

*Cyanea capillata* (Linnaeus, 1758) – вид сцифоидных медуз, обитающих в морях Тихого, Атлантического и Северного-Ледовитого океанов. Имеет разнообразную окраску с преобладанием буро-фиолетовых оттенков. Купол полусферический, с 16 лопастями. в углублениях между лопастями находятся ропалии – видоизмененные щупальца - со светочувствительными глазками и статоцистами (орган равновесия). Также у самок имеются короткие щупальца вокруг рта, в которых созревают яйцеклетки.

*Cyanea tzetlinii* Kolbasova&Neretina, 2015 – недавно обнаруженный вид-двойник *C. capillata*. Внешне они практически не различаются, за исключением шаровидного выроста на ропалиях между лопастями, который отсутствует у *C. capillata*.

### Результаты и обсуждение

Всего в 2022 году нами было поймано и определено 137 медуз, среди которых 96 медуз вида *C. tzetlinii* и 41 медуза вида *C. capillata*. В результате был построен график распределения медуз по датам и размерам (рис.1), аналогичный полученному в первой статье [Kolbasova GD et al., 2015].

*Cyanea capillata* и *Cyanea tzetlinii*, лето 2022.

Динамика встречаемости в губе Ковда (Кандалакшский залив Белого Моря).

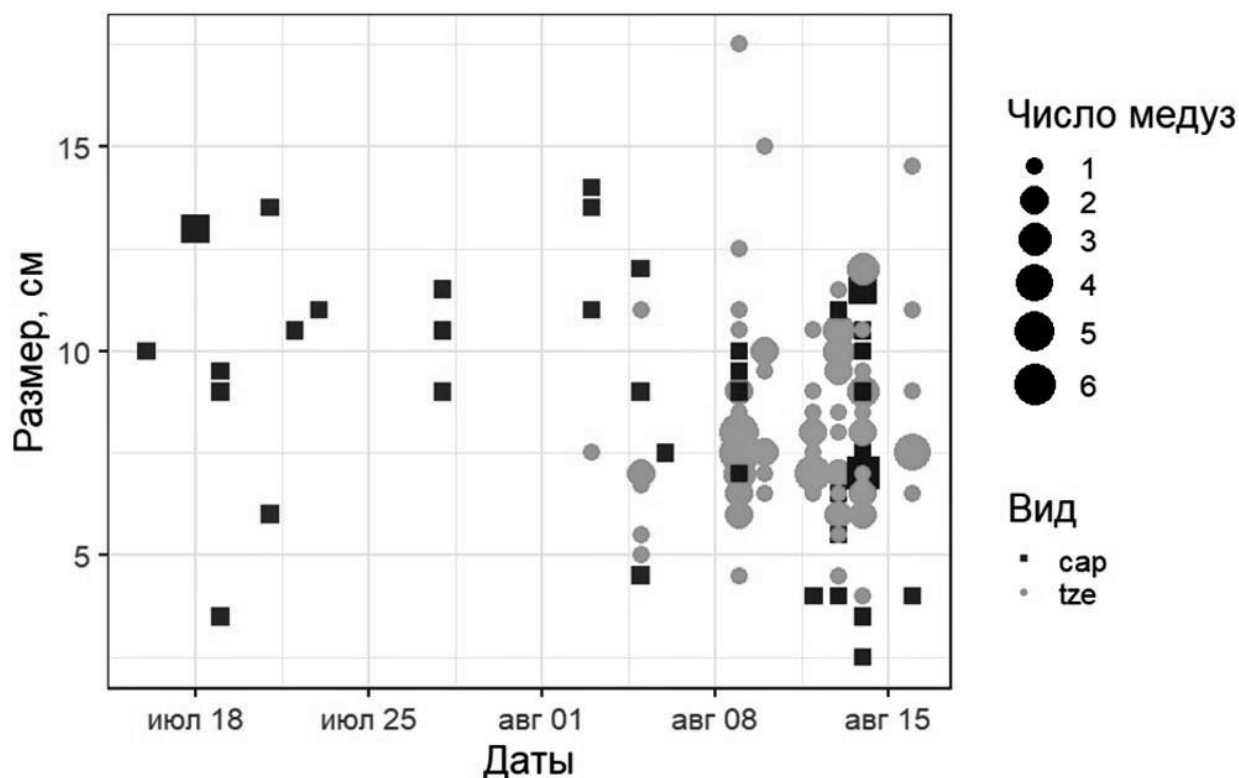


Рис. 1: Распределение медуз по датам и по размерам купола. Медузы разделены в зависимости от вида. *C. tzetlinii* (tze) обозначены оранжевым цветом, а *C. capillata* (cap) – синим. Размер фигуры коррелирует с количеством медуз, имеющих купол данного диаметра.

По графику видно, что с 3 августа *C. tzetlinii* начинают преобладать над *C. capillata*, а до этого не встречаются. В 2019 году наблюдения в Ковде начались с 23 июля и с первого дня *C. tzetlinii* уже были в большинстве.

В 2019 году по нашим наблюдениям *C. capillata* давали более широкой диапазон размеров купола, чем *C. tzetlinii*. В 2022 наблюдалась практически обратная картина. Это свидетельствует о том, что такое соотношение размеров не является правилом и изменяется год от года.

Безусловно подтвердилась общее правило, что сначала в планктоне обнаруживались только *C. capillata*, а потом начинали появляться *C. tzetlinii*. Однако конкретная дата появления *C. tzetlinii* оказалась плавающей. На приведенной схеме мы обобщили данных трех лет наблюдения (Рис.2). Там не менее можно сделать вывод, что *C. tzetlinii* всегда появляются в прибрежных водах после *C. capillata* во вторую половину лета.

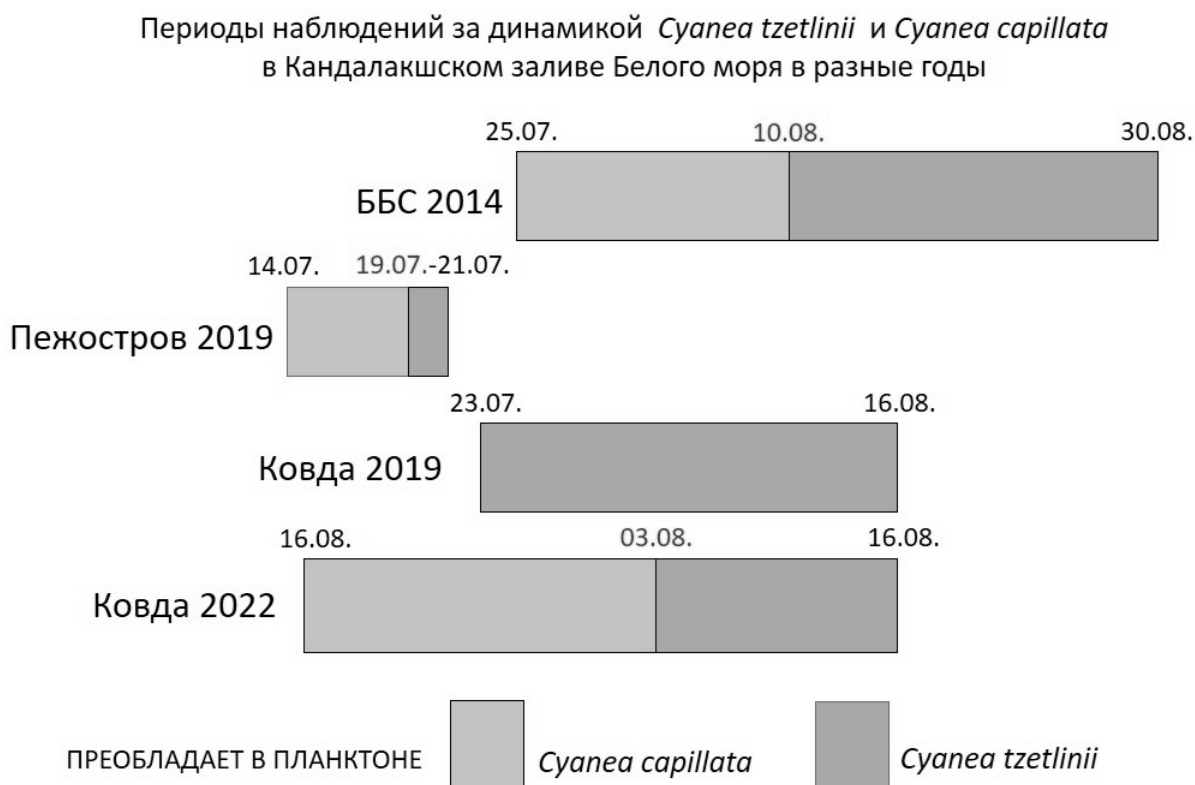


Рис. 2: Схема объединяющая данные наблюдения за динамикой медуз в разные годы.

Безусловно, подтвердилось общее правило, что сначала в планктоне обнаруживались только *C. capillata*, а потом начинали появляться *C. tzetlinii*. Однако конкретная дата появления *C. tzetlinii* оказалась плавающей. Проанализировав данные, полученные в ходе трех

исследований, можно сделать вывод, что *C. tzetlinii* всегда появляются в прибрежных водах после *C. capillata* – во вторую половину лета.

Уже у первых пойманных медуз 17.07.2022 мы обнаружили наличие зрелых яйцеклеток в ротовых щупальцах. Причем одновременно в некоторых медузах были обнаружены зрелые яйцеклетки, живые сперматозоиды и зародыши на очень ранних стадиях дробления. Что свидетельствует о том, что нам удалось поймать медуз во время их оплодотворения. В дальнейшем для каждой медузы мы фиксировали наличие яйцеклеток или личинок-планул, которые еще долгое время развиваются в теле матери.

В первой половине срока наблюдения нам попадались только медузы с яйцами. Первые планулы были обнаружены 5.08.2022. В самом начале попадались медузы только с яйцеклетками (только *C. capillata*), затем, после некоторого времени 3.08 появились *C. tzetlinii* тоже с яйцеклетками, а вскоре, уже 5.08 начинают появляться медузы обоих видов с планулами. Из этого следует, что начало наших наблюдений как раз совпало с периодом оплодотворения и последующим развитием планул. В дальнейшем в течении всего срока наблюдений нам попадались медузы обоих видов, как с яйцеклетками (в процессе оплодотворения), так и с планулами. Похоже, что период созревания яйцеклеток и оплодотворения у этих медуз довольно растянут.

Складывается впечатление, что, несмотря на то, что *C. capillata* появились в заливе раньше *C. tzetlinii*, сроки их размножения практически совпадают или, по крайней мере, сильно перекрываются. А разделение размножающихся особей в пространстве, если и присутствует, то только частичное. Совершенно очевидно, что два вида-двойника размножаются в одно время и часто в одной водной массе.

Это ставит ряд интересных биологических вопросов. Какова природа разделения этих двух видов при размножении. Что позволяет им не скрещиваться при очевидном сходстве? Возможно, это связано с наличием каких-то биохимических сигналов, не дающих оплодотворить не свой вид или связано с нарушением раннего развития при оплодотворении не своего вида. Литературы, касающейся размножения медуз очень мало, и эта тема совершенно не изучена.

### Список литературы:

1. Kolbasova G.D., Zalevsky O.A., Gafurov A.R., Gusev P.O., Ezhova M.A., Zheludkevich A.A., Konovalova O.P., Kosobokova K.N., Kotlov N.U., Lanina N.O., Lapashina A.S., Medvedev D.O., Nosikova K.S., Bazykin G.A., Neretina T.V. 2015. A new species of *Cyanea* jellyfish sympatric to *C. capillata* in the White Sea // *Polar Biology*. – 2015. – Vol. 38, Iss. 9. – P. 1439–1451. [Kolbasova GD et al., 2015]
2. Виноградов Г.М., Кудрявцева Е.И., Баранова М.Г., Белявский М.В., Волосовец В.Д., Игонина М.А., Симис И.Б., Шахов А.А. 2020. Новые места нахождения медузы *Cyaneozetlinii* в Кандалакшском заливе Белого моря: результаты работ биоклассов московских школ в губах Кереть и Ковдская. Труды VIII Международной научно-практической конференции «Морские исследования и образование (MARESEDU-2019)». Том II. Тверь: ООО «ПолиПРЕСС» (ISBN 978-5-6042986-0-2). С. 392–395. [Виноградов ГМ и др., 2020]

УДК 591.336

Рубрика 34.21.17

МОЛЕКУЛЯРНЫЕ МЕХАНИЗМЫ ЛИЧИНОЧНОГО МОРФОГЕНЕЗА ГУБКИ  
*HALISARCA DUJARDINII*

MOLECULAR MECHANISMS OF LARVAL MORPHOGENESIS IN SPONGE *HALISARCA DUJARDINII*

**Борисенко Илья Евгеньевич<sup>1</sup>, Ересковский Александр Вадимович<sup>1,2,3</sup>**

<sup>1</sup> СПбГУ, Санкт-Петербург

<sup>2</sup> ИБР им. Н.К. Кольцова РАН, Москва

<sup>3</sup> Mediterranean Institute of marine and terrestrial Biodiversity and Ecology, Марсель

**Borisenko Ilya Evgenievich<sup>1</sup>, Ereskovsky Alexander Vadimovich<sup>1,2,3</sup>**

<sup>1</sup> SPbU, Saint Petersburg

<sup>2</sup> Koltzov IDB of the RAS, Moscow

<sup>3</sup> Mediterranean Institute of marine and terrestrial Biodiversity and Ecology, Marseille

## Введение

Все без исключения губки представляют собой бентосных неподвижных животных-фильтраторов, в жизненном цикле которых присутствует стадия подвижной личинки. Личинки губок крайне разнообразны по строению, и с учетом их морфологических особенностей выделяют 8 типов личинок (Ересковский, 2005). (Некоторые типы личинок содержат в названии слово "бластула", однако описываемая стадия не имеет отношения к дроблению) Так, внутри класса Calcarea для представителей подкласса Calcareae характерны амфибластулы, а для подкласса Calcinea - кальцибластульные личинки; для стеклянных губок (Hexactinellida) - трихимеллы, для класса Homoscleromorpha - цинктобластулы. Наибольшее разнообразие демонстрирует класс Demospongiae: у его представителей встречаются целобластулы, дисферулы и разные типы паренхимул. Несмотря на морфологическое разнообразие, все типы личинок выполняют одну функцию - расселение неподвижного бентосного организма. Большинство губок представлено живородящими видами, и развитие личинки происходит внутри материнского организма. Покидая его, личинка плавает некоторое время, приобретает компетенцию, оседает и подвергается метаморфозу. Детали метаморфоза и судьба клеточных линий отличаются у разных таксонов и, соответственно, типов личинок.

Исследуемая нами губка *Halisarca dujardinii* относится к классу Demospongiae и демонстрирует ряд примечательных черт эмбриогенеза (Ereskovsky and Gonobobleva, 2000; Gonobobleva and Ereskovsky, 2004). Это массовый бореально-арктический вид, обитающий в водорослях сублиторали. Развитие происходит внутри материнского организма, каждый зародыш заключен в выводковую камеру. С точки зрения вопросов полярности дробление носит полиаксиальный характер, не описанный у других животных. Полное, равномерное и асинхронное дробление приводит к формированию симметричной целобластулы (полной бластулы), лишенной признаков передне-задней полярности. Личиночный морфогенез

состоит в компактизации (увеличении площади контактов между бластомерами и изменении формы клеток), иммиграции поверхностных клеток в бластоцель, и формировании жгутиков на апикальной поверхности клеток. Дальнейшее деление и дифференцировка покровных жгутиковых клеток приводит к образованию поляризованной предличинки, задний полюс которой определен жгутиковыми клетками особой морфологии. Из-за деления клеток и, как следствие, увеличения площади, на поверхности предличинки формируются инвагинации, исчезающие у части предличинок.

Судьба предличинки может быть различна. У некоторых зародышей иммиграция клеток в бластоцель, по-видимому, прекращается, и предличинка формируется полой; из нее формируется личинка-целобластула. У других зародышей вся полость бластоцеля оказывается заполненной иммигрировавшими клетками - из них формируется паренхимульная личинка. У третьих зародышей инвагинация поверхностного слоя клеток отшнуровывается, и внутри личинки образуется изолированная камера из жгутиковых клеток. Все эти три морфотипа личинок могут быть обнаружены внутри одной особи, что указывает на отсутствие зависимости от условий среды. Вероятно, ключевым моментом является период складчатой предличинки, когда происходит активный морфогенез по эпителиальному типу. Мы попытались установить молекулярные механизмы, опосредующие личиночный морфогенез у *Halisarca dujardini*, с целью установить причины или функции такого разнообразия морфотипов личинок у одного вида.

## Результаты

Мы использовали RNA-seq для оценки изменения экспрессии генов на разных стадиях развития *Halisarca dujardini*. Губок собирали близ учебно-научной базы "Беломорская" СПбГУ в губе Чупа (Кандалакшский залив, Белое море), с сублиторального горизонта в июне-июле 2022 года. Губок, содержащих зародыши, разрезали на 2 фрагмента. Один из них фиксировали в 2,5%-ном глутаровом альдегиде на какодилатном буфере (100 мМ, pH 7,4) с последующей постфиксацией 1%-м раствором четырехоксида осмия. Зафиксированную ткань заливали в смолу EMbed812 (EMS), и изготавливали полутонкие срезы для оценки стадий развития внутри конкретной губки. Второй фрагмент губки, с минимумом отпрепарированного мезохила, незамедлительно замораживали в жидком азоте для последующего выделения РНК. Тотальную РНК выделяли с реагентом ExtractRNA (Evrogen), библиотеки готовили путем обогащения полиаденилированной фракции, и секвенировали на приборе NovaSeq6000 (Illumina), получая около 30 млн парно-концевых прочтений длиной 150 п.н. для каждого образца. Образцы секвенировали в трех биологических повторностях. Референсный транскриптом собирали из библиотек всех образцов, на основе черновой сборки генома, полученной из прочтений Oxford Nanopore и Illumina. Прочтения, полученные для разных стадий развития, картировали на референсный транскриптом с помощью bowtie2; уровни экспрессии подсчитывали с помощью RSEM, статистическую обработку проводили в пакете DESeq2 для R. В качестве образца сравнения использовали дефинитивную губку без зародышей.

В анализе использовали три ключевые стадии развития. По полутонким срезам мы классифицировали их как среднее дробление, гладкая бластула и складчатая предличинка (рис. 1). Стадия среднего дробления характеризуется рыхлым расположением бластомеров и наличием выраженного бластоцеля. Гладкая бластула наблюдается после компактизации, когда ядра будущих жгутиковых клеток занимают апикальное положение, но клетки еще имеют клиновидную форму. Складчатая предличинка демонстрирует инвагинации в поверхностном слое клеток. Мы провели анализ наборов транскриптов для разных стадий по методу главных компонент, используя первые 2 компоненты и 500 наиболее активно



экспрессирующихся генов (рис. 2). PCA показал, что образцы хорошо группируются между собой в пределах стадии.

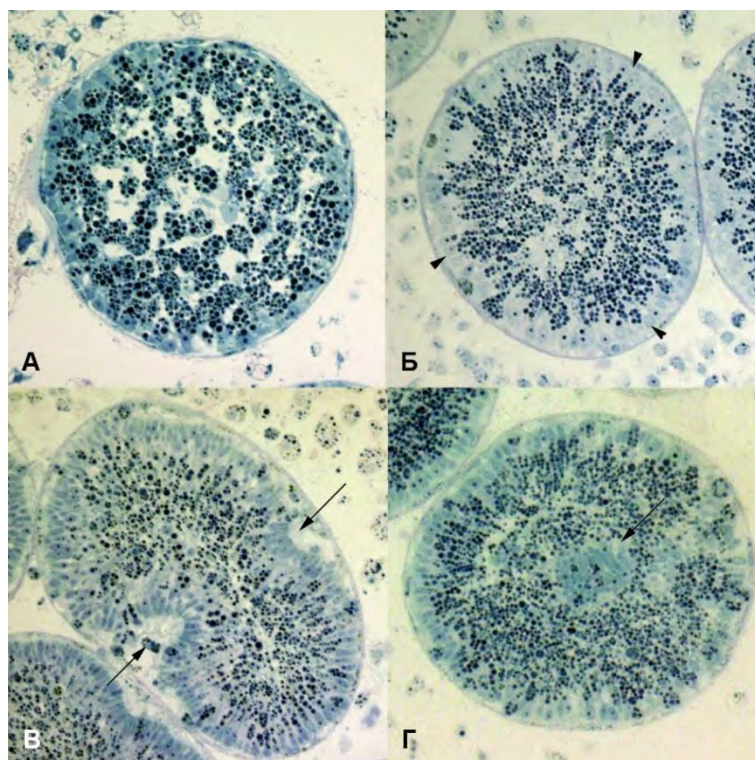


Рис. 1. Полутоновые срезы разных стадий развития *Halisarca dujardiniii*, использованные в анализе. (а) Среднее дробление, (б) гладкая бластула, (в, г) складчатая предличинка. Наконечниками стрелок показаны ядра будущих жгутиковых клеток, стрелками - инвагинации наружного слоя.

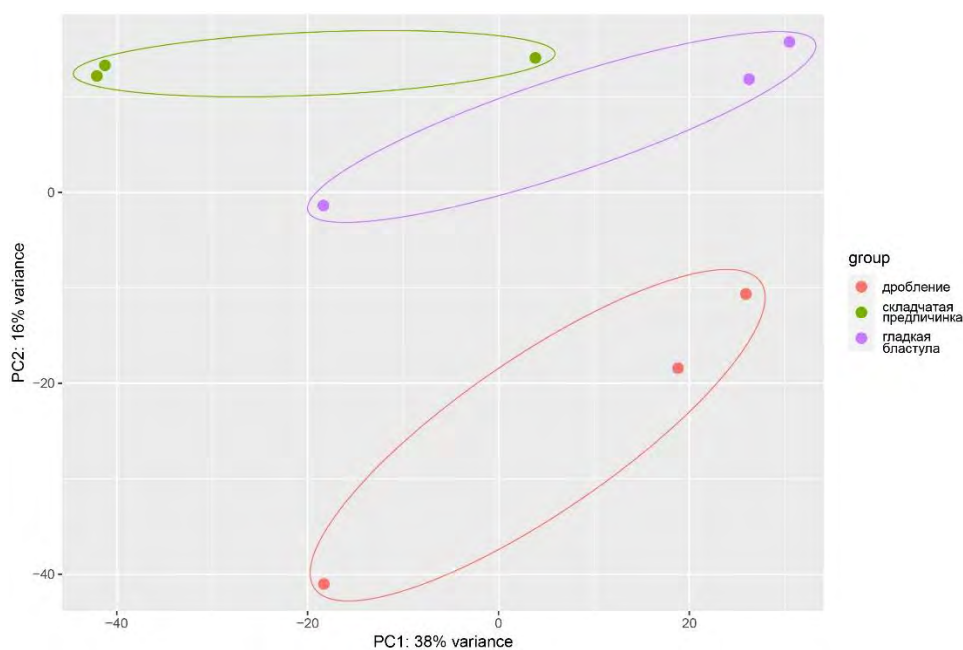


Рис. 2. Результаты анализа методом главных компонент по первым двум компонентам. Разные стадии показаны цветом.

С помощью DESeq2 мы идентифицировали транскрипты генов, количество которых увеличивалось на стадии предличинки дисфорулы по сравнению с взрослой губкой без зародышей и по сравнению с предыдущей стадией - стадией гладкой бластулы (рис. 3). Здесь и далее транскрипт считается оверэкспрессированным при  $p\text{-value} < 0,05$  и логарифму изменения количества транскриптов по основанию 2 (L2FC) - больше 1. Если в первом случае дифференциально экспрессированными оказываются все гены, число транскриптов которых больше, чем у интактной губки, то во втором предполагалось обнаружить транскрипты, которые появляются только при переходе от стадии гладкой бластулы, при появлении складчатости. По сравнению с интактной губкой, экспрессия повышена у 2003 транскриптов, по сравнению с гладкой бластулой - у 672 транскриптов.

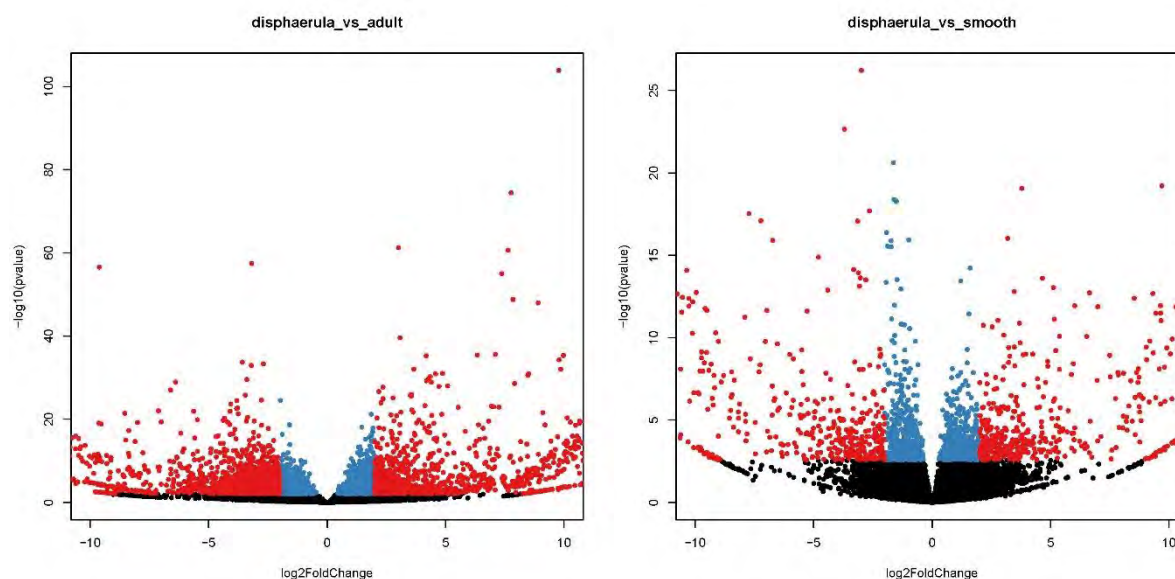


Рис. 3. График, отражающий зависимость силы изменения экспрессии от достоверности. Каждая точка означает транскрипт; красные точки - с  $p\text{-value} < 0,05$  и L2FC больше или меньше 1, синие - с  $L2FC < 1$ , черные - с  $p\text{-value} > 0,05$ . На левом графике показано сравнение складчатой предличинки с взрослой губкой, на правом - с гладкой бластулой.

Также мы сравнили между собой наборы оверэкспрессированных транскриптов на всех трех стадиях, и обнаружили, что значительная часть их является общей для двух или трех стадий (Рис. 4). Так, на каждой из стадий - дробление, гладкая или складчатая бластула - по сравнению с интактной губкой оверэкспрессировано от 2 до 3,2 тыс транскриптов. Примерно по 800 транскриптов являются общими для всех или первых двух стадий, уникальными для дробления - 1475. Только 609 транскриптов присутствуют на стадии складчатой бластулы, но отсутствуют на других, т.е. активируются именно на этой стадии.

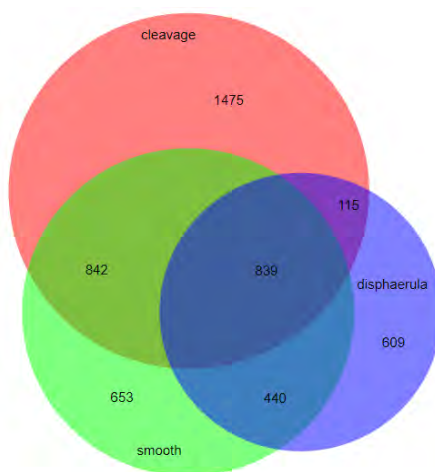


Рис. 4. Диаграмма Венна, демонстрирующая перекрытие наборов сверхэкспрессированных транскриптов между разными стадиями развития. Для каждой стадии ир-регулируемые транскрипты определены относительно интактной губки. Для каждого из перекрывающихся множеств показано число транскриптов, входящих в него. Среди них 839 транскриптов являются общими для всех трех стадий, 609 - уникальными для складчатой бластулы.

Мы проанализировали гены, сверхэкспрессированные на стадии складчатой предличинки, по терминам онтологии генов (GO, gene ontology; рис. 5). Для обоих сравнений (с интактной губкой и с предыдущей стадией) показаны сходные набора терминов онтологии. Процессы, к которым они относятся, включают деление клеток, сборку ресничек и сперматогенез (вероятно, из-за сборки жгутиков апикальных клеток), а также регуляцию транскрипции.

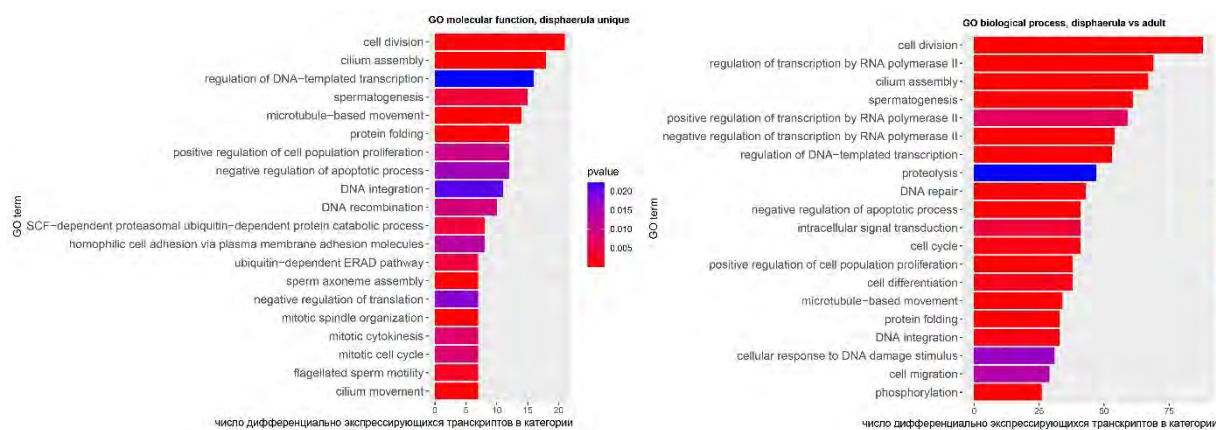


Рис. 5. Диаграммы, отражающие распределение наиболее представленных 20 терминов GO среди сверхэкспрессированных транскриптов в категории "биологический процесс". На левой приведены термины для транскриптов, уникальных для стадии складчатой предличинки, на правой - для сверхэкспрессированных относительно дефинитивной губки. Цветом показан p-value обогащения по каждому термину.

## Выводы

При переходе между стадиями развития наблюдается переключение активно экспрессирующихся генов, притом для каждой из исследованных стадий есть гены, которые экспрессируются только на ней. Для складчатой предличинки характерно небольшое число

оверэкспрессированных транскриптов, представленных как по сравнению с дефинитивной губкой, так и со стадией гладкой бластулы, т.е. появляющихся только на этой стадии. Полученные данные свидетельствуют о том, что лидирующими процессами, идущими в складчатой предличинке, являются пролиферация и сборка жгутиков.

### **Финансирование**

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-74-00042, <https://rscf.ru/project/22-74-00042/>.

### **Список литературы:**

1. Ересковский А.В. Сравнительная эмбриология губок (Porifera) // Издательство СПбГУ. – 2005. – 304 стр.
2. Gonobobleva E., Ereskovsky A. Polymorphism in free-swimming larvae of *Halisarca dujardini* (Demospongiae, Halisarcida) // Boll. Mus. Ist. Biol. Univ. Genova. - 2004. - Vol. 68. - P. 349–356.
3. Ereskovsky A.V., Gonobobleva E.L. New data on embryonic development of *Halisarca dujardini* Johnston, 1842 (Demospongiae, Halisarcida) // Zoosystema. - 2000. - Vol. 22. - P. 355–368.

УДК 595.14

Рубрика 34.33.15

НЕИЗВЕСТНАЯ БЕЛОМОРСКАЯ ЛИЧИНКА ИЗ СЕМ. DORVILLEIDAE (ANNELIDA)

UNKNOWN WHITE SEA LARVA OF THE FAMILY DORVILLEIDAE (ANNELIDA)

**Королева Анна Сергеевна<sup>1</sup>, Неретина Татьяна Владимировна<sup>2</sup>, Колбасова Глафира Дмитриевна<sup>2</sup>, Прудковский Андрей Андреевич<sup>1</sup>, Цетлин Александр Борисович<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup> *Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Москва*

<sup>2</sup> *Беломорская биологическая станция имени Н. А. Перцова*

**Koroleva Anna Sergeevna<sup>1</sup>, Neretina Tatiana Vladimirovna<sup>2</sup>, Kolbasova Glafira Dmitrievna<sup>2</sup>, Prudkovsky Andrey Andreevich<sup>1</sup>, Tzetlin Alexander Borisovich<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup> *Lomonosov Moscow State University*

<sup>2</sup> *Pertsov White Sea Biological Station of Lomonosov Moscow State University*

## **Введение**

Около двадцати лет назад в мейобентосных пробах из окрестностей Беломорской биологической станции МГУ была обнаружена бентосная личинка неизвестного вида аннелид. С тех пор похожие личинки редко, но регулярно встречались среди мейобентоса там же, около ББС МГУ.

Для морских аннелид («полихет») характерно наличие ресничных личинок. Разнообразие морфологии и образа жизни таких личинок велико. Они могут быть лецитотрофными или питающимися, планктонными или бентосными. Часть стадий личиночного развития может происходить под яйцевыми оболочками еще в кладке. Общим для аннелидных личинок является наличие ресничных шнуров, среди которых самым характерным является прототрох.

Большинство известных личинок аннелид являются планктонными. Причем в арктических морях изученность личинок зависит и от сезона размножения, так как сбор материала обычно производится в летние месяцы, когда акватории свободны ото льда и доступны для экспедиционных судов (Fetzer, 2004).

Находка представляет интерес во первых, потому что свободноживущие донные личинки аннелид изучены крайне фрагментарно из-за сложностей их поиска, в бентосных пробах (Fetzer, 2004). Во вторых, потому что подобная личинка является абсолютно новой для Белого моря.

## **Материалы и методы**

Первая личинка была поймана водолазами при помощи ручной планктонной сети в 2010 году около мыса Киндо (Кандалакшский залив Белого моря, 66°34'N, 33°08' E). Большая часть личинок, описанных в настоящей работе была собрана при помощи гипербентосного трала



(Åkkelmann sledge) или придонной планктонной сети там же (66.52677° N, 33.18645° E). В период с 2010 до 2023 года было обнаружено всего около 30 личинок, во всех случаях личинки находились в конце лета (Июле-Августе).

### *Морфология*

Морфология личинок изучалась при помощи методов световой микроскопии (общее строение), сканирующей электронной микроскопии (цилиатура), а также конфокальной микроскопии (мышцы, нервная система).

### *Молекулярный анализ*

Молекулярный анализ проводился на живом и спиртовом материале по нескольким стандартным генам с соответствующими праймерами: COI (Geller et al. 2013), H3 (Rousset et al., 2006), 18S (Rousset et al., 2006). Однако, удачными и пригодными для дальнейшего анализа оказались только результаты по H3 и 18S (по две последовательности для каждого гена).

Полученные последовательности 18S выравнивались алгоритмом MUSCLE с другими последовательностями из NCBI (номера отображены на дереве, рис. 3 и 4). Филогенетические деревья по гену 18S были построены методами максимального правдоподобия (ML) и Байесовской статистики (BI).

## **Результаты**

### *Морфология*

Длина в живом состоянии от 400 до 950 мкм, ширина от 100 до 400 мкм (рис. 2), тело несколько сплющено в дорсо-вентральном направлении. Не зависимо от рамера, все особи имели 6-7 туловищных сегментов, на каждом из которых находился опоясывающий ресничный шнур (рис. 1).

Первый сегмент – простомиум, несет на себе несколько неполных ресничных шнуров – акротрохов, теменной султанчик невыражен. Второй сегмент – перистомиум, на котором открывается рот. Два красных глазка просвечивают на уровне простомиума или перистомиума, в моменты, когда личинка сокращается (рис. 1А, Б). Последний сегмент - пигидий заканчивается непарным придатком – стилем. На последнем перед пигидием сегменте, имеются две короткие дорсо-латеральные конические папиллы с длинными неподвижными щетинками. На поверхности теловищных сегментов хорошо развита цилиатура, организованная в сегментарные поперечные ресничные полосы и вентральную продольную ресничную полосу – невротрох, который тянется от ротового отверстия до конца стилиа (рис. 1Б).



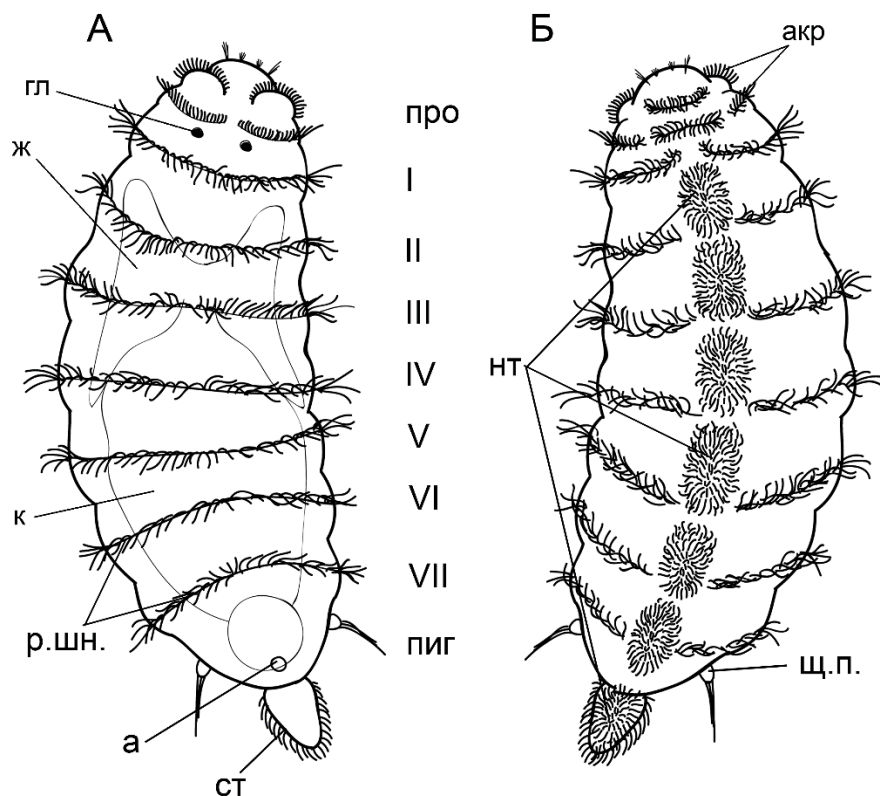


Рисунок 1. Схема цилиатуры с дорсальной (А) и вентральной (Б) стороны. Про, I-VII, пиг – простомииум, туловищные сегменты и пигидий, соответственно. Обозначения: а – анальное отверстие, акр – акротрохи, гл – глаза, ж – окологлоточные железы, к – кишка, нт – невротрох, р.шн. – сегментные ресничные шнуры, ст – стиль, щ.п. – щетинконосная папилла на предпоследнем сегмента.

Мелкие личинки (300-600 мкм) беловато-прозрачные, внутри видна кишка, заполненная желтком (рис. 2А). В передней части кишки хорошо видна мускулистая глотка (рис. 2Г, Д) с бьющимися ресничками внутри, которая еще не соединена со средней кишкой. Щетинки отсутствуют, кроме небольшого пучка на папиллах предпоследнего сегмента. В передней части тела, над кишечником располагаются обширные парные железы (рис. 1А, 2А). Анус располагается субтерминально, на дорсальной стороне пигидия (рис. 1А, 2Г).

Крупные личинки (700-950 мкм) менее прозрачные, часто желтовато-зеленоватого оттенка (рис. 2Б). Глотка соединена с кишкой, в которой уже не видны желточные клетки. На каждом туловищном сегменте по бокам видны маленькие пучки тонких щетинок. Глоточные железы и анус как и у мелких особей. В центральной части тела у самых крупных особей обнаружены крупные темные (в микроскопе) клетки с центральным ядром или, у других особей, такие же темные парные округлые железы в задней части тела (рис. 2Б).

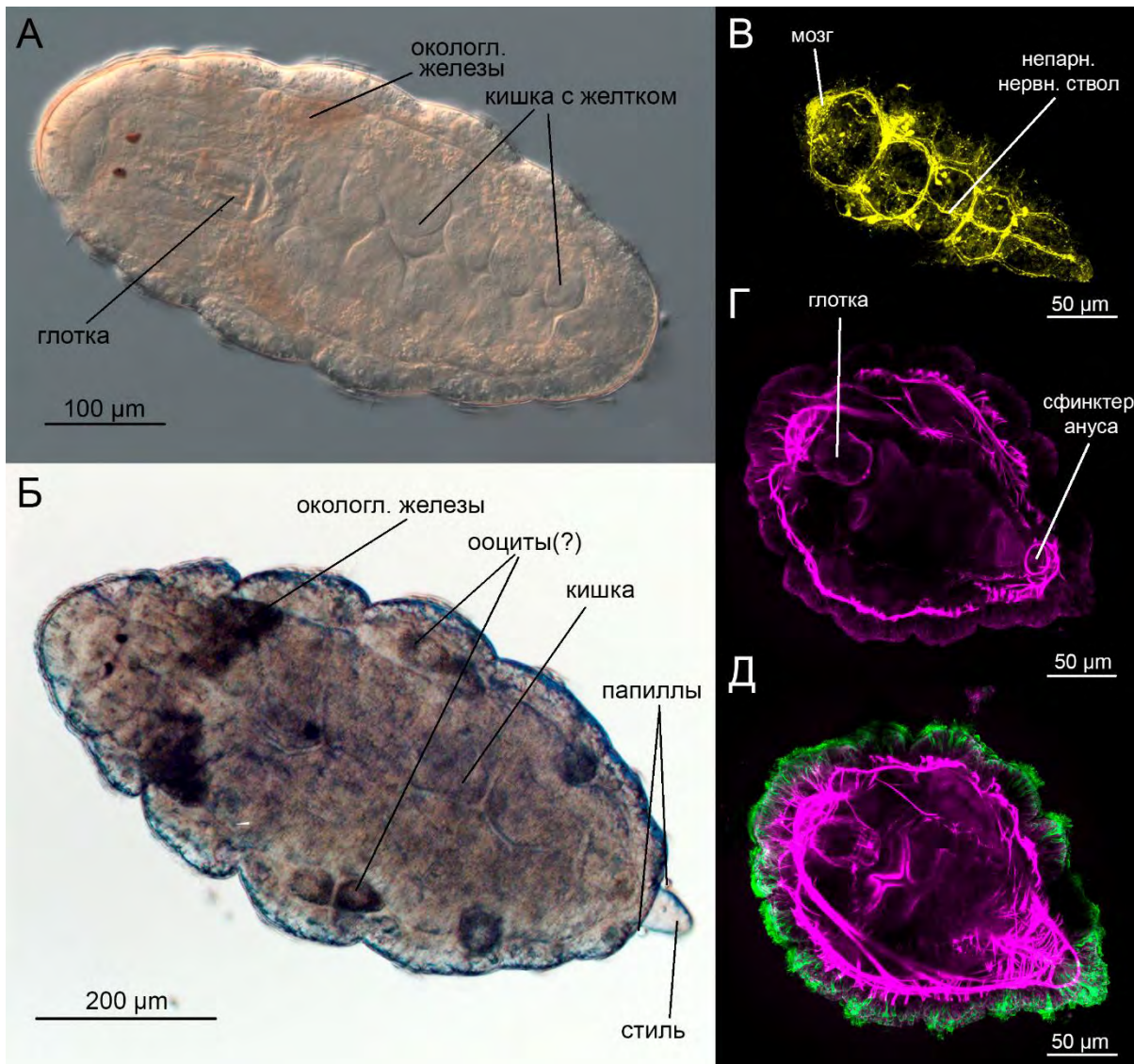


Рисунок 2. Морфология личинок. А, Б – прижизненные фотографии мелкой (А) и крупной (Б) личинок под световым микроскопом. В-Г – конфокальная микроскопия:  
 В – строение нервной системы (Anti-Serotonine),  
 Г – строение мышечной системы на уровне глотки (Phalloidin A22287),  
 Д – строение мышечной системы (маджента) и цилиатуры (зеленый) в средней трети тела (маджента – Phalloidin A22287; зеленый – Anti-tyr-a-tubulin T9028)

## Молекулярный анализ

Результаты выравнивания BLAST (в базе NCBI) не позволяют определить род и вид личинки по маркерам COI, H3 и 18S из-за низкой идентичности с образцами из генбанка. Однако, молекулярные данные, позволяют отнести обнаруженных личинок к семейству Dorvilleidae (рис. 3).

На данный момент описано только два вида дорвиллеид, обитающих в Белом море: *Dorvillea kastjani* и *Ophryotrocha irinae* (Каталог биоты ББС МГУ). Тем не менее, полученные последовательности H3 неизвестной личинки не совпадают ни с *D. kastjani* (p-distance 0.269), ни с *O. irinae* (p-distance 0.171).

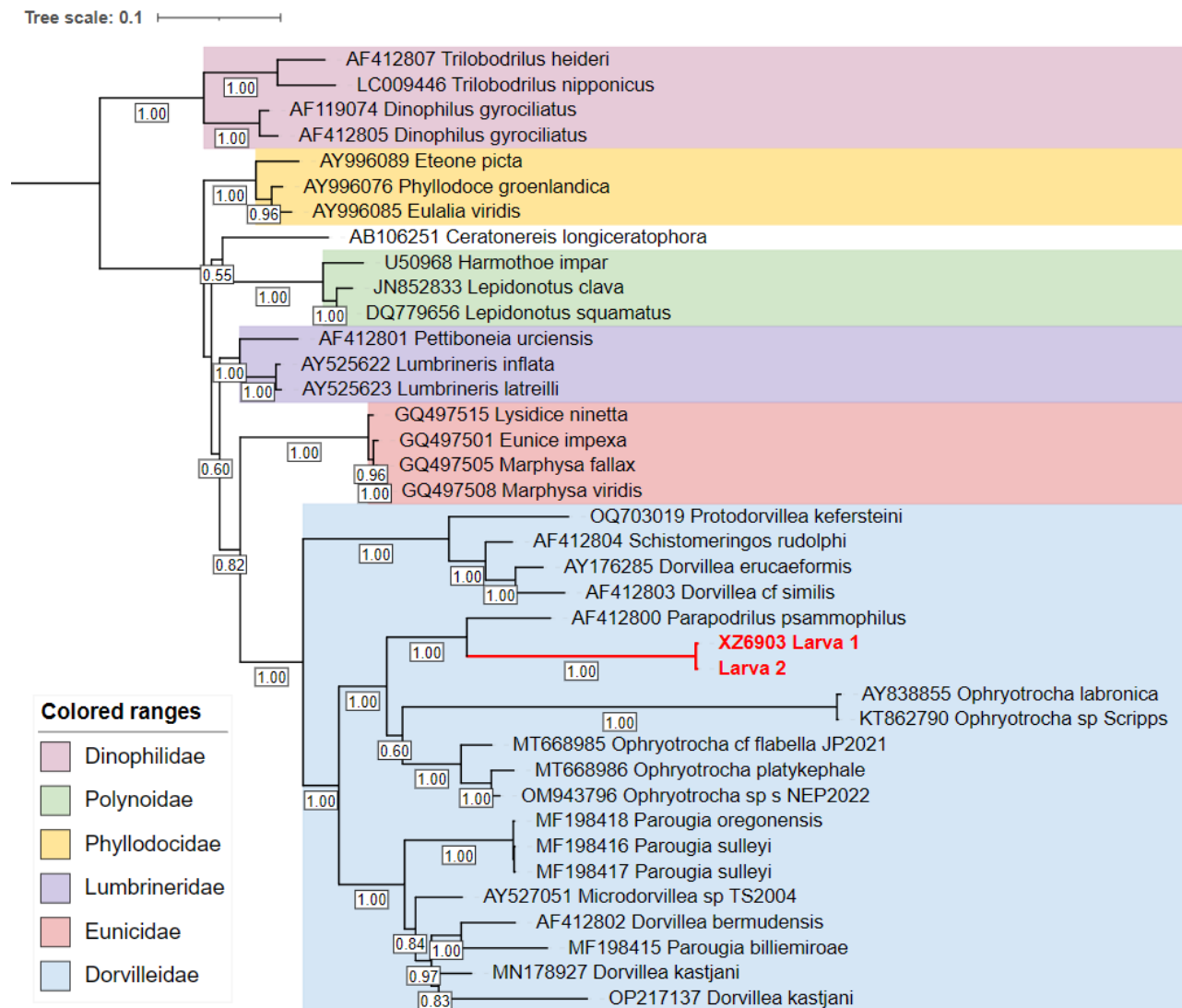


Рисунок 3. Филогенетическая реконструкция (BI), построенная по частичным последовательностям гена 18S для семи семейств. Последовательности, соответствующие личинке (Larva 1, Larva 2), выделены красным и попадают в семейство Dorvilleidae. Вероятности меньше 0.5 не показаны.



Филогенетическая реконструкция для 18S показывает, что исследуемые личинки а) с высокими поддержками попадают в семейство Dorvilleidae (рис. 3); б) вероятно являются сестринскими к роду *Ophryotrocha* и *Parapodrilus psammophilus* (рис. 4).

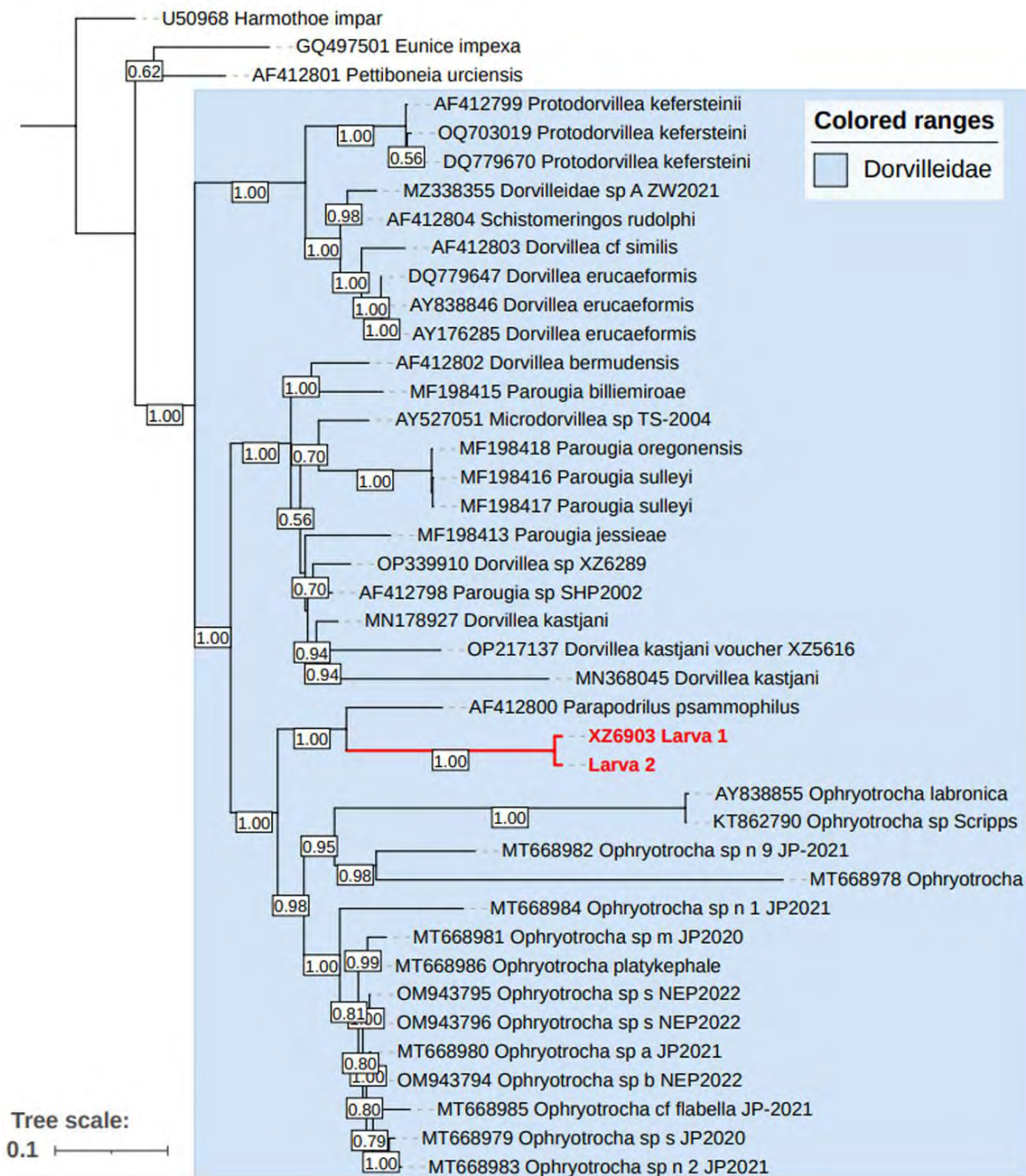


Рисунок 4. Филогенетическая реконструкция (BI) положения изучаемой личинки (выделены красным) в сем. Dorvilleidae (выделено голубым), построенная по частичным последовательностям гена 18S. Вероятности меньше 0.5 не показаны.

## Обсуждение

Морфология личинок характерна для стадии метатрохофоры аннелид (несколько сегментов, но параподии еще не развиты). Бентосный образ жизни, семь туловищных сегментов, развитая цилиатура, отсутствие головных придатков, стиль и папиллы на предпоследнем сегменте – все это очень характерно для личинок сем. *Dorvilleidae* (отр. *Eunicida*) (e.g. Åkesson, 1974).

Дорвиллеиды – это очень маленькие черви, многие из которых относятся к интерстициальной фауне. Характерно для дорвиллеид и проявление неотеничных признаков: цилиатура во взрослом состоянии (*Ophryotrocha* и пр.), отсутствие челюстей (*Parapodrilus*), редукция параподий, а иногда и щетинок (*Neotentrocha*) и т.д. (Zanol et al., 2021).

Наиболее похожим исследуемую личинку с точки зрения морфологии является вид *Neotentrocha sterreri* из соответствующего монотипичного рода, описанный для Бермудских островов (Eibye-Jacobsen, Kristensen, 1994). Это неотеничные черви, взрослые особи которых очень похожи на исследуемую личинку. Различия заключаются в отсутствии у беломорских червей челюстного аппарата, ооцитов и длинных щетинок. К сожалению, для *N. sterreri* нет сиквенсов в Генбанке, поэтому проверить родовую идентичность не представляется возможным.

В связи с этим возникает вопрос, является ли исследуемая личинка неотеничным видом, а ее морфология – дефинитивным строением взрослого организма? В пользу неотении свидетельствует несколько фактов:

- по всем исследованным генетическим маркерам (H3, 18S) исследуемая личинка не совпадает с известными дорвиллеидами Белого моря, т.е. за 20 лет не было обнаружено и описано «взрослой» формы червя
- при росте личинок количество сегментов остается постоянным (6-7 туловищных сегментов)
- продвинутое строение мышечной и нервной системы (рис. 2В-Г)

Аргументом против неотении можно считать отсутствие половых продуктов. В данном случае речь идет о клетках, которые можно было бы однозначно назвать ооцитами, хотя темные крупные клетки у самых больших личинок можно подозревать как развивающиеся ооциты. У *N. sterreri* же ооциты описаны, что доказывает ее неотеничность (Eibye-Jacobsen, Kristensen, 1994).

Еще одним семейством с похожим образом жизни и морфологией является неотеничное семейство *Dinophilidae*. Однако, молекулярные данные подтвердили положение изучаемых личинок именно среди дорвиллеид (рис. 3). Морфологическое сходство в данном случае связано с миниатюризацией при переходе к интерстициальному образу жизни и характерно еще для некоторых других семейств аннелид (Struck et al., 2015).

## Заключение

Личинка, описываемая в настоящей работе, не является личинкой ни одного из известных видов аннелид Белого моря и может быть новым видом для этого региона. На основании морфологических и молекулярных данных ее можно отнести к сем. *Dorvilleidae*, а единственным схожим по морфологии видом является неотеничная *N. sterreri*. Для подтверждения как родовой принадлежности, так и факта неотении требуются дальнейшие исследования.

## Благодарности

Авторы благодарят сотрудниц каф. Зоологии беспозвоночных МГУ, Ирину Александровну Екимову и Марию Владиславовну Становову за ценные замечания и обсуждение филогенетических реконструкций;

сотрудника каф. Зоологии беспозвоночных МГУ Бориса Викторовича Осадченко и аспирантов биологического факультета МГУ Николая Мельникова и Ксению Скоренцеву за помощь и ценные советы при подготовке объектов для конфокальной микроскопии.

## Список литературы

1. Åkesson B. Reproduction and Larval Morphology of Five *Ophryotrocha* Species (Polychaeta, Dorvilleidae) // *Zoologica Scripta* – 1974 – Vol. 2 – P. 145-155.
2. Eibye-Jacobsen D., Kristensen R.M. A new genus and species of Dorvilleidae (Annelida, Polychaeta) from Bermuda, with a phylogenetic analysis of Dorvilleidae, Iphitimidae and Dinophilidae. // *Zoologica Scripta* – 1994 – Vol. 23 – P. 107–131.
3. Fetzer I. 2004. Reproduction strategies and distribution of larvae and juveniles of benthic soft bottom invertebrates in the Kara Sea (Russian Arctic) // AWI, Bremen. 1–242.
4. Geller J., Meyer C., Parker M., Hawk H. Redesign of PCR primers for mitochondrial cytochrome c oxidase subunit I for marine invertebrates and application in all-taxa biotic surveys. // *Molecular ecology resources* – 2013 – Vol. 13, No 5 – P.851-861.
5. Rousset V., Pleijel F., Rouse G. W., Erséus C., Siddall M. E. (2007). A molecular phylogeny of annelids // *Cladistics* – 2007 – Vol. 23, No 1 – P. 41-63.
6. Struck T. H., Golombek A., Weigert A., Franke F. A., Westheide W., Purschke G., ... & Halanych K. M. (2015). The evolution of annelids reveals two adaptive routes to the interstitial realm // *Current Biology* – 2015 – Vol. 25, No 3 – P. 1993-1999.
7. Zanol J., Carrera-Parra L. F., Steiner T. M., Amaral A. C. Z., Wiklund H., Ravara A., Budaeva N. (2021). The current state of Eunicida (Annelida) systematics and biodiversity // *Diversity* – 2021 – Vol. 13, No 2 – P. 74.



УДК 574.24

Рубрика 34.21.17

ВЛИЯНИЕ АНТИДЕПРЕССАНТОВ НА ЭМБРИОНАЛЬНОЕ РАЗВИТИЕ  
STRONGYLOCENTROTUS PALLIDUS и OPHELIA LIMACINA

THE EFFECT OF ANTIDEPRESSANTS ON THE EMBRYONIC DEVELOPMENT OF  
STRONGYLOCENTROTUS PALLIDUS AND OPHELIA LIMACINA

**Кисель Алина Андреевна<sup>1</sup>, Румянцева Светлана Михайловна<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> МГУ им. М. В. Ломоносова, Москва

<sup>2</sup> МГУ им. М. В. Ломоносова, Москва

**Kisel Alina Andreevna<sup>1</sup>, Rumyantseva Svetlana Mikhailovna<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> MSU M. V. Lomonosov, Moscow

<sup>2</sup> MSU M. V. Lomonosov, Moscow

### **Введение**

Известно, что клетки могут накапливать или синтезировать серотонин и выделять его в синаптическую щель, а в случае эмбрионов животных - в межклеточное пространство, и так или иначе влиять на соседние клетки. Причем эмбрионы способны захватывать серотонин на ранних стадиях формирования зародыша, то есть у них активен механизм транспорта серотонина. Поэтому было интересно выяснить, какой эффект оказывают блокаторы этого механизма.

В нашей работе мы использовали флуоксетин. Он является одним из наиболее часто назначаемых антидепрессантов класса селективных ингибиторов обратного захвата серотонина (СИОЗС). Эпидемиологические исследования показали связь между использованием флуоксетина матерью во время беременности и увеличением частоты врожденных дефектов. Мы предположили, что флуоксетин будет нарушать эмбриональное развитие.

В качестве объектов исследования были выбраны морской ёж *Strongylocentrotus pallidus* и кольчатый червь *Ophelia limacina*. Они были выбраны неслучайно, поскольку это хорошо изученные и удобные лабораторные объекты. А также это представители первичноротых и вторичноротых, что позволяет оценить влияние флуоксетин на разных группах организмов.

### **Материалы и методы**

Работа проводилась на беломорской биологической станции имени Н. А. Перцова биологического факультета МГУ имени М. В. Ломоносова.

Для получения ранних эмбрионов было необходимо собрать половые продукты морского ежа и червя. В случае первого выброс материала инициировался путем инъекции хлорида калия. А в случае второго — путем прокалывания тела червя.

Основной метод исследования действия флуоксетина на эмбриональное развитие объектов — фармакологический эксперимент. В разных концентрациях сразу после оплодотворения добавлялся антидепрессант. Кроме того, была произведена попытка «отменить» действие флуоксетина с помощью добавления серотонина и его предшественника (НТР).

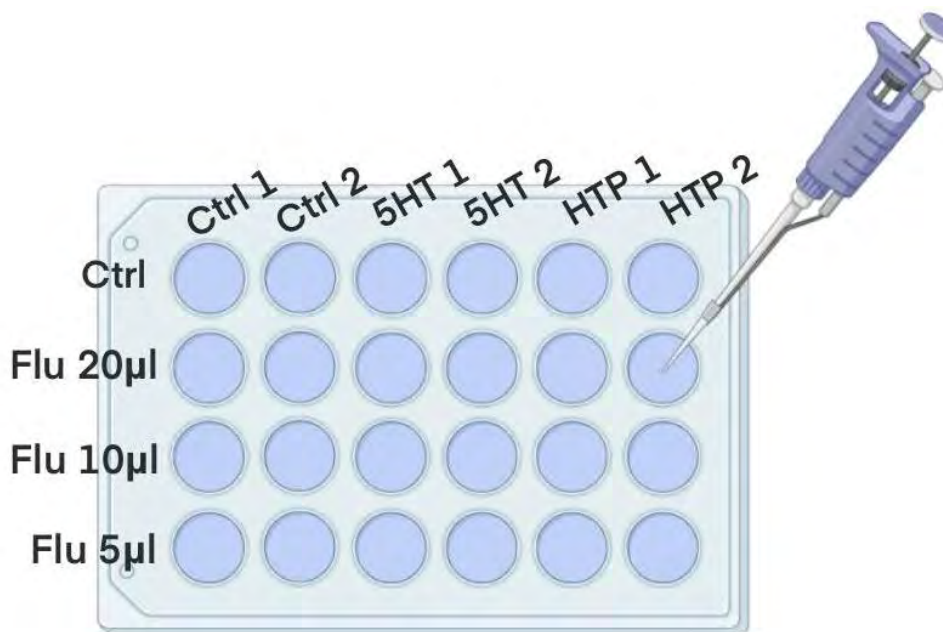


Рис.1. Порядок заполнения планшета и концентрации добавленных веществ.

Также проводился эксперимент по отмыванию флуоксетина на разных стадиях эмбриогенеза. Фиксирование стадий развития проводилось с помощью светового микроскопа. Строение трохофор *Ophelia limacina*, развивающихся в высокой концентрации антидепрессанта, исследовалось методом конфокальной микроскопии.

Статистический анализ полученных данных проведен с помощью метода ANOVA.

## Результаты

- 1) Был проведен эксперимент с действием флуоксетина на разных стадиях раннего развития *Ophelia limacina* (с 0 до 12 часов и с 12 до 24 часов). За 12 часов эмбрионы достигали стадии 8 бластомеров. В случае с действием флуоксетина до достижения стадии 8 бластомеров и с дальнейшим его отмыванием не было замечено нарушений развития. Токсичный эффект антидепрессанта было отмечено при действии флуоксетина после достижения стадии 8 бластомеров. У таких эмбрионов нарушалась эпителизация и гастрюляция.
- 2) Выполнен эксперимент с добавлением серотонина и его предшественника 5-гидрокситриптофана (НТР). В контрольной группе присутствовал флуоксетин в различных количествах: 0, 5, 10, 20 мкл. С увеличением концентрации антидепрессанта наблюдалось увеличение токсического действия, а именно цитостатический эффект. Добавление серотонина и НТР видимых результатов не дало. Все также наблюдалось негативное действие на развитие эмбрионов. Развитие прекращалось при переходе на стадию гастрюляции.

- 3) При низких концентрациях Flu не подавлял гастрюляцию и развитие шло до стадии трохофорной личинки. Однако наблюдалась зависимость скорости движения трохофор от концентрации антидепрессанта. Было замечено, что их движение замедлялось. Эти результаты зафиксировали с помощью съемки треков их движения.
- 4) У ежей наблюдали примерно такой же эффект при добавлении флуоксетина. В течение 4 дней фиксировали развитие эмбрионов, развивающихся в разных концентрациях антидепрессанта. И ежедневно наблюдали большой процент отставания или отклонений от контроля при флуоксетине в наибольшей концентрации. Также происходят наиболее заметные нарушения в момент перехода к гастрюляции.
- 5) Известно, что у некоторых животных флуоксетин может оказывать влияние на WNT-сигналинг и вызывать нарушения развития. И с помощью молекулярных методов это было проверено непосредственно на *S. pallidus*. К сожалению, гипотеза не подтвердилась.

### **Заключение**

1. В большой концентрации Flu наблюдается цитостатический эффект.
2. Добавление НТР и 5НТ не повлияло на развитие *O. limacina*.
3. При отмывке Flu на ранних стадиях развитие протекает нормально.
4. Flu может влиять на скорость движения трохофорных личинок *O. limacina*.

### **Благодарность**

Авторы благодарят Никишина Дениса Александровича за помощь в получении и обработке материала.

### **Список литературы:**

1. Nikishin, D. A., Milošević, I., Gojković, M., Rakić, L., Bezuglov, V. v., & Shmukler, Y. B. (2016). Expression and functional activity of neurotransmitter system components in sea urchins' early development. *Zygote*, 24(2), 206–218. <https://doi.org/10.1017/S0967199415000040>
2. Yoshihiro, M., Keiko, W., Chieko, O., Akemi, K., & Baba, S. A. (1992). Regulation of ciliary movement in sea urchin embryos: Dopamine and 5-HT change the swimming behaviour. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Comparative Pharmacology*, 101(2), 251–254. [https://doi.org/10.1016/0742-8413\(92\)90269-D](https://doi.org/10.1016/0742-8413(92)90269-D)
3. Rickels, K., & Schweizer, E. (1990). Clinical overview of serotonin reuptake inhibitors. *The Journal of Clinical Psychiatry*, 51 Suppl B, 9–12.
4. Warkus, E. L. L., & Marikawa, Y. (2018). Fluoxetine Inhibits Canonical Wnt Signaling to Impair Embryoid Body Morphogenesis: Potential Teratogenic Mechanisms of a Commonly Used Antidepressant. *Toxicological Sciences*, 165(2), 372–388. <https://doi.org/10.1093/toxsci/kfy143>

УДК 592

Рубрика 57.06.03

5 ВИДОВ MONOCELIS (PLATYHELMINTHES: PROSERIATA) ИЗ ОДНОЙ ЛУЖИ  
ОКРЕСТНОСТЕЙ ББС МГУ

5 SPECIES OF MONOCELIS (PLATYHELMINTHES: PROSERIATA) FROM ONE PUDLE  
IN THE VICINITY OF BBS MSU

**Константинова Юлия Ильинична<sup>1</sup>, Поляков Даниил Иванович<sup>1</sup>, Ежова Маргарита  
Андреевна<sup>2</sup>, Неретина Татьяна Владимировна<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова (МГУ), г. Москва

<sup>2</sup> ББС МГУ им. Н.А. Перцова, Биологический факультет МГУ, г. Москва

**Konstantinova Julia Ilyinichna<sup>1</sup>, Polyakov Daniil Ivanovich<sup>1</sup>, Ezhova Margarita  
Andreevna<sup>2</sup>, Neretina Tatyana Vladimirovna<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Moscow State University named after M.V. Lomonosov (MSU), Moscow

<sup>2</sup> BBS MSU named after: ON THE. Pertsova, Faculty of Biology, Moscow State University,  
Moscow

## Введение

При отлове представителей Platyhelminthes в окрестностях ББС были найдены черви из рода *Monocelis* со значительной вариативностью окраски. Из-за бедной представленности плоских червей в атласах и определителях, дальнейшее определение до вида по морфологии было затруднено. По литературным данным в Белом море обитают два вида этого рода: *Monocelis lineata* (Müller, 1773) Oersted, 1843 и *Monocelis fusca* Örsted, 1843. Значительно позже было показано, что *M. lineata* является комплексом видов, а также описано множество других видов рода. При предварительном молекулярном анализе беломорских образцов было установлено наличие нескольких генетически отличных групп в одном биотопе, большинство из которых были наиболее близки к видам комплекса *M. lineata*.

Род *Monocelis* относится к семейству Monocelididae из отряда Proseriata и включает в себя около 40 видов. В данной работе использовались последовательности базы данных NCBI для *M. algicola*, *M. exquisita*, *M. longistyla*, *M. fusca*, *M. lineata*. В качестве аутгруппы был взят *Pseudomonocelis ophioccephala*.

## Результаты

По критерию окраски было первоначально выделено 5 групп для молекулярного анализа. Анализ производился по 4 генам: COI, гистону H3, 18S рРНК и фрагменту 28S рРНК. Последовательности COI и H3 после секвенирования получились слишком короткими для дальнейшей работы (предположительно из-за низкой специфичности праймеров), поэтому деревья строились по 18S рРНК и фрагменту 28S рРНК.

Деревья строились в два этапа. Первая волна построения была проводилась на небольшой выборке (5 образцов, по одному от каждой цветовой группы) для того, чтобы оценить

количество генетически отличных групп, если таковые будут. Для этого было построено 5 деревьев:

1. По 18S рРНК методом максимального правдоподобия (Maximum likelihood, ML)
2. По 18S рРНК методом присоединения соседей (Neighbor joining, NJ)
3. По фрагменту 28S рРНК методом ML
4. По фрагменту 28S рРНК методом NJ
5. Комбинированное по 18S рРНК и фрагменту 28S рРНК.

Второй этап представлял собой анализ большей выборки. Каждая морфологическая группа была представлена минимум 5 образцами. Для построения и анализа деревьев использовались те же методы.

Беломорские *Monocelis* образовывали минимум 4 группы видового уровня, близкие к видам комплекса *M. lineata* и *M. fusca*, но не соответствующие ни одному описанному виду, для которых в базе данных имелись последовательности.

### **Выводы**

1. Полученные нами последовательности не принадлежат ни к одному виду, доступному для сравнения в GenBank NCBI
2. Наши образцы формируют 5 клад, минимум 4 из которых видового уровня.
3. Данная работа указывает на существование большего видового разнообразия беломорских *Monocelis*.
4. Две морфологически различимые группы образуют очень близкие друг к другу клады, необходим дальнейший анализ по другим генам для оценки таксономического ранга этих групп.

### **Список литературы:**

1. Наумов А.Д., Оленев А.В. Зоологические экскурсии на Белом море: Пособие для летней учебной практики по зоологии беспозвоночных // Изд-во Ленингр. ун-та, 1981. С. 82–85
2. Casu M., Sanna D., Cossu P., Lai T., Francalacci P., Curini-Galletti M., Molecular phylogeography of the microturbellarian *Monocelis lineata* (Platyhelminthes: Proseriata) in the North-East Atlantic, *Biological Journal of the Linnean Society*, Volume 103, Issue 1, May 2011, Pages 117–135.
3. Girstmair J., Schnegg R., Telford M.J., Egger B. Cellular dynamics during regeneration of the flatworm *Monocelis* sp. (Proseriata, Platyhelminthes). *Evodevo*. 2014
4. Littlewood D.T., Curini-Galletti M., Herniou E.A. The interrelationships of proseriata (Platyhelminthes: seriata) tested with molecules and morphology. *Mol. Phylogenet Evol.* 2000.
5. Scarpa F., Cossu P., Lai T., Sanna D., Curini-Galletti M.C., Casu M. Meiofaunal cryptic species challenge species delimitation: the case of the *Monocelis lineata* (Platyhelminthes: Proseriata) species complex. *Contributions to Zoology*. 2016; 85(2):123–145

УДК 574.5

Рубрика 34.35.33

СИСТЕМАТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ БЕЛОГО МОРЯ: 100 ЛЕТ СПУСТЯ

SYSTEMATIC RESEARCH OF THE WHITE SEA: 100 YEARS LATER

**Агунович Катерина Константиновна<sup>1</sup>, Вержбицкий Владимир Вадимович<sup>1</sup>, Ларшин Борис Борисович<sup>1</sup>, Росинская Анна Евгеньевна<sup>1</sup>, Тайманова Ольга Искандеровна<sup>1</sup>, Чижов Юрий Денисович<sup>1</sup>, Шапсюк Мария Сергеевна<sup>1</sup>, Жадан Анна Эльмировна<sup>1</sup>, Кокорин Александр Игоревич<sup>1</sup>, Михлина Анна Леонидовна<sup>1</sup>, Мокиевский Вадим Олегович<sup>2</sup>, Цетлин Александр Борисович<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Москва*

<sup>2</sup> *Институт океанологии имени П. П. Ширшова РАН, Москва*

**Agunovich Katerina Konstantinovna<sup>1</sup>, Verzhbitsky Vladimir Vadimovich<sup>1</sup>, Larshin Boris Borisovich<sup>1</sup>, Rosinskaya Anna Evgenievna<sup>1</sup>, Taimanova Olga Iskanderovna<sup>1</sup>, Chizhov Yuri Denisovich<sup>1</sup>, Shapsyuk Maria Sergeevna<sup>1</sup>, Zhadan Anna Elmirovna<sup>1</sup>, Kokorin Alexander Igorevich<sup>1</sup>, Mikhlina Anna Leonidovna<sup>1</sup>, Mokievsky Vadim Olegovich<sup>2</sup>, Tsetlin Alexander Borisovich<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Moscow State University M. V. Lomonosov, Moscow*

<sup>2</sup> *Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences, Moscow*

## **Введение**

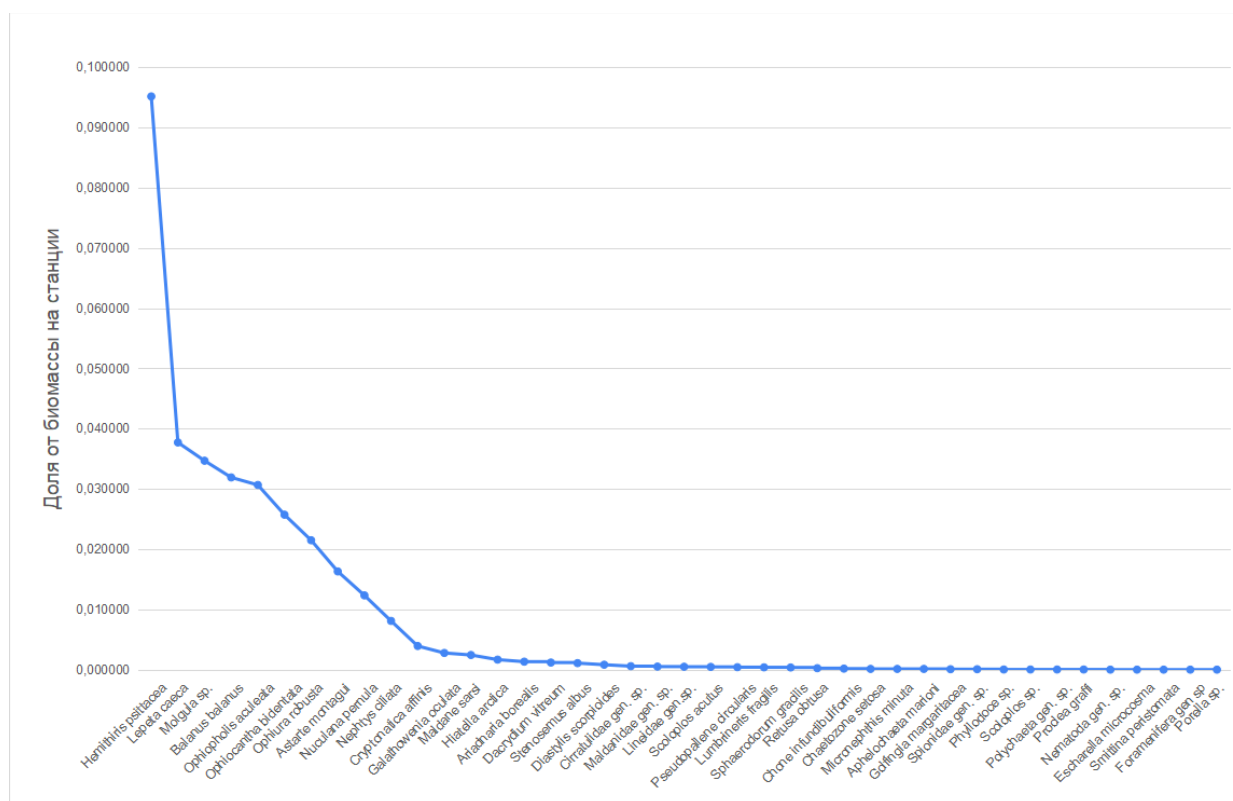
В 2023 году началась работа по проекту «Столетней съемки», цель которого – оценить изменения в биоте Белого моря за 100 лет, повторив масштабную бентосную съемку К.М. Дерюгина. Монография «Фауна Белого моря и условия ее существования» (1928) является итогом этой океанографической съемки, представляя собой первое систематическое исследование фауны Белого моря. Студенты 3 курса Биологического факультета МГУ в рамках производственной практики кафедры Зоологии беспозвоночных приняли участие в сборе и обработке материала для этого проекта. Особый интерес представляет возможность провести работу, используя как те же методы, так и ряд новых, а также посмотреть возникающие при этом методологические проблемы и ошибки. Получение новых данных о биоте и сравнение их с результатами столетней давности имеет значение для экологического мониторинга среды, выявления закономерностей природных процессов, а также оценки влияния деятельности человека на экосистемы Белого моря.

## **Материалы и методы**

24.07.2023 состоялся рейс на НИС «Профессор Зенкевич», в ходе которого отобрали бентосные пробы с помощью дночерпателя «Океан-0,1» (площадь захвата 0,1 м<sup>2</sup>) и облегченного трала Сигсби (ширина рамы 1 м, диаметр ячеи 5 мм, пройденный путь 500 м), а также провели видеосъемку дна с использованием телеуправляемого необитаемого подводного аппарата (ROV) модели Gladius mini.







.График 1. Вклад видов в общую биомассу на станции

В траловых пробах найдено 102 вида. Из них встречается в обеих повторностях 41 вид. Сходство между траловыми пробами составляет 40%. В траловых пробах самыми разнообразными группами были моллюски (28 sp.) и кольчатые черви (27sp.).

Массовыми видами для обоих тралов являются *Antinoella finmarchica*, *Eunoe nodosa*, *Diastylis scorpioides*, *Lichenopora verrucaria*, *Ophiopholis aculeata*, *Ophiura robusta*, *Stegophiura nodosa*, *Strongylocentrotus pallidus*, *Urasterias lincki*, *Astarte elliptica*, *Astarte montagui*, *Buccinum cyaneum*, *Lepeta caeca*, *Nuculana pernula*. Отдельно для первого траления были выделены следующие массовые виды: *Rhachotropis aculeata*, *Hemithiris psittacea*, *Ophiocantha bidentata*, *Oedicerotidae* gen. sp.

Суммарно дночерпателем и тралом было собрано 142 вида животных, среди которых общих для обоих орудий лова 26 видов. Среди них: кольчатые черви (*Maldane sarsi*, *Micronephthys minuta*, *Nephtys ciliata*, *Leitoscoloplos acutus*, *Golfingia margaritacea*, *Harmothoe* sp., *Cirratulidae* gen.sp.), моллюски (*Cryptonatica affinis*, *Ariadnaria borealis*, *Astarte montagui*, *Dacrydium vitreum*, *Nuculana pernula*, *Hiatella arctica*, *Lepeta caeca*, *Stenosemus albus*), членистоногие (*Balanus balanus*, *Diastylus scorpioides*, *Pseudopallene spinipes*), мшанки (*Porella peristomata*, *Porella* sp.), брахиоподы (*Hemithiris psittacea*), иглокожие (*Ophiacantha bidentata*, *Ophiopholis aculeata*, *Ophiura robusta*).

Нами также была проведена видеосъёмка дна. В лаборатории видеозаписи были проанализированы и определены следующие виды животных:

Phylum	Gen. sp.
Crustacea	<i>Dulichia</i> sp.
Annelida	Spirorbidae gen. sp.
Arthropoda	<i>Balanus balanus</i>
Arthropoda	Caridea gen. sp.
Bryozoa	Bryozoa gen. sp.
Chordata	Adciidae gen. sp.
Chordata	Asciidae gen. sp. (Колониальная форма)
Cnidaria	<i>Stomphia coccinea</i>
Echinodermata	<i>Ophiocantha bidentata</i>
Echinodermata	<i>Ophiopholis aculeata</i>
Echinodermata	<i>Ophiura robusta</i>
Echinodermata	<i>Psolus phantapus</i>
Echinodermata	<i>Stegophiura nodosa</i>
Echinodermata	<i>Strongylocentrotus pallidus</i>
Echinodermata	<i>Urasterias lincki</i>
Mollusca	Buccinidae gen. sp.
Mollusca	Gastropoda gen. sp.
Mollusca	<i>Modiolus modiolus</i>
Porifera	Porifera gen. sp.

Таблица 1. Список видов, отмеченных на видеозаписи.

В большом количестве присутствуют 4 вида офиур. Также были обнаружены типичный для данного биотопа вид морской звезды *Urasterias lincki*, морской ёж *Strongylocentrotus pallidus* и голотурия *Psolus phantapus*. Мы предположили наличие Spirorbidae gen.sp. и *Dulichia* sp. В большом количестве были обнаружены трубочки неидентифицированных полихет, однозначного соответствия которым в пробах установить не удалось. На камнях в большом количестве замечены известковые основания домиков *Balanus balanus* и немного живых особей. Были обнаружены креветки (инфраотряд Caridea). По глазам, расположенным на длинных стебельках, мы предположили, что это может быть *Eualus gaimardii*. Явно были выявлены асцидии, причем как одиночные, так и колониальные. Определить их не удалось. Несколько раз на видеозаписи попадалась актиния *Stomphia coccinea*, отсутствующая в наших тралах и в тралах Дерюгина. Были замечены раковина моллюска из семейства Вусциidae, живой двустворчатый моллюск (предположительно *Modiolus modiolus*), а также небольшой брюхоногий моллюск с круглой раковиной, определить которого не удалось.

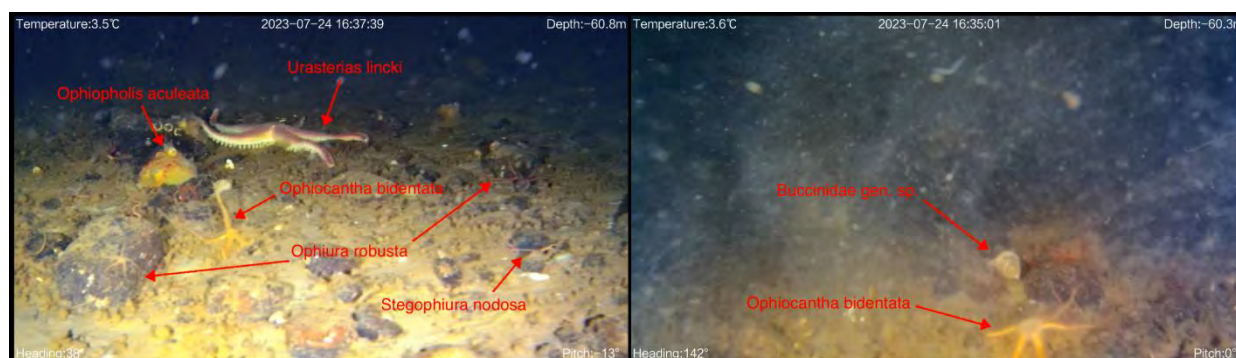


Рисунок 2. Стоп-кадры из подводной видеосъемки.

Также, мы выявили различия между тремя использованными методами пробоотбора. По всей видимости, много животных было вымыто из незакрытых дночерпателей при подъеме на палубу, поэтому по общему количеству видов и особей эти пробы сильно уступили пробам из трала, который забрал намного больше субстрата. В данных ROV преобладают иглокожие.

Напротив, в траловых и дночерпательных пробах по числу видов преобладают полихеты и моллюски. Объяснить такое явление можно, опираясь на то, что размеры большинства иглокожих часто превышают размеры большинства моллюсков и полихет, а также среди полихет и моллюсков больше представителей инфауны. Но мшанок, отмеченных в траловых и дночерпательных пробах, мы не заметили, возможно, из-за их малых размеров и неоднородности распределения на камнях. Вклад разных таксонов в общую структуру сообщества при использовании разных методов пробоотбора отображен на Графике 2.

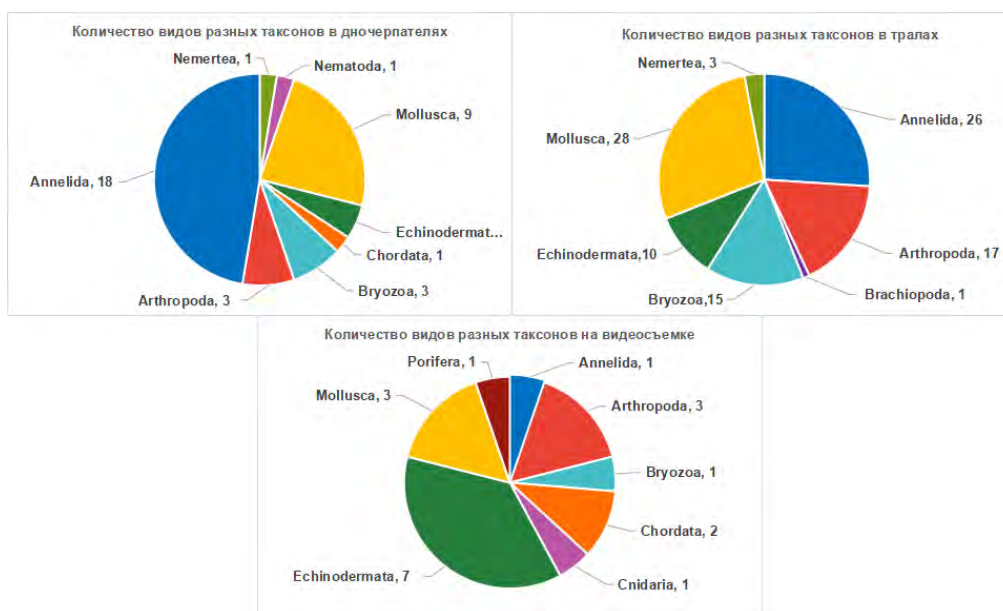


График 2. Количество видов по таксонам в разных орудиях лова.

Было отмечено, что полихет по числу видов в дночерпателях больше, чем в тралах, а моллюсков – наоборот (Таблица 2). Вероятная причина – разрушение полихет малого размера при прохождении трала, наполненного крупными камнями, в то время как в дночерпателях сохранились интактные куски грунта. Возможно и другое объяснение – некоторые моллюски имеют маленькую плотность популяции, поэтому при ловле дночерпателем они не попали в выборку.

Phylum	Дночерпатели	Тралы
Annelida	43,90%	34,18%
Arthropoda	7,32%	21,52%
Bryozoa	7,32%	18,99%
Mollusca	21,95%	35,44%

Таблица 2. Вклад разных таксонов в общее число видов .

Также мы проанализировали экологические стратегии жизненных форм в дночерпателях и тралах. Были приняты следующие категории: инфауна, онфауна, седиментаторы и смешанные жизненные стратегии (График 3). В тралах преобладают онфаунные формы, вероятно, вследствие прохождения по большому участку дна. В дночерпателях вклад инфауны более значимый, вероятно, вследствие лучшего захвата грунта. Неопределённые нематоды и полихеты были помечены как варьирующие в своих экологических предпочтениях.

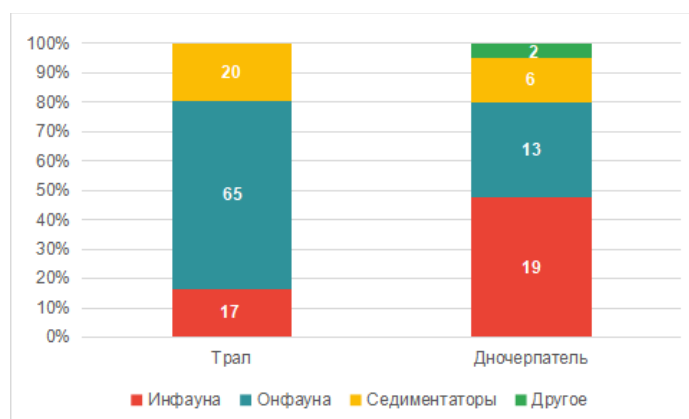


График 3. Соотношение жизненных форм в тралах и дночерпателях.

Для сопоставления актуальных и литературных результатов была создана сводная таблица по видам, встреченным в двух сериях исследований. В первую группу вошли данные из монографии К.М. Дерюгина, во вторую — видовые списки, полученные в результате работы этого года, а также данные, полученные студентами кафедры Зоологии беспозвоночных Биологического факультета МГУ в 2022 году. Далее видовые названия из обоих списков были проверены по базе данных «World register of marine species» для установления несоответствий таксономических названий прошлого века, а также по чеклисту, составленному специально для целей настоящей съемки при участии квалифицированных специалистов по таксономии ключевых групп.

Всего в сводных списках по данным XX и XXI веков внесено 238 видов и надвидовых группировок. Из них 59 видов отмечены и в списках прошлого столетия, и в современных. По 85 видов относятся только к данным XX и XXI веков. Можно выделить группу из 13 доминантных видов (Таблица 4), которые встречены в тралах обеих групп. Из них 8 видов также отмечены в дночерпательных пробах, а 9 видов на записях ROV.

Индексом встречаемости обозначили долю проб, в которых присутствовал вид, от общего числа проб в данной группе.

Помимо этого, заметна корреляция между наиболее массовыми видами в тралах и коэффициентами ранга обилия, которые мы присвоили им на основе субъективной оценки во время разбора проб (1 – единичные встречи, 2 – умеренная встречаемость, 3 – массовые виды).

	Taxon	Встречаемость 1922	Встречаемость 2022/23	Дночерп.2023	ROV	17-1 Ранг обилия (1/2/3)	17-2 Ранг обилия (1/2/3)
Mollusca	<i>Nuculana pernula</i>	1	1	+		2	2
Mollusca	<i>Astarte montagui</i>	1	0,5	+		3	3
Echinodermata	<i>Ophiacantha bidentata</i>	1	1	+	+	1	3
Echinodermata	<i>Ophiura robusta</i>	1	0,75	+	+	2	2
Echinodermata	<i>Ophiopholis aculeata</i>	0,667	0,5	+	+	3	3
Arthropoda	<i>Balanus balanus</i>	0,333	0,5	+	+	1	2
Mollusca	<i>Lepeta caeca</i>	1	0,75	+		2	3
Brachiopoda	<i>Hemithiris psittacea</i>	0,667	0,5	+		3	2
Arthropoda	<i>Eualus gaimardii</i>	0,667	0,75		+	1	1
Echinodermata	<i>Stegophiura nodosa</i>	0,667	0,5	+		2	2
Echinodermata	<i>Urasterias lincki</i>	0,333	1		+	3	3
Echinodermata	<i>Strongylocentrotus sp.</i>	0,333	0,5		+	2	2
Annelida	<i>Paradexiospira cancellata</i>	0,333	0,25		+	1	1

Таблица 3. Виды, определенные как доминантные.

Непосредственно для выявления динамики сообществ мы провели ординацию методом многомерного шкалирования по индексу сходства Жаккара (График 14). Примечательно, что



сообщества, описанные 100 лет назад на станциях «13»(178 м), «16»(51 м) и «17»(82 м) формируют отдельный кластер, достаточно отдаленный от данных студенческих работ прошлого года на станции «13» (178 м) и этого года на станции «17»(60 м). Точка «18» наиболее удалена от остальных станций Дерюгина по проценту общих видов, вероятно вследствие значительно большей глубины (325 м). Результаты двух пробоотборов 2023 года имеют больший процент схожести между собой по сравнению с двумя повторностями съемки 2022 года и данных К.М. Дерюгина, что может быть обусловлено как использованием сита 1 мм, а не 0,5 мм при промывке одной из повторностей в 2022 году, так ошибкой определения.

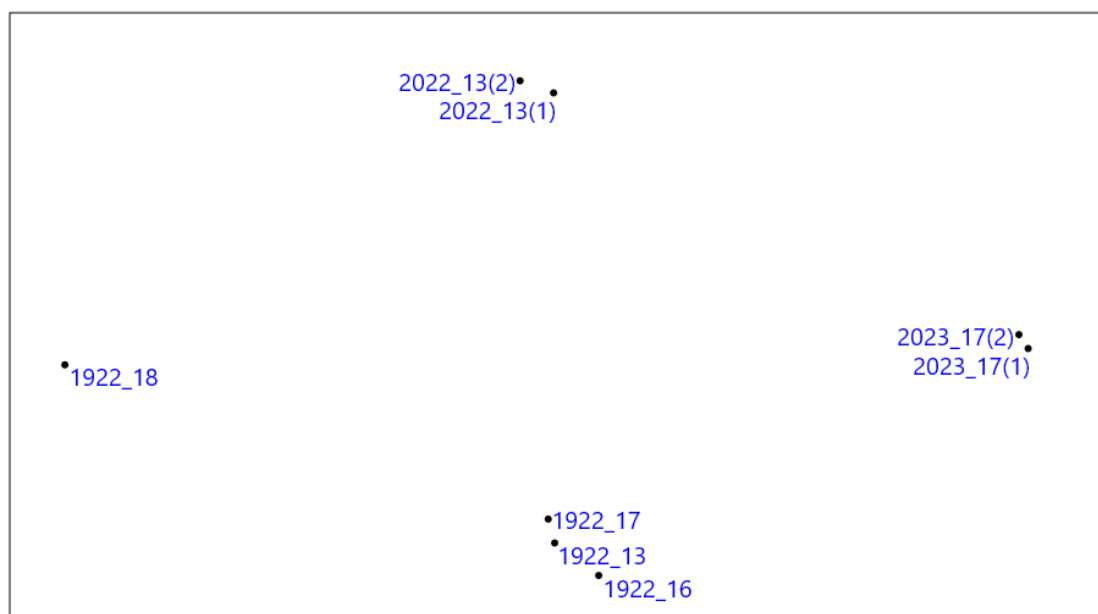


График 4. Сходство между видовыми списками разных лет. Ординация методом многомерного шкалирования по индексу сходства Жаккара.

Ряд видов, отмеченных Дерюгиным в списках 1922 года, отсутствует в данных 2022-2023 годов. Мы распределили эти виды на группы по возможным причинам отсутствия:

1. Виды с низкой плотностью популяции, которые могли не попасть в пробы, вследствие особенностей методов пробоотбора – 3 sp. (*Poraniomorpha tumida*, *Pteraster militaris*, *Spirontocaris phippisii*)
2. Виды, вклад которых в структуру сообщества мог снизиться за прошедшее столетие – 21 sp. (*Gorgonocephalus arcticus*, *Chlamys islandica*, *Pandora glacialis*, *Lyonsia arenosa* и др.)
3. Расхождения, связанные с изменениями в методике определения за прошедшее столетие – 15 видов (*Buccinum glaciale*, *Philomedes brenda* и др.)
4. Виды, которые в 1922 году определяли специалисты по этим группам, вследствие чего они имели бóльшую представленность в итоговых списках – 40 sp. (Bryozoa, Porifera, Ascidiacea и др.)

Также неразрешенной проблемой данной работы является отсутствие в наших траловых пробах асцидий. Наиболее вероятные причины – повреждение особей при подъеме трала с крупными камнями или ошибка при разборе проб в лаборатории, вследствие чего они были утеряны.



## Заключение

К.М.Дерюгин приводит характеристику 17 станции: «Как видно из списка, это место, представляющее каменистую банку, является одним из наиболее богатых жизнью. Роскошные заросли мшанки *Alcyonidium mamillatum* v. *erectum*, гидроидов и красных водорослей дают приют люцернариям, разнообразным иглокожим, ракообразным, моллюскам. Камни служат местом прикрепления различных мшанок и асцидий».

Таким образом, мы можем сделать несколько выводов:

- 1) Типы биотопов сохранились.
- 2) Список руководящих видов, за исключением ряда вышеперечисленных, сохранился.
- 3) Большую часть несоответствий списков XX и XXI века составляют минорные виды.
- 4) Красные водоросли в современных пробах не были найдены, что является одним из наиболее значимых отличий с Дерюгинскими пробами.

## Финансирование

Работа была выполнена в рамках проекта "Комплексные исследования по оценке влияния глобальных климатических и локальных антропогенных факторов на состояние экосистем арктических морей" ПАО «РОСНЕФТЬ».

## Список литературы:

1. Дерюгин К.М. Фауна Белого моря и условия ее существования. // Исследования морей СССР. Л., - 1928. - Вып. 7–8. 511 с.
2. Альмендингер А.Р., Братчикова Ю.А., Жадан А.Э., Загайнов А.В., Закаржаева П.Н., Зимина В.Р., Кокорин А.И., Колеватов В.А, Михлина А.Л., Мокиевский В.О., Назаров Л.С., Руднева Е.В., Цетлин А.Б.. Отработка методики повторной бентосной съемки в координатах станции 13 К.М. Дерюгина 1922 г. // Труды XI международной научно-практической конференции «Морские исследования и образование (MARESEDU)-2022» Том III (IV): сборник. Тверь. - 2022 - С.357-360

УДК 2788

Рубрика 34.33.15

ИССЛЕДОВАНИЕ МНОГООБРАЗИЯ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ РОДА TERESELLIDES В БЕЛОМ МОРЕ

A STUDY OF TERESELLIDES GENUS DIVERSITY IN THE WHITE SEA

**Бушув Сергей Евгеньевич<sup>1</sup>, Кузенков Кирилл Андреевич<sup>1</sup>, Ливенский Алексей Дмитриевич<sup>1</sup>, Рюмина Екатерина Даниловна<sup>1,2</sup>, Жадан Анна Эльмировна<sup>3</sup>, Гнева Дарья Рауфовна<sup>3</sup>, Неретина Татьяна Владимировна<sup>1,3</sup>**

<sup>1</sup> Факультет биоинженерии и биоинформатики МГУ им. М.В.Ломоносова, Москва,

<sup>2</sup> Сколковский институт науки и технологий

<sup>3</sup> Биологический факультет МГУ им. М.В.Ломоносова, Москва

**Bushuev Sergey Evgenievich<sup>1</sup>, Kuzenkov Kirill Andreevich<sup>1</sup>, Akhtyamova Karina Timurovna<sup>1</sup>, Ageeva Victoria Sergeevna<sup>1</sup>, Livenskyi Alexei Dmitrievich<sup>1</sup>, Ryumina Ekaterina Danilovna<sup>1,2</sup>, Zhadan Anna Elmirovna<sup>3</sup>, Anger Daria Raufovna<sup>3</sup>, Neretina Tatiana Vladimirovna<sup>1,3</sup>**

<sup>1</sup> Faculty of Bioengineering and Bioinformatics of Moscow State University, Moscow

<sup>2</sup> Skolkovo Institute of Science and Technology

<sup>3</sup> Faculty of biology of Moscow State University, Moscow

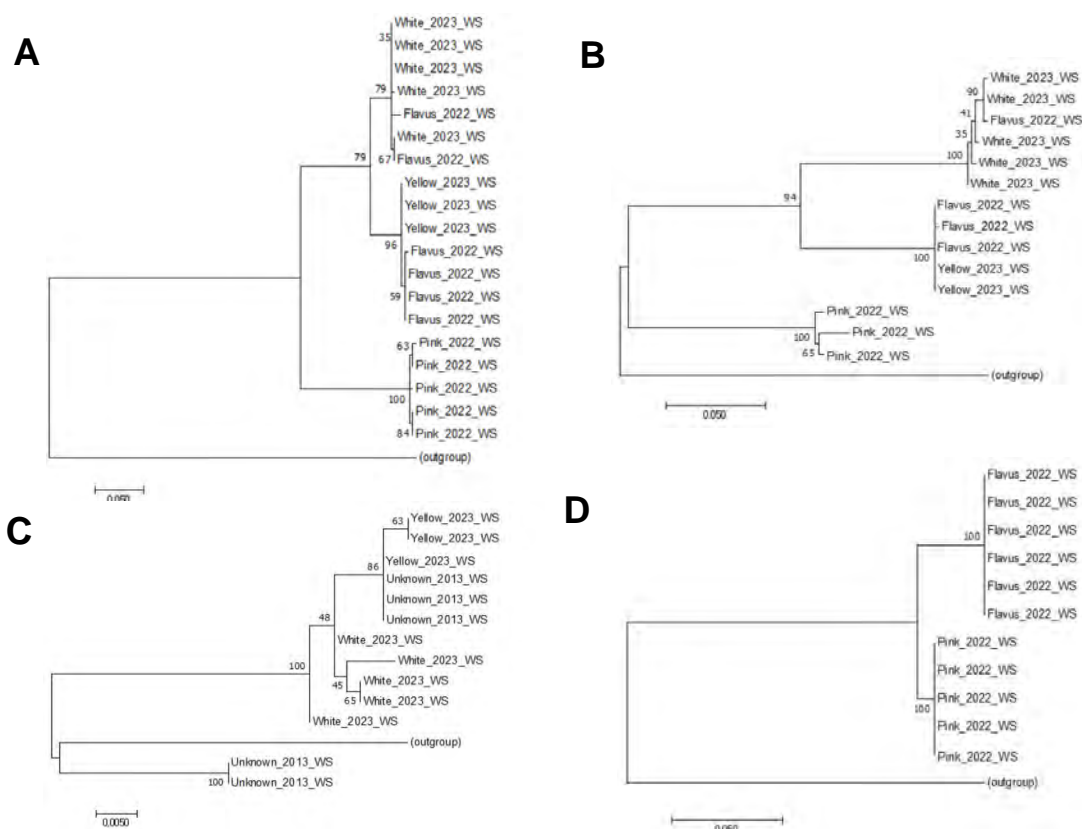
Полихеты *Terebellides cf. stroemii* – это массовые формы в донных сообществах шельфа северных морей, одни из самых обычных обитателей мягких грунтов в Белом море. Недавнее исследование, проведенное с помощью молекулярно-генетических методов (Nygren et al. 2018), выявило, что в северо-восточной Атлантике обитает не менее 25 видов рода *Terebellides*, ранее определяемых как *T. stroemii*. Большая часть этих видов еще не описана морфологически.

Ранее нами было показано, что в Белом море обитает два вида, различающихся морфологически (*T. roseus* с розовыми ооцитами, и *T. flavus* - бледно-желтыми). Такое деление было также подтверждено молекулярными данными. Недавно возникло предположение, что один из этих видов (*T. flavus*, с бледно-желтыми ооцитами) также представляет собой две клады с разным цветом ооцитов (белым и желтым) и другими морфологическими признаками.

Нами были секвенированы участки генов COI, H3, mt16S, и 18S для восьми новых образцов рода *Terebellides* из Белого моря, для которых был известен цвет ооцитов. Дополнительно были использованы полученные в 2022 году сиквенсы COI, mt16S, 28S, и 18S, на основании которых род был разделен на два - с розовым и бледно-желтым цветом ооцитов, а также полученные в 2013 году последовательности гена H3 организмов, для которых цвет ооцитов определен не был.

Для каждого гена были построены множественные выравнивания (при помощи алгоритма MUSCLE, в качестве аутгруппа были использованы последовательности представителя семейства *Balanidae Amphibalanus amphitrite*) и выполнена их обработка в программе MEGA. При помощи IQtree была подобрана наилучшая эволюционная модель для построения дерева

методом Maximum likelihood. Визуализация деревьев была выполнена также при помощи MEGA (см. рис. 1).



**Рис. 1.** Филогенетические деревья, построенные на основе данных секвенирования по Сэнгеру четырех генов. Верхним регистром подписаны секвенированные нами образцы. **А)** Дерево построено по гену *16S*. Эволюционная модель - *Tamura 3-parameter model*. **В)** Дерево построено по гену *COI*. Эволюционная модель - *Tamura 3-parameter model*. **С)** Дерево построено по гену *H3*. Эволюционная модель - *Hasegawa-Kishino-Yano model*. **Д)** Дерево построено по гену *28S*. Эволюционная модель - *Tamura-Nei model*.

Все последовательности гена *18S* оказались идентичными, из-за чего не получилось построить дерево по соответствующим данным.

Все деревья (Рис.1) свидетельствуют о неоднородности рода *Terebellides* что, во-первых, согласуется с предположением о наличии в Белом море по меньшей мере 2-х видов *Terebellides*, и, во-вторых, позволяет выдвинуть гипотезу о неоднородности предполагаемого вида *T. flavus*: вероятно, 2 клады, составленные из новых последовательностей, соответствуют 2-ум ранее не предложенным видам.

Полученные результаты согласуются с ранее предложенным делением рода *Terebellides* в Белом море на два вида, а также подтверждают деление одного из этих видов на два.

## **Финансирование**

Проект выполнен при поддержке гранта РФФИ № 21-74-20028

## **Список литературы:**

1. Nygren A, Parapar J, Pons J, Meißner K, Bakken T, et al. (2018) A mega-cryptic species complex hidden among one of the most common annelids in the North East Atlantic. PLOS ONE 13(6): e0198356. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0198356>

УДК 595.142.262

Рубрика 34.33.15

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ РОДА FLABELLIGERA В БЕЛОМ МОРЕ  
 A STUDY OF FLABELLIGERA GENUS MEMBERS IN THE WHITE SEA

**Парфенова Александра Сергеевна<sup>1</sup>, Пепеляева Екатерина Вадимовна<sup>1</sup>, Ливенский Алексей Дмитриевич<sup>1</sup>, Рюмина Екатерина Даниловна<sup>1,2</sup>, Неретина Татьяна Владимировна<sup>1,3</sup>**

<sup>1</sup> Факультет биоинженерии и биоинформатики МГУ им. М.В.Ломоносова, Москва

<sup>2</sup> Сколковский институт науки и технологий

<sup>3</sup> Биологический факультет МГУ им. М.В.Ломоносова, Москва

**Parfenova Aleksandra Sergeevna<sup>1</sup>, Pepelyaeva Ekaterina Vadimovna<sup>1</sup>, Livenskiy Alexei Dmitrievich<sup>1</sup>, Ryumina Ekaterina Danilovna<sup>1,2</sup>, Neretina Tatiana Vladimirovna<sup>1,3</sup>**

<sup>1</sup> Faculty of Bioengineering and Bioinformatics of Moscow State University, Moscow

<sup>2</sup> Skolkovo Institute of Science and Technology

<sup>3</sup> Faculty of biology of Moscow State University, Moscow

Согласно каталогу биоты <sup>[1]</sup> Беломорской биологической станции род *Flabelligera* (M.Sars 1829) представлен двумя видами: *F. affinis* (M.Sars 1829) и *F. buskii* (McIntosh, 1869). Целью данной работы являлось определение видовой принадлежности четырех представителей рода *Flabelligera* (далее номера с XZ6917 по XZ6920) с использованием молекулярно-генетических методов.

Методом секвенирования по Сэнгеру были определены последовательности фрагментов генов 16S рРНК, 18S рРНК, первой субъединицы цитохромоксидазы (COI) и гистона H3.

С помощью программы IQ-TREE <sup>[2][3][4]</sup> были подобраны оптимальные модели замен и методом максимального правдоподобия были полученные филогенетические деревья по четырем генам (двум митохондриальным - 16S и COI, и двум ядерным - 18S и гистон H3), см. рисунки 1 - 4.

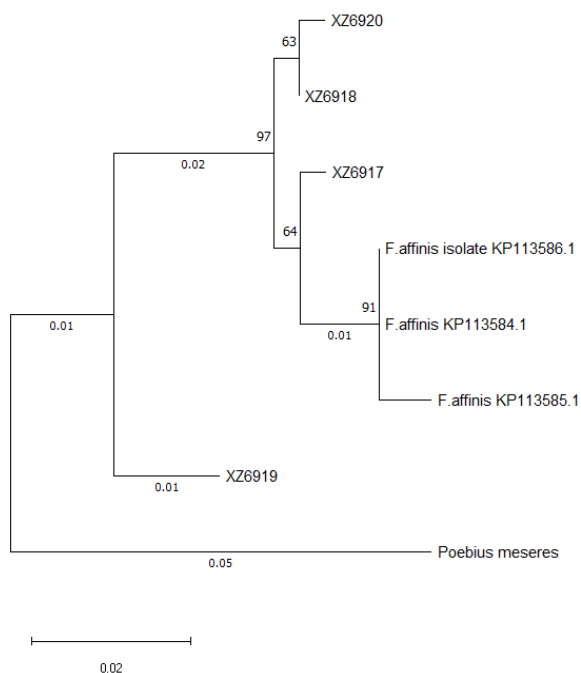


Рисунок 1. Филогенетическое дерево, построенное на основании анализа гена гистона H3. Для построения использовалась модель K2P. Идентификаторы XZ соответствуют анализируемым образцам, остальные последовательности взяты из базы данных GenBank.

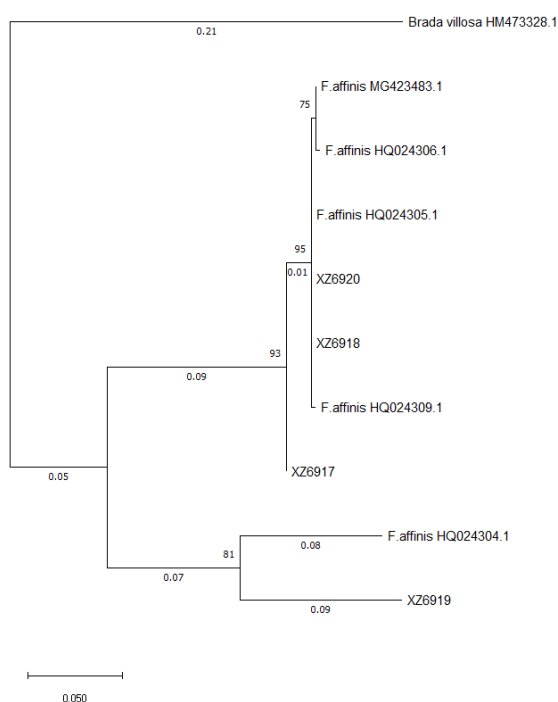


Рисунок 2. Филогенетическое дерево, построенное на основании анализа гена COI. Для построения использовалась модель K3Pu+F+I. Идентификаторы XZ соответствуют анализируемым образцам, остальные последовательности взяты из базы данных GenBank.



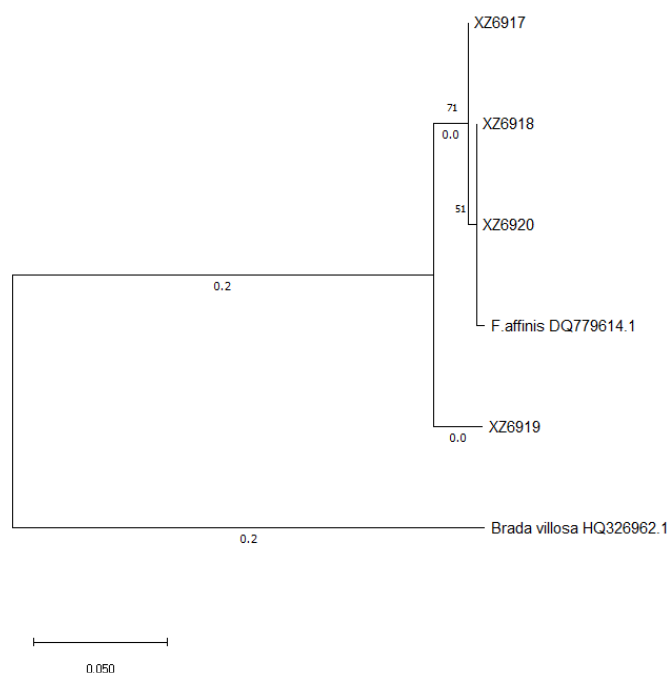


Рисунок 3. Филогенетическое дерево, построенное на основании анализа 16S РНК. Для построения использовалась модель TIM2+F+I. Идентификаторы XZ соответствуют анализируемым образцам, остальные последовательности взяты из базы данных GenBank.

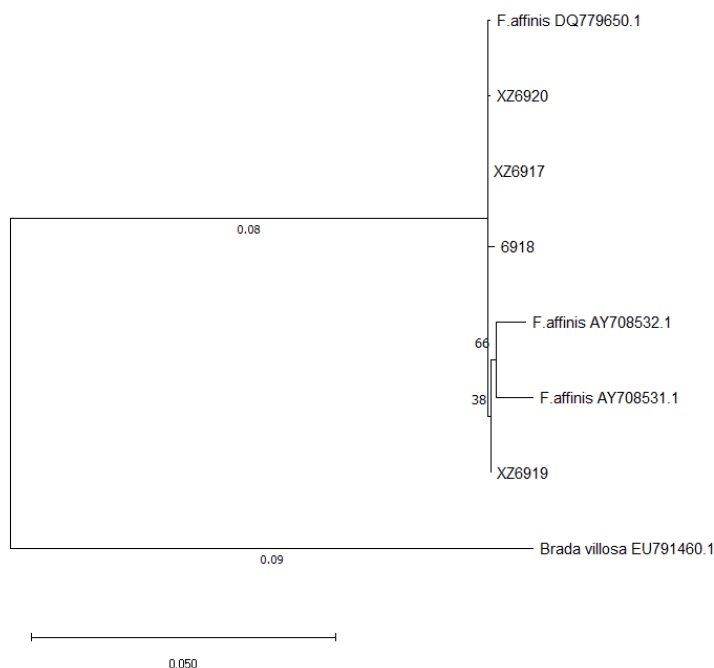


Рисунок 4. Филогенетическое дерево, построенное на основании анализа 18S РНК. Для построения использовалась модель НКУ+F+I.. Идентификаторы XZ соответствуют анализируемым образцам, остальные последовательности взяты из базы данных GenBank.

Образец XZ6919 значительно отличается от трех других по генам 16S, COI и H3. Также стоит отметить, что большинство представителей вида *F.affinis*, взятых из базы данных GenBank, более сходны с тремя вышеупомянутыми образцами, за исключением последовательности HQ024304.1, которая группируется по COI с XZ6919. Кроме того, для данного образца среди

находок алгоритма Megablast <sup>[5]</sup> с максимальным процентом идентичности обнаруживается единственный представитель рассматриваемого рода — *Flabelligera affinis*.

Из полученных данных можем предположить, что образец XZ6919 не является представителем вида *F. affinis*, но принадлежит к роду *Flabelligera*. Возможно, он принадлежит к виду, последовательности которого не представлены в базе данных GenBank. Таким образом, для уточнения видовой принадлежности указанного образца требуются дальнейшие исследования.

### **Финансирование**

Проект выполнен при поддержке гранта РФФ № 21-74-20028

### **Список литературы:**

1. Tchesunov A.V., Kaljakina N.M., Bubnova E.N. (compilers). A Catalogue of Biota of the White Sea Biological Station of the Moscow State University. Moscow: KMK Scientific Press Ltd. 2008. 384 p.
2. B.Q. Minh, H.A. Schmidt, O. Chernomor, D. Schrempf, M.D. Woodhams, A. von Haeseler, R. Lanfear (2020) IQ-TREE 2: New models and efficient methods for phylogenetic inference in the genomic era. *Mol. Biol. Evol.*, 37:1530-1534. <https://doi.org/10.1093/molbev/msaa015>
3. S. Kalyaanamoorthy, B. Q. Minh, T. K. F. Wong, A. von Haeseler, L. S. Jermin (2017) ModelFinder: Fast model selection for accurate phylogenetic estimates. *Nature Methods*, 14:587–589. <https://doi.org/10.1038/nmeth.4285>
4. D. T. Hoang, O. Chernomor, A. von Haeseler, B. Q.Minh, L. S. Vinh (2018) UFBoot2: Improving the ultrafast bootstrap approximation. *Mol. Biol. Evol.*, 35:518–522. <https://doi.org/10.1093/molbev/msx281>
5. S.F. Altschul, W. Gish, W. Miller, E.W. Myers, D.J. Lipman. Basic local alignment search tool. *J Mol Biol.* 1990 Oct 5;215(3):403-10. doi: 10.1016/S0022-2836(05)80360-2. PMID: 2231712.

УДК 2788

Рубрика 34.33.15

ИССЛЕДОВАНИЕ МНОГООБРАЗИЯ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ РОДА  
OPHRYOTROCHA В БЕЛОМ МОРЕ

A STUDY OF OPHRYOTROCHA GENUS DIVERSITY IN THE WHITE SEA

**Алферова Полина Евгеньевна<sup>1</sup>, Рохин Илья Андреевич<sup>1</sup>, Ливенский Алексей Дмитриевич<sup>1</sup>, Рюмина Екатерина Даниловна<sup>1,2</sup>, Неретина Татьяна Владимировна<sup>1,3</sup>**

*1 Факультет биоинженерии и биоинформатики МГУ им. М.В.Ломоносова, Москва,*

*2 Сколковский институт науки и технологий*

*3 Биологический факультет МГУ им. М.В.Ломоносова, Москва*

**Alfeyorova Polina Evgenievna<sup>1</sup>, Rohin Ilya Andreevich<sup>1</sup>, Livenskyi Alexei Dmitrievich<sup>1</sup>, Ryumina Ekaterina Danilovna<sup>1,2</sup>, Neretina Tatiana Vladimirovna<sup>1,3</sup>**

*1 Faculty of Bioengineering and Bioinformatics of Moscow State University, Moscow*

*2 Skolkovo Institute of Science and Technology*

*3 Faculty of biology of Moscow State University, Moscow*

Ophryotrocha - таксономически разнообразный род семейства Dorvilleidae, привлекающий внимание исследователей в области морской биологии, экологии и эволюционной науки. Род имеет глобальное распространение и охватывает широкий спектр сред обитания. Многочисленные виды Ophryotrocha обитают на мелководье, в теплой воде, часто в местах антропогенного воздействия. Кроме того, они зарегистрированы в умеренных регионах, Арктике, Антарктике, глубоководных зонах и гидротермальных источниках [1]. Повсеместное присутствие этих организмов в Мировом океане подчеркивает их экологическую значимость как детритивированных организмов, оказывающих заметное влияние на круговорот питательных веществ и потоки энергии в морских экосистемах. Примечательно, что многие виды Ophryotrocha поддаются лабораторному культивированию, что облегчает проведение научных исследований. Учитывая морфологическое сходство видов Ophryotrocha (но есть несколько ключевых признаков для их различия таких, морфология челюстей и яиц, способ размножения) для установления точных филогенетических связей необходимо проведение молекулярного анализа.

По аналогии с глобальным распространением в Мировом океане организмы, относящиеся к роду Ophryotrocha, широко распространены в Белом море. В связи с этим вполне обоснованной является гипотеза о существовании в этой морской экосистеме значительного числа до сих пор не охарактеризованных видов. Таким образом, при попытке идентификации потенциально новых видов на основе морфологических критериев, использование молекулярных и биоинформационных методик становится необходимым для точного обоснования таксономической принадлежности.

Для проведения данного исследования в Белом море были собраны четыре экземпляра организмов, относящихся к роду Ophryotrocha. Заведомо было известно, что среди них есть Ophryotrocha irinae. Наше исследование было посвящено анализу трех генетически

секвенированных локусов, включающих как ядерные (H3), так и митохондриальные (16S, COI) маркеры. Кроме того, для построения филогенетических деревьев были использованы последовательности из GenBank, признанные значимыми при BLAST-поиске. В качестве аутгрупп в анализ были включены последовательности, полученные из семейств Eunicidae и Alvinellidae [2]. Для каждого гена были построены множественные выравнивания методом MUSCLE и затем триммировано. При выборе эволюционных моделей для вывода деревьев использовались модели TIM2+F+G4, TIM+F+I+G4 и GTR+F+I+G4 для генов 16S, COI и H3, соответственно, с помощью программы IQtree. При помощи IQtree была подобрана наилучшая эволюционная модель для построения каждого дерева методом Maximum likelihood (Рисунки 1, 2, 3).

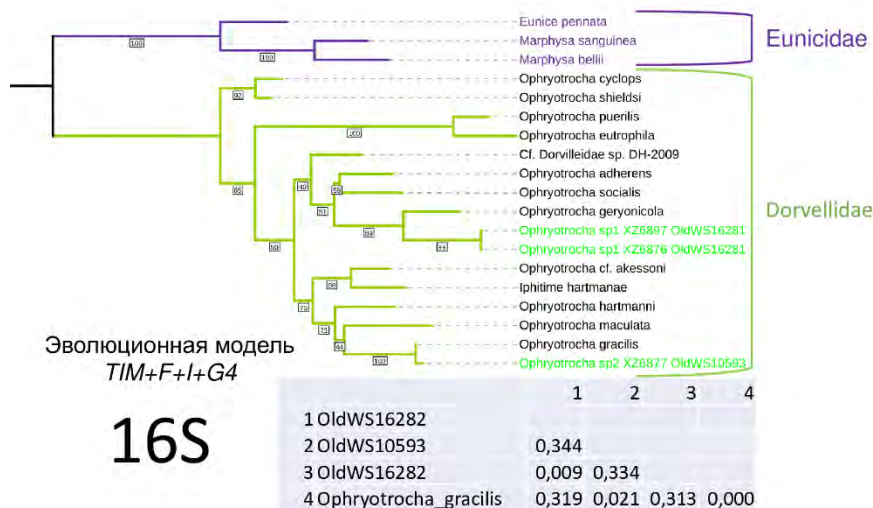


Рисунок 1

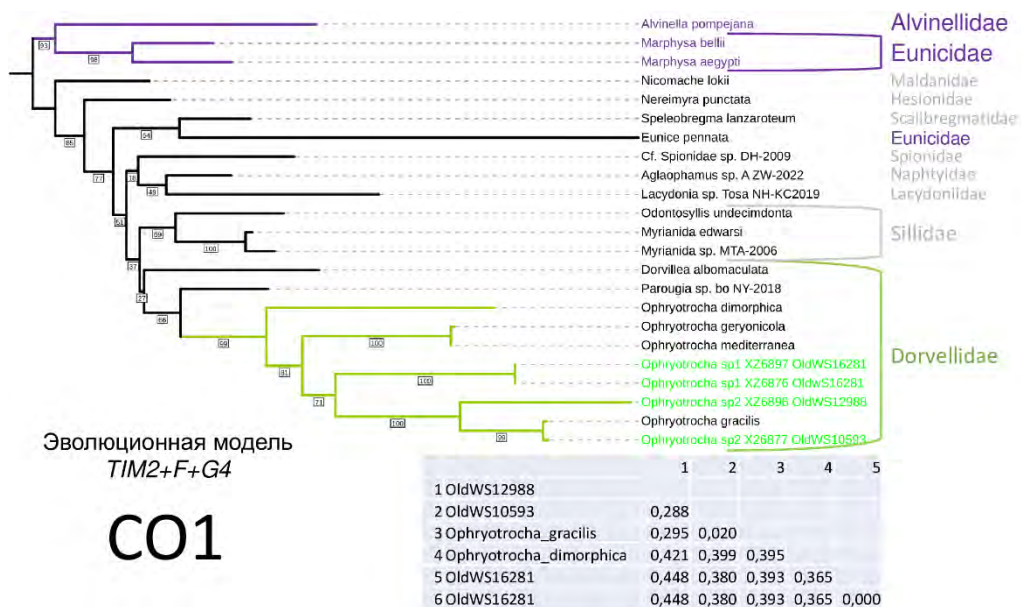


Рисунок 2

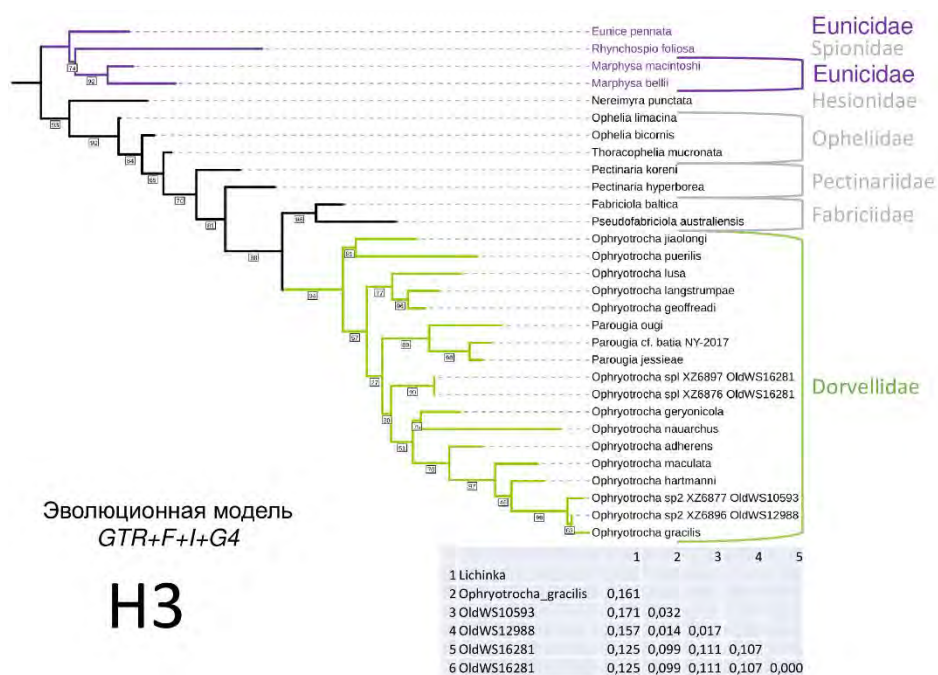


Рисунок 3

Все три филогенетических дерева показано наличие отдельной клады, включающей два организма, а именно XZ6876 OldWS16281 и XZ6897 OldWS16281, что свидетельствует о возможном формировании отдельного вида, характеризующегося значительным генетическим расхождением с другими последовательностями. В дереве на основе гена 16S наблюдается отдельная клада, включающая XZ6877 OldWS10593, которая демонстрирует значительное генетическое расстояние от других видов, включая *Ophryotrocha gracilis*. Аналогично, в дереве на основе гена H3 наблюдалась отдельная группа, включающая XZ6896 OldWS12988, XZ6877 OldWS10593 и *Ophryotrocha gracilis*, с минимальными парными генетическими расстояниями по сравнению с другими таксонами. Сопоставимая клада была обнаружена и в дереве на основе COI, хотя и с заметными генетическими расхождениями между XZ6877 OldWS10593 и *Ophryotrocha gracilis*, а также XZ6896 OldWS12988. В совокупности эти результаты позволяют сделать вывод о том, что XZ6877 OldWS10593 соответствует *Ophryotrocha gracilis*, а XZ6896 OldWS12988 представляет собой отдельный вид. Кроме того, следует отметить, что XZ6876 OldWS16281 и XZ6897 OldWS16281, или, в качестве альтернативы, XZ6896 OldWS12988, таксономически идентифицируются как *Ophryotrocha irinae*.

Таким образом, наше исследование *Ophryotrocha* в Белом море выявило генетическое разнообразие внутри рода, что привело к идентификации двух новых видов. Молекулярные и биоинформационные методы сыграли ключевую роль в разрешении сложных таксономических отношений. Эти результаты подчеркивают важность передовых методов морской биологии и богатство морского биоразнообразия.

### Финансирование

Проект выполнен при поддержке гранта РФФ № 21-74-20028

**Список литературы:**

1. Dong-sheng Zhang, Ya-dong Zhou, Chun-sheng Wang, and Greg W. Rouse. A new species of *Ophryotrocha* (Annelida, Eunicida, Dorvilleidae) from hydrothermal vents on the Southwest Indian Ridge. *Zookeys*. 2017; (687): 1–9
2. HELENA WIKLUND, ADRIAN G. GLOVER & THOMAS G. DAHLGREN. Three new species of *Ophryotrocha* (Annelida: Dorvilleidae) from a whale-fall in the North-East Atlantic. *Zootaxa* 2228: 43–56 (2009)



УДК 595.142.262

Рубрика 34.33.15

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ РОДА *CRYPTONATICA* В БЕЛОМ МОРЕ

A STUDY OF *CRYPTONATICA* GENUS MEMBERS IN THE WHITE SEA

**Сафонова Варвара Павловна<sup>1</sup>, Фейгин Степан Евгеньевич<sup>1</sup>, Кульбачная Мария Александровна<sup>1</sup>, Салимгареев Артём Салаватович<sup>1</sup>, Чава Александра Ивановна<sup>2</sup>, Кремнев Георгий Артурович<sup>3</sup>, Ливенский Алексей Дмитриевич<sup>1</sup>, Рюмина Екатерина Даниловна<sup>1,4</sup>, Неретина Татьяна Владимировна<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Факультет биоинженерии и биоинформатики МГУ им. М.В.Ломоносова, Москва,

<sup>2</sup> Институт океанологии им. П. П. Ширшова Российской академии наук, Москва

<sup>3</sup> Зоологический институт Российской академии наук, Санкт-Петербург

<sup>4</sup> Сколковский институт науки и технологий

**Safonova Varvara Pavlovna<sup>1</sup>, Feigin Stepan Evgenievich<sup>1</sup>, Kulbachnaya Maria Alexandrovna<sup>1</sup>, Salimgareev Artyom Salavatovich<sup>1</sup>, Chava Alexandra Ivanovna<sup>2</sup>, Kremnev Georgy Arturovich<sup>3</sup>, Livensky Alexey Dmitrievich<sup>1</sup>, Ryumina Ekaterina Danilovna<sup>1,4</sup>, Neretina Tatyana Vladimirovna<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Faculty of Bioengineering and Bioinformatics of Moscow State University, Moscow

<sup>2</sup> Shirshov Institute of Oceanology of Russian Academy of Sciences

<sup>3</sup> Zoological Institute of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg

<sup>4</sup> Skolkovo Institute of Science and Technology

## Введение

В окрестностях Беломорской биологической станции им. Н. Перцова были обнаружены две морфы брюхоногих моллюсков, отнесенных к виду *Cryptonatica affinis*. Морфы различаются по цвету раковины и субстрату, на котором обитают: коричневые особи встречаются на песчаных субстратах, что характерно для большинства представителей Naticidae<sup>[1]</sup>, а вот розовые живут на твердом субстрате, что для представителей Naticidae нетипично. Целью нашей работы был поиск генетических различий описанных морф.

## Методы

Для сравнения упомянутых морф были получены последовательности следующих локусов: фрагменты генов, кодирующих 16S рРНК, гена 18S рРНК, гистона H3, внутреннего транскрибируемого спейсера 2 (ITS2) и CO1 (первой субъединицы цитохромоксидазы).

ДНК выделяли из фрагментов ноги фиксированных этиловым спиртом моллюсков, амплифицировали интересующий фрагмент и секвенировали методом Сэнгера. ПЦР-продукт ITS предварительно клонировали в векторную конструкцию и нарабатывали в трансформированных бактериях *E. coli* (для разделения потенциальных паралогов).

Выравнивания полученных последовательностей строили при помощи ПО MEGA11 [2]. Оптимальную модель для построения филогенетических деревьев определяли с помощью IQ-TREE [3], [4], [5]. В качестве аутгруппы для укоренения деревьев были взяты соответствующие гены *Littorina littorea*, принадлежащей тому же отряду (Littorinimorpha), что и род *Cryptonatica*

## Результаты

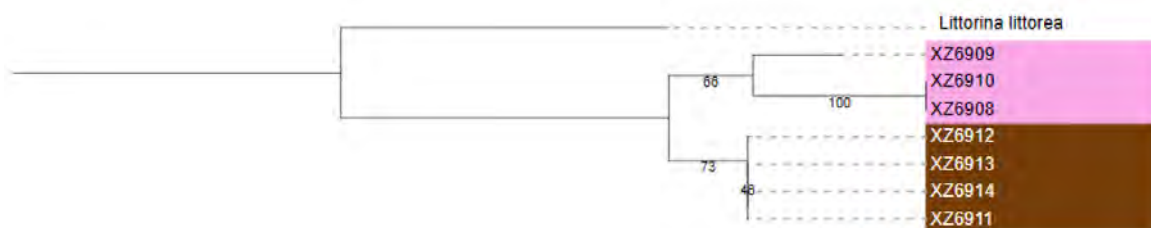


Рис. 1 Дерево, построенное по выравниванию последовательностей фрагментов гена CO1. Листья дерева покрашены в соответствии с цветом раковины моллюска (коричневые и розовые). Числа у ветвей обозначают соответствующую им Bootstrap – поддержку. Модель: Hasegawa-Kashino-Yano model (+F +I), Maximum Likelihood method.

Как видно по рисунку 1, по последовательности фрагмента гена CO1 образцы разделяются на две клады, соответствующие описанным морфотипам.

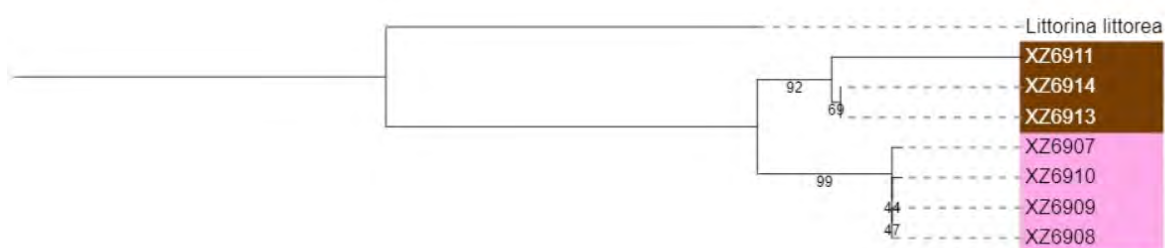


Рис. 2 Дерево, построенное по выравниванию последовательностей фрагментов гена 16S рРНК. Листья дерева покрашены в соответствии с цветом раковины моллюска (коричневые и розовые). Числа у ветвей обозначают соответствующую им Bootstrap – поддержку. Модель: Hasegawa-Kashino-Yano model (+F), Maximum Likelihood method.

По последовательностям фрагмента гена 16S рРНК (рисунок 2) образцы также чётко разделились в соответствии с выделением морф.

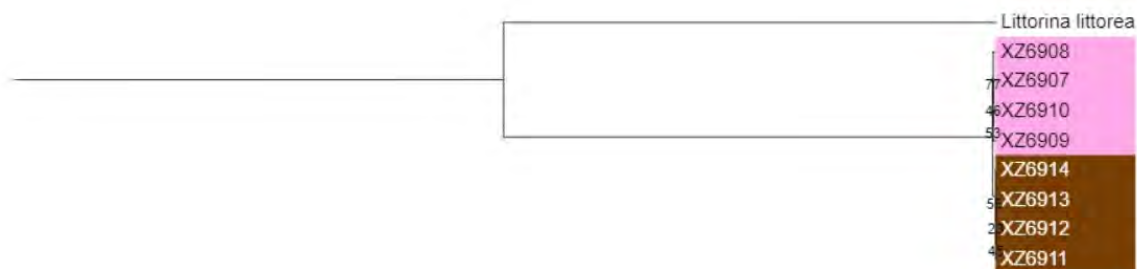


Рис. 3 Дерево, построенное по выравниванию последовательностей фрагментов гена гистона H3. Листья дерева покрашены в соответствии с цветом раковины моллюска (коричневые и розовые). Числа у ветвей обозначают соответствующую им Bootstrap – поддержку. Модель: Kimura 2-parameter model, Maximum Likelihood method.

По последовательностям гена гистона H3 (рисунок 3) образцы также разделяются в соответствии с морфами, при этом в выравнивании присутствует одна синонимичная замена, по которой и различаются клады.

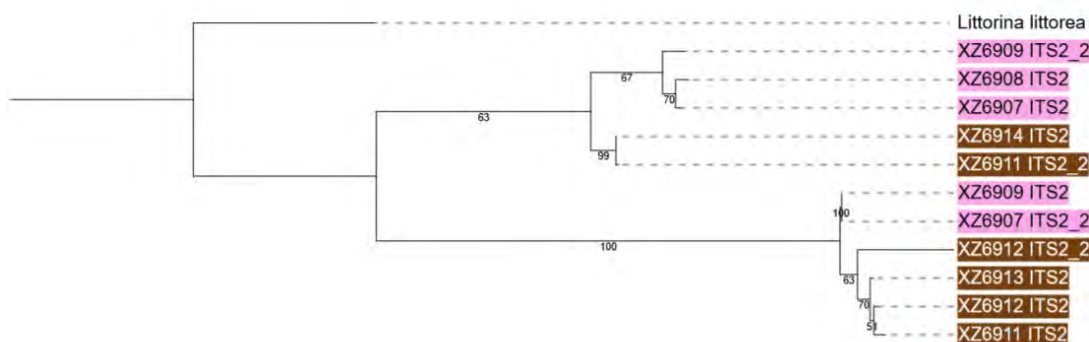


Рис. 4 Дерево, построенное по выравниванию последовательностей фрагментов ITS . Индекс “2” через нижнее подчёркивание обозначает, что взят второй клон ITS из того же образца. Листья дерева покрашены в соответствии с цветом раковины моллюска (коричневые и розовые). Числа у ветвей обозначают соответствующую им Bootstrap – поддержку. Модель: Kimura 2-parameter model (+Gamma distributed rates), Maximum Likelihood method.

По последовательностям фрагментов ITS Образцы разделяются на две клады, внутри каждой из которых разделение соответствует морфам (рисунок 4).

## Обсуждение

- 1) Последовательности фрагмента гена 18S рРНК оказались идентичными у большинства образцов, в связи с чем строить по ним предположения о родственных связях изучаемых групп оказалось невозможным.
- 2) Поскольку были обнаружены генетические различия как в ядерных, так и в митохондриальных локусах, мы предполагаем, что организмы, ранее относимые к виду *C. affinis* в действительности представляют собой комплекс видов. Для подтверждения этой гипотезы требуются дальнейшие исследования.
- 3) Картину, наблюдаемую для последовательностей ITS, мы можем объяснить наличием у изучаемых организмов двух паралогов. Для подтверждения этого предположения требуется получение большего количества последовательностей этого локуса из образцов, относимых к разным морфам.

## Финансирование

Проект выполнен при поддержке гранта РФФИ № 21-74-20028

## Список литературы

1. Golikov A.N., Sirenko B.I. 1988. The naticid gastropods in the boreal waters of the western Pacific and Arctic oceans. *Malacological Review*, 21: 1-41.
2. Koichiro Tamura, Glen Stecher, and Sudhir Kumar (2021) MEGA11: Molecular Evolutionary Genetics Analysis version 11. *Molecular Biology and Evolution* 38:3022-3027
3. B.Q. Minh, H.A. Schmidt, O. Chernomor, D. Schrempf, M.D. Woodhams, A. von Haeseler, R. Lanfear (2020) IQ-TREE 2: New models and efficient methods for phylogenetic inference in the genomic era. *Mol. Biol. Evol.*, 37:1530-1534. <https://doi.org/10.1093/molbev/msaa015>
4. S. Kalyaanamoorthy, B. Q. Minh, T. K. F. Wong, A. von Haeseler, L. S. Jermiin (2017) ModelFinder: Fast model selection for accurate phylogenetic estimates. *Nature Methods*, 14:587–589. <https://doi.org/10.1038/nmeth.4285>
5. D. T. Hoang, O. Chernomor, A. von Haeseler, B. Q.Minh, L. S. Vinh (2018) UFBoot2: Improving the ultrafast bootstrap approximation. *Mol. Biol. Evol.*, 35:518–522. <https://doi.org/10.1093/molbev/msx281>

УДК 59.006

Рубрика: 34.33.27

ДОСТИЖЕНИЕ ПОЛОВОЗРЕЛОСТИ ПИНГВИНОВ ГУМБОЛЬДТА (*SPHENISCUS HUMBOLDTI*) В ИСКУССТВЕННЫХ УСЛОВИЯХ ПРИМОРСКОГО ОКЕАНАРИУМА-ФИЛИАЛА НИЦМБ ДВО РАН

REACHING SEXUAL MATURITY OF HUMBOLDT PENGUINS (*SPHENISCUS HUMBOLDTI*) IN ARTIFICIAL CONDITIONS OF THE PRIMORSKY AQUARIUM BRANCH OF THE NSCMV FEB RUS

**Демина Ольга Денисовна, Чернышова Олеся Алексеевна**

*Приморский океанариум - филиал Национального научного центра морской биологии им. А.В. Жирмунского ДВО РАН (Владивосток, Российская Федерация)*

**Demina Olga Denisovna, Chernyshova Olesya Alekseevna**

*Primorsky Aquarium - Branch of A.V. Zhirmunsky National Scientific Center of Marine Biology of Far Easter Branch of the Russian Academy of Sciences (Vladivostok, Russian Federation)*

## **Введение**

Пингвины Гумбольдта — это перуанские или чилийские пингвины, гнездящиеся на западном побережье Южной Америки. Вид с 2000 года занесен в Красную книгу международного союза охраны природы как уязвимый, а также внесен в первое приложение Конвенции о международной торговле видами дикой фауны и флоры, находящимися под угрозой исчезновения.

В дикой природе пингвины Гумбольдта имеют два пика размножения в годовом цикле, приходящиеся на апрель-май и август-сентябрь, но птицы могут пропускать эти периоды или покидать свои гнезда, при нехватке пищи (Zavalaga, 1997). Образуют долговечные пары. (Simeone, 2002.) Гнездятся небольшими колониями на скалистых морских побережьях. Гнездо расположено в яме или норе, вырытой обычно в земле или отложениях гуано, иногда в естественной расщелине среди валунов или небольшой пещере. Гнезда могут располагаться и на более открытых участках побережья, если они защищены от наземных хищников (например, на островах). В густонаселенных колониях пингвины могут гнездиться на крутых скальных утесах или в глубоких расщелинах между камней. В поиске места и постройке гнезда участвует в основном самец. Леток обычно выстлан подкладкой из перьев (Martinez, 2020).

Основываясь на данных кольцевания птиц в центральной части Чили, возраст при первом размножении колеблется от 3,6 до 6,1 года (в среднем  $5 \pm 1$  год,  $n = 7$ ). Хотя некоторые авторы предполагают, что к первому размножению пингвины приступают в возрасте 3 или 4 лет, полностью достигая половой зрелости (Araña, 2000).

В Приморский океанариум пингвины Гумбольдта прибыли в 2018 году из Чешской Республики. Поступление пингвинов было организовано в две партии – в феврале приехало 6 особей (3 самца и 3 самки в возрасте 7-20 месяцев) и в декабре 8 особей (4 самца и 4 самки в возрасте 8-12 месяцев).

Достижение половозрелости у пингвинов Гумбольдта- важный фактор, позволяющий планировать разведение птиц в искусственных условиях. К сожалению, публикаций, отражающих точные цифры достижения половозрелости в искусственных условиях в отечественной литературе нет.

## Результаты

Пингвины Гумбольдта в Приморском океанариуме начали гнездиться в 2020 году. Активное образование пар началось у птиц в 2019 году. Из первой партии птиц сформировалось две пары (Пятно + Взрослая и Странный + Серая). После приезда второй партии две пары образовались непосредственно из поступивших птиц (Тритон + Рыжая и Созвездие + Ника), и две пары путем смешения птиц из двух партий (Пухляш (1 партия) + Пуговка (2 партия) и Галочка (2 партия) + Крылышко (1 партия)). А также три пары образованы пингвинами, родившимися в океанариуме (Горох + Комета, Тетрис + Парус и Малыш + Варя). Половозрелость пингвинов оценивалась по появлению у пары первой оплодотворенной кладки (Таблица 1).

Таблица 1. Возраст пингвинов Гумбольдта на момент появления первой оплодотворенной кладки

№ пары	Самец, дата рождения	Самка, дата рождения	Первая кладка	Возраст самца	Возраст самки
1	Пятно 17.04.2017	Взрослая 11.10.2016	25.04.2020	3 года	3 года, 6 месяцев
2	Созвездие 25.04.2017	Ника 18.12.2017	26.04.2020	3 года	2 года, 4 месяца
3	Пухляш 16.04.2017	Пуговка 24.05.2017	21.05.2020	3 года, 1 месяц	3 года
4	Галочка 10.05.2018	Крыло 24.04.2017	04.11.2020	2 года, 6 месяцев	3 года, 6 месяцев
5	Странный 04.04.2017	Серая 17.04.2017	04.11.2020	3 года, 7 месяцев	3 года, 6 месяцев
6	Тритон 11.05.2018	Рыжая 04.05.2017	18.11.2020	2 года, 6 месяцев	3 года, 6 месяцев
7	Горох 17.12.2020	Комета 03.01.2021	09.11.2022	1 год, 11 месяцев	1 год, 10 месяцев
8	Тетрис 16.12.2020	Парус 27.12.2020	23.05.2023	2 года, 5 месяцев	2 года, 5 месяцев
9	Малыш 05.06.2020	Варя 19.12.2020	13.05.2023	2 года, 11 месяцев	2 года, 5 месяцев

Таким образом, на основе собранных данных о первых оплодотворенных кладках у девяти пар пингвинов мы можем говорить о среднем возрасте достижения половозрелости пингвинов Гумбольдта в искусственных условиях (Таблица 2).



Таблица 2. Средний возраст достижения половозрелости пингвинов Гумбольдта

Средний возраст достижения половозрелости пингвинов Гумбольдта	Самцы	Самки
	2 года, 9 месяцев	2 года, 10 месяцев

### Выводы

Определен средний возраст достижения половозрелости пингвинов Гумбольдта в искусственных условиях Приморского океанариума, составивший для самцов 2 года 9 месяцев и для самок 2 года 11 месяцев. Также отмечена возможность достижения пингвинами ранней половозрелости в возрасте 1 года 11 месяцев у самцов и 1 года 11 месяцев у самок.

### Благодарности

Авторы благодарят за поддержку Фонд «Пингвин».

### Список литературы

1. Araya, B., D. Garland, G. Espinoza, A. Sanhuesa, A. Simeone, A. Teare, C. Zavalaga, R. Lacy, and S. Ellis, eds. 2000. Population and habitat viability analysis for the Humboldt penguin (*Spheniscus humboldti*). Final report. Apple Valley // Conservation Planning Specialist Group (CPSG) URL: <https://www.cpsg.org/content/spheniscus-penguin-conservation-workshop-2000>
2. Martinez, I., D. A. Christie, F. Jutglar, E. F. J. Garcia, and G. M. Kirwan. (2020) Humboldt Penguin (*Spheniscus humboldti*) // Birds of the World URL: <https://birdsoftheworld.org/bow/species/humpen1/cur/introduction>
3. Simeone, A., Araya, B., Bernal, M., Diebold, E., Grzybowski, K., Michaels, M., Tare, J., Wallace, R., Willis, M. Oceanographic and climatic factors influencing breeding and colony attendance patterns of Humboldt penguins *Spheniscus humboldti*. // Marine Ecology Progress . - 2002. - №227. - —°. 43-50.
4. Zavalaga, C., Paredes, R. Humboldt Penguins at Punta San Juan, Peru. // Penguin Conservation . - 1997. - №10(1). - —°. 6-8.

УДК 574.587

Рубрика 34.33.15

К ВОПРОСУ О СТРУКТУРЕ ПОСЕЛЕНИЙ *ASTARTE BOREALIS* (BIVALVIA: ASTARTIDAE) У СЕВЕРО-ВОСТОЧНОГО КРАЯ АРЕАЛА В БАЛТИЙСКОМ МОРЕ

ABOUT THE STRUCTURE OF *ASTARTE BOREALIS* (BIVALVIA: ASTARTIDAE) SETTLEMENTS AT THE NORTHEASTERN EDGE OF THE BALTIC SEA AREAL

**Ежова Елена Евгеньевна<sup>1,2</sup>, Карташова Анастасия Евгеньевна<sup>1,2</sup>, Багиров Низами Эйналлович<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Институт Океанологии имени П. П. Ширшова РАН, Москва*

<sup>2</sup> *Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининград*

**Ezhova Elena Evgenievna<sup>1,2</sup>, Kartashova Anastasia Evgenievna<sup>1,2</sup>, Bagirov Nizami Einalovich<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow*

<sup>2</sup> *Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad*

## Введение

*Astarte borealis* (Schumacher, 1817) – двустворчатый моллюск с панарктическим циркумполярным распространением, заходящий в бореальные воды. В европейских бореальных бассейнах отмечен в Балтийском море, где населяет Южную и Центральную Балтику (Zettler, 2001), не встречаясь севернее южной оконечности Восточно-Готландской впадины (Ярвекюльг, 1979). Является относительно мелководным видом, обитая до глубин 300 м (Zettler, 2001), в Белом море, например, встречается преимущественно в мелководье в зоне 3-6 м глубин (Skazhina et al., 2013), в Балтийском, наоборот, населяет более глубоководные районы. Последнее связано с границами толерантного и оптимального соленостных диапазонов *A. borealis*: 8–35‰ (Zettler, 2002) и 14-30‰. (Oertzen, 1972) соответственно. Вид обладает чрезвычайно высокой устойчивостью к недостатку кислорода, а также присутствию сероводорода. (Oeschger 1990).

*A. borealis* имеет крупные полилецитальные яйца, из которых формируются слизистые кладки, планктонная личинка отсутствует (Oertzen, 1972; Ockelmann, 1965). Показано, что в Балтийском море моллюск практически всегда имеет зрелыми половые клетки (Oertzen, 1972), однако периоды отсутствия пополнения в популяции характерны, например, для мелководных районов Южной Балтики в условиях нормоксии (Zettler, 2002), как полагают – в связи с недостаточной соленостью и высокой температурой. Для Готландского бассейна, где проходит северная граница балтийского ареала астарты, данных о периодах пополнения нет.

Продолжительность жизни *A. borealis* в Балтийском море оценивается различно: до 8 лет в южной части Восточного Готланда по наружной скульптуре раковины (Гусев, Рудинская 2014), что считается неадекватным методом для астартид, до как минимум 43 лет в юго-западной Балтике по данным вторичной ионной масс-спектрометрии (Moss et al., 2021).

Сведений о распространении вида, составе, структуре и локализации биоценоза *A. borealis*, размерно-возрастной структуре популяции в Юго-Восточной Балтике, у северной границы ареала в Балтийском море, недостаточно.

Нашей целью было выявить районы обитания астарты, описать структуру и состав сообществ в районе ее обитания, размерную структуру популяции в районе Гданьско-Готландского порога и южного склона Восточно-Готландской впадины по рейсовым данным 2021-2022 г.

### Данные и методы

Материал собран в 51 рейсе ПС «Академик Сергей Вавилов» (июль 2021 г.) и 61 рейсе ПС «Академик Иоффе» (июнь 2022 г.). Схемы расположения станций пробоотбора приведены на рис. 1 А, Б. Пробы зообентоса собирали с помощью дночерпателя Ван-Вина (0,1 м<sup>2</sup>) в 3-5 повторностях, промывали через капроновое сито №15 с ячейей 0,36 мм. Остаток с сита фиксировали формалином до концентрации 4%. Дальнейшую обработку в соответствии со стандартными методиками (Салазкин и др., 1984). Определяли число организмов каждого вида/группы в пробе и их массу (групповым методом), с использованием торсионных весов ВТ-500 с точностью до 0,001 г. Рассчитывали среднюю численность и биомассу организмов на станции.

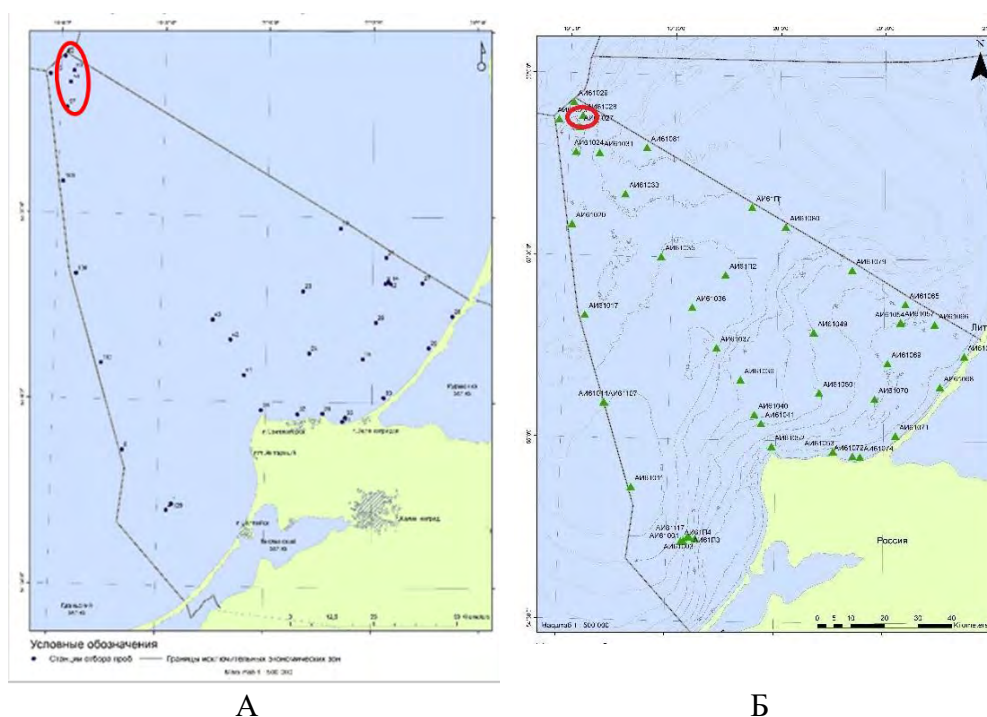


Рис. 1. Схема расположения станций отбора гидробиологических проб в 51-м рейсе «Академик Сергей Вавилов» (А) и в 61 рейсе «Академик Иоффе» (Б), Красным контуром показан район встречаемости *Astarte borealis*.

Для оценки размерной структуры популяции и зависимости массы от линейных характеристик была выполнена морфометрическая обработка раковин *Astarte borealis* из рейсовых сборов 2021 и 2022 гг. Морфометрические характеристики раковины измеряли с помощью электронного штангенциркуля с точностью до 0.1 мм. Моллюсков взвешивали индивидуально на торсионных весах ВЛТ-10 с точностью 0.001г. Всего обработано 78 экземпляров из 242 особей, найденных в 13 пробах с 4 станций. На всех остальных станциях двух рейсов астарты отсутствовали. Статистическую обработку данных и построение графиков проводили с использованием программного обеспечения Excel 2010.

## Результаты и обсуждение

Живые особи астарта были обнаружены в ограниченном районе южного склона Восточно-Готландской впадины и Гданьско-Готландского порога в диапазоне глубин 101-112 м, в границах российской экономической зоны. Глубже по склону (122 м), уже в пределах шведской экономической зоны, на глубине 88 м на Гданьско-Готландском пороге, а также на глубинах 90-60 м на склонах Гданьской впадины живых астарта не встречено, в пробах обилеи периостракум их раковин, иногда присутствуют пустые створки. Таким образом, в юго-восточной части Балтики оконтуривается локальный, небольшой район Готландской впадины с глубинами чуть более 100 м (см. рис. 1 А), где в настоящее время обитает *Astarte borealis*. Далее к северу по центральному разрезу моря моллюск отсутствует, также, как к западу по склону Готландской, в границах Гданьской впадины и на меньших глубинах (90-70 м) Гданьско-Готландского порога. Этот район значительно меньше непрерывного ареала указываемого Ярвекюльгом (1979) по данным до 1970 г. и вероятно представляет результат фрагментации ареала в связи с расширением бескислородных зон, его самый северный сохранившийся фрагмент в Балтийском море.

**Сообщество *Astarte borealis*.** На южном склоне Готландской впадины опробовано 9 станций в диапазоне глубин 101-122 м. Обработанный материал позволяет заключить, что макробентосные сообщества присутствуют в настоящий момент лишь в ограниченном локальном участке обследованного района, в оконечности российской ИЭЗ и не отмечены в биотопически, территориально и батиметрически близких участках шведской экономической зоны, а также и российской. В этом участке на глубинах 101- 112 м развито сообщество *Astarte borealis* с характерным для этого субгалоклининого сообщества набором видов (Таблицы 1, 2), который, однако, несколько редуцирован в сравнении с предыдущими годами: в составе не отмечены два характерных вида полихет *Scoloplos armiger* и *Bylgides sarsi*, макомы (присутствуют мертвые створки) и еще ряд видов. В 2021 г. биомасса бентоса в сообществе варьировала в пределах 1,94 – 21,50 г/м<sup>2</sup>, средняя составила всего 10 г/м<sup>2</sup> (Таблица 1). Однако численность (145-393 экз/м<sup>2</sup>, средняя 228 экз/м<sup>2</sup>) была сравнительно высока для этого бедного сообщества, что связано с периодом пополнения в популяции астарта – 50-60 % от общей численности зообентоса здесь составляли особи младших возрастных групп.

Таблица 1– Состав и количественные показатели сообществ *Astarte borealis*, июнь 2021  
Южный склон Готландской впадины, глубины 101-112 м

Виды, группы животных	N, экз/м <sup>2</sup>	B, г/м <sup>2</sup>
Nematoda	40	0
Hydrozoa, фраг.	"+	0,25
Oligochaeta	2	0,00
Halicryptus spinulosus	3	0,04
<b><i>Astarte borealis</i></b>	<b>149</b>	<b>10,02</b>
<i>Mytilus edulis</i> , juv.	33	0,10
<b>Итого:</b>	<b>228</b>	<b>10,39</b>

Структура сообщества астарта по численности и биомассе представлена на рис. 2 А, Б

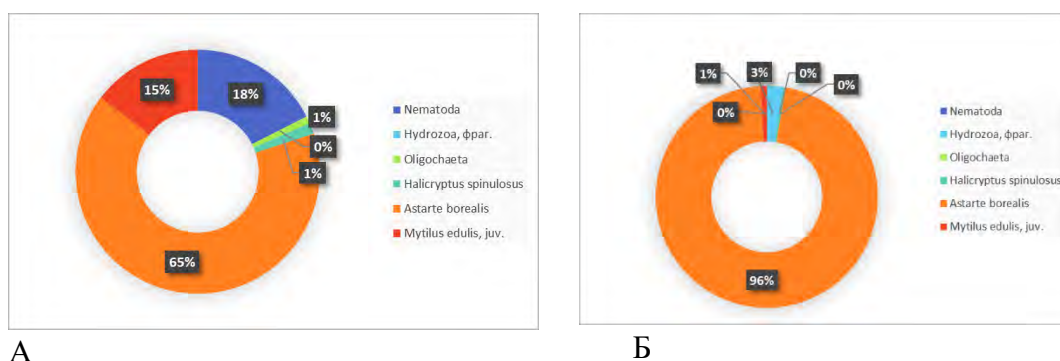


Рисунок 2– Структура биоценоза *Astarte borealis* по численности (А) и биомассе (Б) на южном склоне Готландской впадины, июль 2021, глубины 101-112 м.

В июне 2022 г. на южном склоне Готландской впадины на глубине 110 м, организмы макро- и мейобентоса отсутствовали, в субстрате отмечены многочисленные остатки гидроидов, периостракум раковин астарта, раковины остракод. Однако, в локальном районе южного склона Готландской впадины, ст. АИ-61027 (106 м), отмечено присутствие живых *A. borealis*, сформировавших здесь практически одновидовое сообщество макробентоса со средней численностью 273 экз./м<sup>2</sup> и биомассой 24,7 г/м<sup>2</sup> (Таблица 2) – нематоды являются мейобентосной группой, спат мидий представляет случайный элемент сообщества. Как и в предыдущем году, в популяции астарты отмечена значительная доля ювенильных особей.

Таблица 2– Состав и количественные показатели сообществ *Astarte borealis*, южный склон Готландской впадины (106 м), июль 2022 г.

Виды, группы животных	Н, экз/м <sup>2</sup>	В, г/м <sup>2</sup>
Nematoda	17	0,00
<i>Astarte borealis</i> , juv	100	6,68
<i>Astarte borealis</i>	150	18,00
<i>Mytilus edulis</i> , juv.	7	0,04
<b>Итого:</b>	<b>273</b>	<b>24,71</b>

**Размерная структура.** Минимальные и максимальные размеры особей в популяции практически не различались в 2021 и 2022 гг. Минимальная длина раковины в июне 2021 г. составила 2,70 мм, максимальная - 17,96 мм, преобладали особи с длиной 2-5 мм. В июле 2022 г. минимальная длина особи была 2,57 мм, максимальная 17,57 мм, преобладали особи с длиной 3-6 мм. Моллюсков с длинами от 10 до 13 мм не обнаружили в сборах обоих годов (рис.3 А, Б). Размеры створок пустых раковин астарты, собранных в июне 2022 г., изменялись в диапазоне 11-19 мм. В этой выборке 27% раковин имели длину 11-13 мм, 46% –14-17 мм, 27% составили самые крупные раковины – 18-19 мм. Таким образом, максимальный размер которого достигали моллюски в данном районе мы смогли оценить как 19 мм, учитывая материал, собранный в тафоценозе. Наличие ювенильных моллюсков и преобладание особей младших размерных, и соответственно – младших возрастных групп в летних выборках обоих годов позволяет предполагать наличие зимнего или весеннего пика размножения в локальной популяции астарты и в 2021 и в 2022 гг.



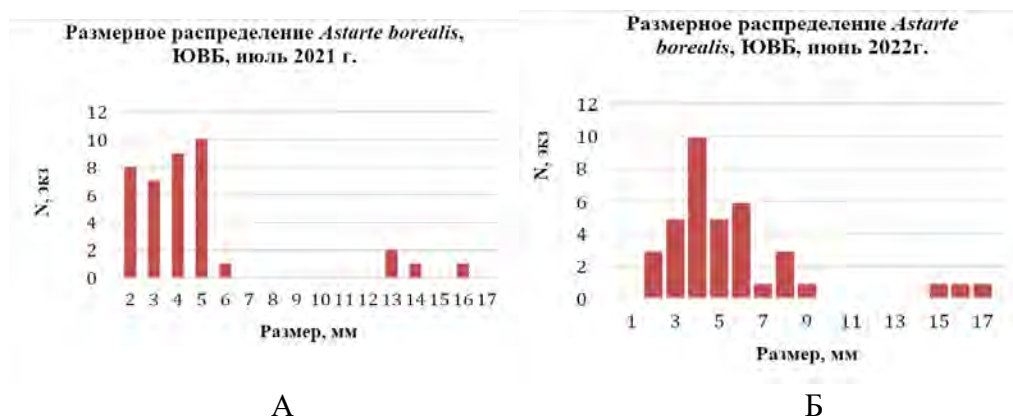


Рисунок 3 - Размерная структура популяции *Astarte borealis* в июне 2021 г. (А) и июле 2022 г. (Б)

Размерное распределение в популяции *A. borealis* по данным 2021-2022 гг., представленное на рис. 3, характеризуется двумя особенностями, отличающими его от описанного для данного района моря в 2010 г. (Гусев, Рудинская, 2014): присутствием (и преобладанием) младших размерно-возрастных групп и наличием дискретов в распределении. В выборке 2021 г. отсутствуют моллюски длиной 7-13 мм, в выборке 2022 г – длиной 10-14 мм. В ноябре 2010 г. длина раковин варьировала от 9.96 до 21.09 мм, особи меньше 10 мм отсутствовали в выборке (n=76).

Авторы упомянутой работы сопоставили выявленные размерные классы с возрастом, оцененным по кольцам роста на поверхности раковины, интерпретируя самый крупный размерный класс как возраст 8+, а наименьший – 3+. Поскольку в настоящее время известно, что корректная оценка роста астартид по годовым кольцам на поверхности раковины затруднена (Moss et al., 2018, 2021) и требуется применение иных методов, в данной работе мы не соотносили размерные группы с возрастом. Предполагается сделать это в дальнейшем с использованием адекватных методов на имеющемся материале фиксированных моллюсков и мертвых створок за разные годы из данного района. Очевидным кажется лишь присутствие ювенилов (2,0–9,0 мм) которых предположительно можно разделить на пополнение нынешнего и прошлого года (0+ и 1+) исходя из размерной гистограммы 2022 г. (рис. 3Б), для оценки возраста старших групп, присутствующих в выборках живых моллюсков (13-14 мм; 15-17 мм) и в тафоценозе (11-13 мм; 18-19 мм) пока не имеется данных.

Отсутствие пополнения (групп 0+, 1+, 2+) в 2010 и предыдущих годах, отмеченное в работе (Гусев, Рудинская, 2014), авторы связывают с низким содержанием кислорода в придонном слое (1.921 мг/л). Однако известно, что *A. borealis* отличается высокой толерантностью к гипоксическим условиям, в то время как придонная соленость 10.77‰, отмеченная в ноябре 2010 г., близка к пессимальным для астарты. Отсутствие пополнения, по нашему мнению, в большей степени определено низкими значениями солености или комбинацией этих двух факторов. Сказанное хорошо согласуется с фактом, что в 2021-2022 гг., когда пополнение отмечено, придонная соленость достигала 12 ‰ и несколько более – в предыдущие годы (Ульянова и др., 2022).

## Выводы

1. В юго-восточной части Балтики популяция *Astarte borealis* обитает локально, занимая небольшой замкнутый ареал в верхней части южного склона Восточно-Готландской



впадины и на Гданьско-Готландском пороге, ограниченный глубинами около 100 и 112 м, и, возможно, является самым северным фрагментом балтийского ареала вида.

2. В пределах описанного ареала на глубинах 101-112 м развито сообщество *Astarte borealis* с редуцированным набором характерных видов, средними биомассой и численностью, варьирующими в пределах 10,39-24,70 г/м<sup>2</sup> и 228-273 экз/м<sup>2</sup> соответственно. Доля доминирующего вида по биомассе составляет 98-100%.
3. Популяция *A. borealis* в районе южного склона Восточно-Готландской впадины и Гданьско-Готландского порога в середине лета 2021 и 2021 была представлена тремя размерными группами, которые можно предположительно интерпретировать как возрастные группы 0+, 1+ и старшая группа неизвестного возраста. Вопрос оценки возраста требует дополнительного исследования.
4. Минимальная длина раковины живых аstart составил 2,57 мм, максимальная -17,96 мм, для створок раковин из танатоценоза эти значения были 11,40 и 19,33 мм соответственно. Живые моллюски с длиной раковины 10-13 мм отсутствовали в 2021 и 2022 гг.
5. В 2021 и 2022 гг. в поселениях присутствовали лишь немногочисленные взрослые особи, в то время как ювенилы и молодь длиной 2-9 мм составили около 90% в исследованной выборке.

### Благодарности

Авторы признательны сотрудникам лаборатории морской экологии и слушателям V Всероссийской Школы «Плавучий университет» (БФУ-АО ИОРАН, 2022 г.), участвовавшим в сборе материала, а также Н.С. Молчановой (ЛМЭ АО ИОРАН), обеспечившей обработку значительного числа проб.

### Финансирование

Сбор и обработка материала выполнены в рамках госзадания ИОРАН, тема № FMWE-2021-0012.

### Список литературы:

1. Zettler M.L. Recent geographical distribution of the *Astarte borealis* species complex, its nomenclature and bibliography (Bivalvia: Astartidae). *Schr Malakozool.* 2001. 18:1–14
2. Ярвекюльг А. Донная фауна восточной части Балтийского моря. Таллинн: Валгус.- 1979. – 382 с.
3. Skazhina M., Sofronova E., Khaitov V. Paving the way for the new generations: *Astarte borealis* population dynamics in the White Sea. 2013. *Hydrobiologia* 706:35–49.
4. Zettler M.L. Ecological and morphological features of the bivalve *Astarte borealis* (Scumacher, 1817) in the Baltic Sea near its geo-geographical range. *J Shellfish Res.* 2002. 21:33–4.
5. Oeschger R. Long-term anaerobiosis in sublittoral marine invertebrates from the Western Baltic Sea: *Halicryptus spinulosus* (Priapulida), *Astarte borealis* and *Arctica islandica* (Bivalvia). *Marine Ecology Progress Series.* 1990. 59. 133-143.
6. Oertzen J.A., von. Cycles and rates of reproduction of six Baltic Sea bivalves of different zoogeographical origin. *Mar Biol.*, 1972.14:143–149
7. Ockelmann, K. Developmental types in marine bivalves and their distributions along the Atlantic coast of Europe. In: *Proc. 1st Europ. Malacol. Congr. London, 1962, Pp. 25–35.*

8. Гусев А.А., Рудинская Л.В. Форма раковины, рост и продукция *Astarte borealis* (Schumacher, 1817) (Astartidae: Bivalvia) в юго-восточной части Балтийского моря // Океанология. 2014, Т.54 (4): 498–504.
9. Moss D., Surge D., Zettler M., Orland I., Burnette A., Fancher A. Age and growth of *Astarte borealis* (Bivalvia) from the southwestern Baltic Sea using secondary ion mass spectrometry. *Marine Biology*. 2021.168, 133
10. Салазкин А.А., Алимов А.Ф., Финогенова Н.П., Винберг Г.Г. Методические рекомендации по сбору и обработке материала при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах. Зообентос и его продукция. – Л.: ГосНИОРХ. 1984 – 51 с.
11. Moss D.K., Surge D., Khaitov V. Lifespan and growth of *Astarte borealis* (Bivalvia) from Kandalaksha Gulf, White Sea, Russia. *Polar Biol*. 2018. 41:1359–1369.
12. Ульянова М.О., Сивков В.В., Баширова Л.Д., Капустина М.В. Бубнова, Е.С., Данченков А.Р., Ежова Е.Е., Кречик В.А., Еремина Т.Р. Океанологические исследования Балтийского моря в 51-м рейсе ПС “Академик Сергей Вавилов” (июнь–июль 2021 г.) // Океанология, 2022, Т. 62, № 4, стр. 667-669.

УДК 574.583

Рубрика 34.33.00

КОЛИЧЕСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ И ТРОФИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА  
ЗООПЛАНКТОННЫХ СООБЩЕСТВ В ЖЕЛОБЕ СВЯТОЙ АННЫ И ПРИЛЕГАЮЩИХ  
АКВАТОРИЯХ В СЕНТЯБРЕ 2023 ГОДА

QUANTITATIVE DISTRIBUTION AND TROPHIC STRUCTURE OF ZOOPLANKTON  
COMMUNITIES IN SAINT ANNA TROUGH AND ADJACENT WATERS IN SEPTEMBER  
2023

**Болотов Матвей Иванович<sup>1,2</sup>, Перминова Анжелика Сергеевна<sup>3</sup>, Юрикова Дарья Андреевна<sup>4,5</sup>, Коновалова Ольга Петровна<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>*Северный (Арктический) федеральный университет имени М. В. Ломоносова (САФУ), Архангельск*

<sup>2</sup>*Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова (ФИЦКИА), Архангельск*

<sup>3</sup>*Сибирский федеральный университет (СФУ), Красноярск*

<sup>4</sup>*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН (ИО), Москва*

<sup>5</sup>*Центр Морских Исследований МГУ имени М.В. Ломоносова (ЦМИ МГУ), Москва*

**Bolotov Matvey Ivanovich<sup>1,2</sup>, Perminova Anzhelika Sergeevna<sup>3</sup>, Yurikova Daria Andreevna<sup>4,5</sup>, Konovalova Olga Petrovna<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>*Northern (Arctic) Federal University (NArFU), Arkhangelsk*

<sup>2</sup>*N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research (FECIAR), Arkhangelsk*

<sup>3</sup>*Siberian Federal University (SFU), Krasnoyarsk*

<sup>4</sup>*Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow*

<sup>5</sup>*Marine Research Center, Lomonosov Moscow State University (LMSU MRC), Moscow*

## **Введение**

Желоб Святой Анны располагается в северо-западной части Карского моря. Этот район интересен для исследования по ряду гидрологических, а также экологических факторов. Максимальные глубины желоба превышают 500 м, что делает его одним из наиболее глубоководных регионов Карского моря. Через пролив Фрама и Баренцево море в Карское море проникает поток атлантических вод. Фрамовская водная масса характеризуется повышенной температурой (>2 °С) и меньшей плотностью относительно баренцевоморской водной массы, которая охлаждается вследствие зимней конвекции Баренцева моря (Osadchiev, et al., 2022). Обе ветви сливаются в желобе Святой Анны и оказывают значительное влияние на видовой состав, вертикальное распределение и трофическую структуру зоопланктонного сообщества этого региона.

Зоопланктон – важный функциональный элемент морских биоценозов, играет ключевую роль в круговороте веществ и энергии в водных экосистемах, являясь связующим компонентом пищевой цепи между продуцентами и вторичными консументами. Зоопланктонные организмы являются ценным кормовым объектом для рыб-планктофагов (Manko, et al., 2020). Углубление знаний о планктонных сообществах Карского моря поможет лучше понять роль зоопланктона в экосистеме и выявить факторы, влияющие на функционирование сообществ. Климатические изменения в Арктике связаны с повышением температуры воздуха и затокм атлантических вод, сокращающим ледовый покров. Это приводит к трансформации зоопланктонных сообществ. И несмотря на то, что многие арктические виды физиологически толерантны к повышению температуры воды, им приходится конкурировать с бореально-атлантическими представителями. (Kaiser, et al., 2022). По причине труднодоступности региона количественное распределение и трофическая структура зоопланктона изучены не в полной мере и данные нуждаются в дополнении.

Целью работы являлось исследование вертикального распределения количественных характеристик и трофической структуры зоопланктона в акватории желоба Святой Анны. Задачами были отбор и фиксация количественных проб сообществ зоопланктона в регионе исследования; выявление видовой, размерно-массовой и трофической структуры зоопланктонных сообществ; анализ пространственного распределения зоопланктона; изучение количественных характеристик зоопланктона с последующей статистической обработкой.

### Методика

Район исследования располагался в акватории Желоба Святой Анны. Материал собирался на 5 станциях (рисунок 1) послойно в сентябре 2023 года. Глубина станций варьировалась от 112 (станция 3) до 550 метров (станция 31). В качестве орудия лова использовали количественную сеть Джели с диаметром входного отверстия – 30 см, размер ячеей фильтрующего полотна – 180 мкм. Слои отбора выбирались в соответствии с гидрологическими характеристиками воды (получены с использованием CTD-зонда AML-3 LGR). Пробы зоопланктона концентрировались и фиксировались раствором 40 %-го формалина, конечная концентрация в пробе составляла 4 %.

Дальнейшая обработка проб производилась в камеральных условиях. Из каждой пробы выделялись по две подпробы объемом 5 мл, которые просматривались в камере Богорова или в чашке Петри (в зависимости от размеров зоопланктона). Результаты количественного распределения усредняли по двум повторностям и пересчитывали с учетом объема профильтрованной воды. Организмы идентифицировались до вида по морфологическим признакам.

Зоопланктонные сообщества оценивали по численности (экз/м<sup>3</sup>), биомассе (мг/м<sup>3</sup>), встречаемости (%), видовому богатству (индекс Маргалёфа  $I_M$ ), видовому разнообразию (индекс Шеннона-Уивера  $H$ , бит/экз.), уровню доминирования (индексы Симпсона и Бергера-Паркера), сходству (индекс Чекановского-Сьеренсена), корреляции с абиотическими факторами (пошаговая множественная регрессия, коэффициент корреляции Спирмена), фаунистическому индексу (индекс трофности Мяэметса) и трофической структуре.

### Результаты

На различных горизонтах в ходе экспедиции была отобрана и зафиксирована 21 проба зоопланктона с 5 станций. Горизонты отбора выбирались в соответствии с профилями температуры и солёности. Количественный анализ, предположительно, подтверждает зависимость пространственного распределения зоопланктонных организмов от

распространения водных масс. Впоследствии также будет проанализирована трофическая структура зоопланктонных сообществ в районе исследований.

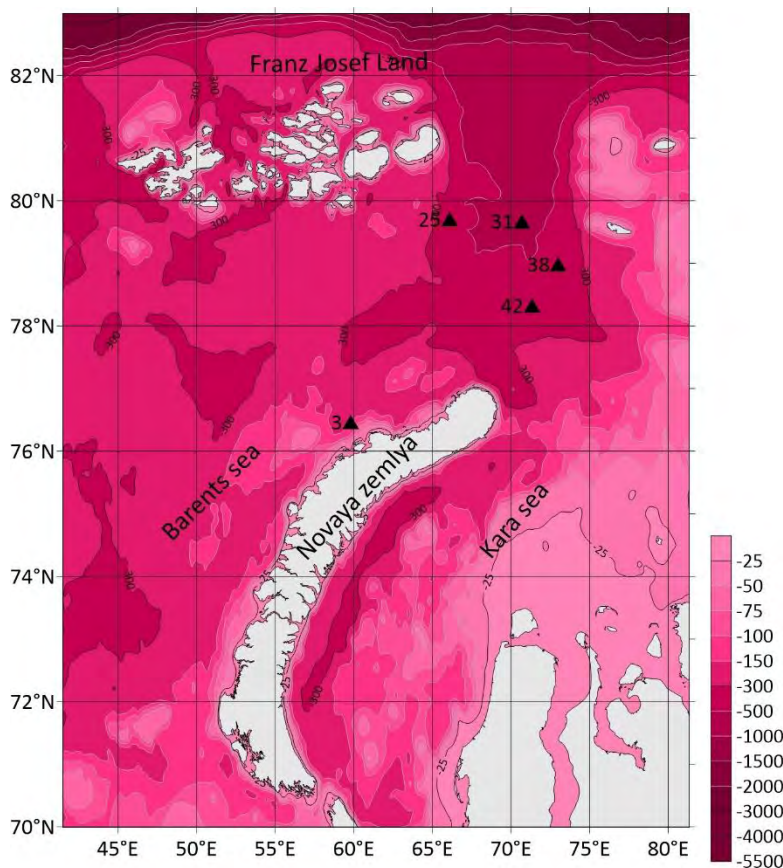


Рисунок 1 – карта-схема района работ

### Заключение

В ходе полевых работ в акватории желоба Святой Анны в сентябре 2023 г. были отобраны пробы зоопланктона по нескольким горизонтам. Полученные данные впоследствии будут обрабатываться в камеральных условиях для изучения структуры сообществ зоопланктона в южной части желоба. Составленная база данных будет анализироваться с помощью методов статистической обработки для выявления закономерностей распределения видов в водных массах. Ожидаются достоверные различия в видовом составе, трофической структуре, численности и биомассе в водах с разными гидрологическими условиями.

### Благодарности

Работа выполнена в рамках научно-образовательной программы «Плавучий университет» (соглашение № 075-01593-23-06).

Авторы выражают благодарность всему экипажу НИС «Дальние Зеленцы» за помощь в проведении полевых работ, а также отряду гидрофизики за предоставление данных по гидрологии.

### Список литературы:

1. Osadchiev A, Viting K, Frey D, Demeshko D, Dzhamalova A, Nurlibaeva A, Gordey A, Krechik V, Spivak E, Semiletov I and Stepanova N. Structure and Circulation of Atlantic Water Masses in the St. Anna Trough in the Kara Sea // *Frontiers in Marine Science* – 2022 – Vol. 9 *Front. Mar. Sci.* 9:915674. doi: 10.3389/fmars.2022.915674
2. Mańko, M.K., Głuchowska, M., Weydmann-Zwolicka, A. Footprints of Atlantification in the vertical distribution and diversity of gelatinous zooplankton in the Fram Strait (Arctic Ocean) // *Progress in Oceanography* – 2020 – 102414–. doi:10.1016/j.pocean.2020.102414
3. Kaiser, P., Hagen, W., Bode-Dalby, M., Auel, H. Tolerant but facing increased competition: Arctic zooplankton versus Atlantic invaders in a warming ocean // *Frontiers in Marine Science* – 2022 – *Front. Mar. Sci.* 9:908638. doi: 10.3389/fmars.2022.908638
4. Doreen Kohlbach, Haakon Hop, Anette Wold, Katrin Schmidt, Lukas Smik, Simon T. Belt, Amalia Keck Al-Habahbeh, Matthias Woll, Martin Graeve, Anna Maria Dębrowska, Agnieszka Tatarek, Angus Atkinson and Philipp Assmy. Multiple Trophic Markers Trace Dietary Carbon Sources in Barents Sea Zooplankton During Late Summer // *Frontiers in Marine Science* – 2021 – Vol. 7 *Front. Mar. Sci.* 7:610248. doi: 10.3389/fmars.2020.610248
5. Vladimir Dvoretzky, Alexander Dvoretzky. Checklist of fauna found in zooplankton samples from the Barents Sea // *Polar Biol* – 2010 – 33:991–1005 DOI 10.1007/s00300-010-0773-4
6. Арашкевич Е. Г. и др. Роль зоопланктона в трансформации органического вещества в обском эстуарии, шельфовых и глубоководных районах Карского моря // *Океанология.* – 2010. – Т. 50. – №. 5. – С. 823-836.
7. Freer, J. J., Daase, M., & Tarling, G. A. Modelling the biogeographic boundary shift of *Calanus finmarchicus* reveals drivers of Arctic Atlantification by subarctic zooplankton // *Global Change Biology* – 2021 – No. 28 – P. 429–440.
8. Hirche, H. J., Kosobokova, K. N., Gaye-Haake, B., Harms, I., Meon, B., & Nöthig, E. M. Structure and function of contemporary food webs on Arctic shelves: A panarctic comparison. The pelagic system of the Kara Sea - Communities and components of carbon flow // *Progress in Oceanography* – 2006 – No. 71(2–4) – P. 288–313.
9. Kosobokova, K. N. and Hirche, H. J. A seasonal comparison of zooplankton communities in the Kara Sea – With special emphasis on overwintering traits // *Estuarine, Coastal and Shelf Science* – 2016 – No. 175 – P. 146-156. doi: 10.1016/j.ecss.2016.03.030



УДК 574.583

Рубрика 34.33.00

ИЗУЧЕНИЕ ЕСТЕСТВЕННОЙ СМЕРТНОСТИ ЗООПЛАНКТОНА В ЖЕЛОБЕ СВЯТОЙ АННЫ (КАРСКОЕ МОРЕ) С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВИТАЛЬНОГО ОКРАШИВАНИЯ

ESTIMATING IN SITU ZOOPLANKTON NON-PREDATORY MORTALITY IN THE ST. ANNA TROUGH IN THE KARA SEA USING VITAL STAINING

**Перминова Анжелика Сергеевна<sup>1</sup>, Болотов Матвей Иванович<sup>2,3</sup>, Юрикова Дарья Андреевна<sup>4,5</sup>, Коновалова Ольга Петровна<sup>5</sup>**

<sup>1</sup> *Сибирский федеральный университет (СФУ), Красноярск*

<sup>2</sup> *Северный (Арктический) федеральный университет имени М. В. Ломоносова (САФУ), Архангельск*

<sup>3</sup> *Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова (ФИЦКИА), Архангельск*

<sup>4</sup> *Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва*

<sup>5</sup> *Центр Морских Исследований МГУ имени М.В. Ломоносова (ЦМИ МГУ), Москва*

**Perminova Anzhelika Sergeevna<sup>1</sup>, Bolotov Matvey Ivanovich<sup>2,3</sup>, Yurikova Daria Andreevna<sup>4,5</sup>, Konovalova Olga Petrovna<sup>5</sup>**

<sup>1</sup> *Siberian Federal University (SFU), Krasnoyarsk*

<sup>2</sup> *Northern (Arctic) Federal University (NArFU), Arkhangelsk*

<sup>3</sup> *N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research (FECIAR), Arkhangelsk*

<sup>4</sup> *Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow*

<sup>5</sup> *Lomonosov Moscow State University Marine Research Center (LMSU MRC), Moscow*

## **Введение**

Желоб Святой Анны, расположенный на границе Карского и Баренцева морей, имеет ряд гидрологических особенностей, что делает этот район крайне интересным для биологических исследований. Приток теплых и соленых атлантических вод из Северной Атлантики в Западную Арктику осуществляется через две ветви: Фрамовскую и Баренцевоморскую. Именно в желобе Святой Анны эти ветви сливаются, а затем каждая из них с разной скоростью распространяются на восток вдоль материкового склона (Osadchiev et. al., 2022). В результате локальное взаимодействие этих ветвей в желобе влияет не только на свойства крупномасштабного потока атлантических вод в Восточную Арктику и глубоководные Арктические бассейны, но и на пространственное распределение морских организмов.

В связи с вышеперечисленными особенностями региона исследования интерес вызывает не только таксономическое распределение зоопланктонных организмов различных водных масс, но и количественные показатели их естественной смертности. Ее уровень может быть мерой качества среды, условий функционирования исследуемых популяций и предпосылкой прогноза динамики сообщества (Дубовская, 2008). Для оценки не связанной с хищниками смертности используется метод визуальной оценки окрашенных и неокрашенных особей в

пробах, подвергшихся витальному окрашиванию перед фиксацией. В пресноводных экосистемах в качестве красителя используется анилиновый голубой водорастворимый (Дубовская и др., 2007) или проционовый красный (Ряпенко и Полюнов, 1991; Наумова, 2006), для окрашивания морского и эстуарного зоопланктона пользуются нейтральным красным (Fleming and Coughlan, 1978). В случае окраски пресноводного зоопланктона живые особи остаются неокрашенными, тогда как в случае с морскими организмами все наоборот. Окрашивание для дифференцировки живых и мертвых организмов может использоваться как в экспериментах с экспонированием седиментационных ловушек (Ivory, 2014) или экспериментов по выживаемости в экстремальных условиях (Venkatnarayanan, 2022), так и в работах по оценке естественной смертности в крупных водных объектах с необычными гидрологическими условиями, например, Чесапикском заливе (США) (Tang et al., 2006) или бухте Тамандаре (Бразилия) (da Silva et al., 2020). В Арктических морях работы по витальному окрашиванию зоопланктона для дифференцировки на живых и мертвых проводятся впервые. Целью нашей работы стало изучение естественной смертности зоопланктона в акватории желоба Святой Анны с использованием витального окрашивания нейтральным красным, а также оценка влияния различных условий на нее.

## Материалы и методы

Сбор зоопланктона проводили в экспедиции НИС «Дальние Зеленцы» в Карское и Баренцево моря в рамках научно-образовательной программы Плавучий университет с 11 по 30 сентября 2023 года.

Отбор количественных проб зоопланктона осуществляли сетью Джеди с диаметром входного отверстия 30 см и размером ячеей фильтрующего конуса 180 мкм. Горизонты отбора проб зоопланктона определяли в соответствии с данными о вертикальном распределении температуры и солености, полученными с помощью CTD-зонда AML-3 LGR.

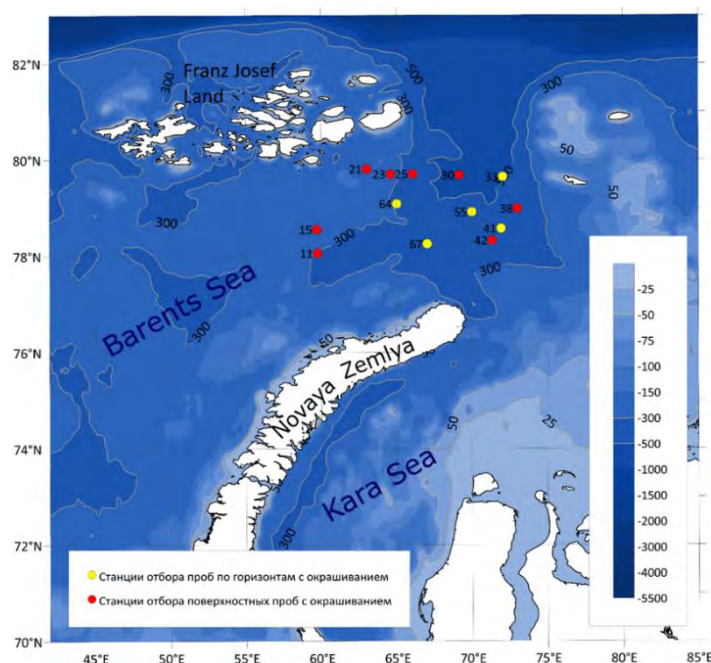


Рисунок 1. Карта станций отбора зоопланктона сетью Джеди в желобе Святой Анны

Окрашивание проводилось согласно протоколу, описанному в Elliott and Tang (2009). Раствор для окраски готовится путём смешивания пудры красителя в дистиллированной воде в

соотношении 1:100. Отобранная сетью Джели проба переливается в мерную ёмкость для определения объёма, затем в ёмкость для окрашивания, куда также добавляется жидкий краситель из расчета 1.5 мл на 1 л пробы (примерная концентрация 1:670000), и засекается 15 минут. Окрашивание необходимо проводить в затемнённом месте при температуре *in situ*. Для окрашивания пробы с большим количеством организмов объём красителя можно увеличить. После окрашивания организмы откидываются на газ стаканчика для концентрации и промываются морской водой, фильтрованной через газ с размером ячеек 180 мкм. После этого окрашенная проба фиксируется 4%-ным формалином (без добавления буры) и хранится в холодильнике.

## Результаты

Всего было отобрано и окрашено 25 проб с 13 станций (Рис.1). На восьми станциях (11, 15, 21, 23, 25, 30, 38, 42) были отобраны пробы с поверхностного горизонта (0-20/0-50 м). На других пяти станциях (33, 41, 55, 64, 67) были проведены послонные ловы зоопланктона, горизонты отбора определяли по значениям температуры и солёности, полученным в ходе вертикального STD-зондирования толщи воды.

## Заключение

В ходе полевых работ в акватории желоба Святой Анны отобрано 25 проб зоопланктона. Впервые для Карского моря использован метод дифференциации организмов зоопланктона для определения естественной смертности в среде обитания при помощи окрашивания проб нейтральным красным. Дальнейшая обработка будет проводиться камерально с возможным внедрением метода сканирования на планшетном сканере Epson Perfection V 850 Pro (Ёлгина, 2020). По результатам обработки ожидается наличие как индикаторных североатлантических, так и типично арктических видов зоопланктеров.

## Финансирование

Работа выполнена в рамках научно-образовательной программы «Плавающий университет» (соглашение № 075-01593-23-06).

## Благодарности

Авторы выражают благодарность всему экипажу НИС «Дальние Зеленцы» за помощь в проведении полевых работ, а также отряду гидрофизики за предоставление данных по гидрологии.

## Список литературы

1. Дубовская О.П., Семенченко В.П., Гладышев М.И., Бусева Ж.Ф., Разлуцкий В.И. (2007) Показатели смертности, не связанной с хищниками, у кладоцерного зоопланктона в пелагиали и литорали мелководного слабоэвтрофного озера. Докл. АН. 416(6): 836-838.
2. Дубовская О. П. Оценка количества мертвых особей рачкового зоопланктона в водоеме с помощью окрашивания проб анилиновым голубым: методические аспекты применения //Журнал Сибирского федерального университета. Биология. – 2008. – Т. 1. – №. 2. – С. 145-161.

3. Ёлгина О. Е. Компьютерная обработка сканированных проб зоопланктона для анализа его размерной структуры и пространственного распределения в озёрах Хакасии : дис. – Сибирский федеральный университет, 2020.
4. Наумова Е.Ю. (2006) Жизненные циклы и морфология представителей рода *Epischura Forbes, 1882* (Copepoda: Calanoida). Автореф. дис. канд. биол. наук. Владивосток: ИБМ ДВО РАН. 22 с
5. Ряпенко Л.Н., Польшов В.А. (1991) Использование метода окрашивания проционовым красным для оценки состояния зоопланктона на северном Байкале. В: Мониторинг и оценка состояния Байкала и Прибайкалья: Матер. 6 Всес. Бакальской шк.-сем. Л.: Ин-т глобального климата и экологии. С. 144-146
6. da Silva A. J. et al. Non-predatory mortality of planktonic copepods in a reef area influenced by estuarine plume //Marine Environmental Research. – 2020. – Т. 159. – С. 105024.
7. Elliott D. T., Tang K. W. Simple staining method for differentiating live and dead marine zooplankton in field samples //Limnology and Oceanography: Methods. – 2009. – Т. 7. – №. 8. – С. 585-594.
8. Ivory J. A., Tang K. W., Takahashi K. Use of Neutral Red in short-term sediment traps to distinguish between zooplankton swimmers and carcasses //Marine Ecology Progress Series. – 2014. – Т. 505. – С. 107-117.
9. Fleming J.M., Coughlan J. (1978) Preservation of vitally stained zooplankton for live/dead sorting // Estuaries. 1: 135-137.
10. Osadchiev A. et al. Structure and circulation of Atlantic water masses in the St. Anna trough in the Kara Sea //Frontiers in Marine Science. – 2022. – Т. 9. – С. 915674.
11. Tang K.W., Freund C.S., Schweitzer Ch.L. (2006) Occurrence of copepod carcasses in the lower Chesapeake Bay and their decomposition by ambient microbes. Estuar. Coast. Shelf Sci. 68: 499-508.
12. Venkatnarayanan S. et al. Survival and recovery of planktonic organisms in prolonged darkness and their implications on ballast water management //Journal of Experimental Marine Biology and Ecology. – 2022. – Т. 549. – С. 151697.

УДК 577.29

Рубрика 34.15.23

ИССЛЕДОВАНИЕ БИОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ МОРСКОЙ КОПЕПОДЫ *METRIDIA LONGA*

AN INVESTIGATION OF BIOLUMINESCENCE OF MARINE COPEPOD *METRIDIA LONGA*

**Раева Анастасия Сергеевна<sup>1</sup>, Юрикова Дарья Андреевна<sup>2,3</sup>, Коновалова Ольга Петровна<sup>2</sup>, Сутормин Дмитрий Александрович<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Сколковский институт науки и технологий (Сколтех), Москва*

<sup>2</sup> *ООО «Центр морских исследований МГУ им. М.В.Ломоносова» (ООО «ЦМИ МГУ»), Москва*

<sup>3</sup> *Институт океанологии имени П. П. Ширшова Российской академии наук (ИО РАН), Москва*

**Raeva Anastasiia Sergeevna<sup>1</sup>, Yurikova Daria Andreevna<sup>2,3</sup>, Konovalova Olga Petrovna<sup>2</sup>, Sutormin Dmitry Aleksandrovich<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Skolkovo Institute of Science and Technology, Moscow*

<sup>2</sup> *Lomonosov Moscow State University Marine Research Center, Moscow*

<sup>3</sup> *Shirshov Institute of Oceanology of Russian Academy of Sciences, Moscow*

## **Введение**

Биолюминесценция — это способность биологических объектов генерировать свечение в результате опосредованных энзимами химических реакций [Shimomura, Yampolsky, 2019]. В основе феномена лежит окисление специфического субстрата, называемого люциферинном, в присутствии катализирующего фермента — люциферазы. В результате реакции образуется окисленный продукт, оксилуциферин, в возбуждённом электронном состоянии, переход из которого в основное сопровождается эмиссией фотона в видимом спектральном диапазоне [Shimomura, Yampolsky, 2019]. Биолюминесценция широко встречается среди морских организмов и может быть опосредована как самим объектом, так и наличием у него специализированных бактерий-симбионтов [Haddock, 2010]. Целентеразин — самый распространённый и изученный люциферин, обнаруженный у морских биолюминесцентных организмов, в частности, он был детектирован у морских копепод [Campbell, Herring, 1990]. Биолюминесценция копепод происходит экскреторно. Секрет воспроизводится в специализированных эпидермальных железах и выталкивается наружу через кутикулярные поры. Железы иннервированы и состоят из 1-3 вытянутых клеток, наполненных секреторными гранулами [Bowlby, Case, 1991; Bannister, 1993]. Испускание светящегося секрета используется копеподами, скорее всего, как механизм защиты от хищников. Была показана потеря способности к биолюминесценции в зависимости от миелинизации нервных волокон среди семейств каляноидных копепод в процессе эволюции [Takenaka et al., 2012]. Продемонстрирована способность целентеразина передаваться вверх по пищевой цепочке, в частности, квидариям [Haddock et al., 2001]. Эксперименты по кормлению копепод *Metridia pacifica* и *Metridia lucens* мечеными аминокислотами показали, что веслоногие ракообразные



синтезируют целентеразин de novo из 1 молекулы L-фенилаланина (F) и 2 молекул L-тирозина (Y) [Oba et al., 2009; Tessler et al., 2018]. Также способность к de novo синтезу продемонстрирована у гребневиков [Bessho-Uehara et al., 2020]. На текущий момент существует две гипотезы биосинтеза целентеразина: 1) циклизация и дальнейшая модификация аминокислотных остатков FYY, как части более длинного пептида-прекурсора, который синтезируется рибосомально; 2) трипептид FYY синтезируется в результате нерибосомного синтеза путем соединения свободных аминокислот [Oba et al., 2009; Francis et al., 2015; Tessler et al., 2018]. Исследования целентеразин-зависимой биолюминесценции ведутся уже довольно давно, однако механизм биосинтеза данного люциферина остаётся нераскрытым. Неизвестно также может ли целентеразин синтезироваться специализированными бактериями-симбионтами. В данной работе впервые был испробован метагеномный подход в исследовании биосинтеза целентеразина в целях обнаружения специализированных кластеров генов биосинтеза вторичных метаболитов, а также сравнительный анализ микробиомов биолюминесцентной копеподы *Metridia longa*, небиолюминесцентной *Calanus glacialis* и морской воды. В дальнейшем планируется осуществить мультимиксный подход для установления потенциального пути биосинтеза.

## Материалы и методы

Полевые работы по сбору материала проводились в два этапа. Первый сбор осуществили 5 сентября 2022 года в Кандалакшском заливе Белого моря на территории Беломорской биологической станции МГУ имени Н.А. Перцова. Тотальные пробы мезозoopланктона отбирали методом вертикального лова со дна до поверхности. Использовали сеть Джеди с фильтрующим конусом из газа с ячейёй 180 мкм и диаметром устья 37 см. Лов осуществили на трёх локациях — за островом Величаиха, между островом Кокоиха и островом Величаиха, напротив острова Кокоиха. Минимальная глубина погружения сети Джеди составила 120 м. Полученные пробы зоопланктона содержали в ёмкостях с морской водой в холодильнике при температуре 4°C. Особей *Metridia longa* отбирали из пробы вне зависимости от половой принадлежности и стадии жизненного цикла, затем помещали в пробирки объёмом 1.5 мл в количестве по 20-30 штук в каждой. Также для сравнительного анализа микробиоты были собраны особи небиолюминесцентного вида копепод *Calanus glacialis* и пробы морской воды с мест сбора зоопланктона. Морскую воду объёмом 3 литра пропускали через стерильные 0.22 мкм колоночные фильтры (Sterivex, Германия) для дальнейшего выделения ДНК из отфильтрованной бактериальной фракции. Полученный материал замораживали при температуре при температуре -80°C. Далее из замороженного материала проводили выделение ДНК 5 разными способами (экстракция хлороформом и использование готовых коммерческих наборов ThermoScientific GeneJet Genomic DNA Purification Kit, Diatom DNA Prep 200, DNeasy Blood&Tissue). Из ряда особей *Metridia longa* извлекали кишечник с помощью стерильных игл (d = 0.18 мм) и выделяли ДНК из полученных аутопсированных элементов. Полученные препараты ДНК использовали для секвенирования ампликонных библиотек варибельного участка V3-V4 гена *16S pPHK* и шот-ган метагеномного секвенирования.

Второй сбор материала осуществили в сентябре 2023 года в рамках второго этапа рейса Плавучего Университета ИО РАН-МФТИ на НИС «Дальние Зеленцы». Сбор материала осуществили тем же образом, что и в первом случае. В работе использовали тотальные пробы мезозoopланктона, собранных на 6 станциях, географически соответствующих южной части жёлоба Святой Анны. Глубина погружения сети Джеди на самой мелководной станции составляла 218 м, на самой глубоководной — 535 м. Особей *Metridia longa* отбирали из общей массы зоопланктона и помещали в пробирки объёмом 1.5 мл в количестве по 15-70 штук в каждой. Далее материал замораживали при температуре -20°C. Около половины материала дополнительно фиксировали реагентом IntactRNA (Евроген).



## Результаты

По результатам первого этапа отбора проб на ББС МГУ были получены и секвенированы ампликонные библиотеки варибельного участка V3-V4 гена *16S rRNA* для 40 образцов ДНК, относящихся к разным типам: кишечник *Metridia longa*, целые особи *Metridia longa*, целые особи *Calanus glacialis* и морская вода. Профилирование микробных сообществ по варибельному участку V3-V4 гена *16S rRNA* показывает существенное различие в разнообразии и составе микробиоты воды и ракообразных. Кроме того, оценка альфа-разнообразия сообщества морской воды и сообщества копепод демонстрирует существенно большее видовое разнообразие в первом. Доминирующим типом бактерий в морской воде оказались представители Cyanobacteria, в частности, семейство *Cyanobiaceae*, а в образцах ракообразных - представители типа Proteobacteria, в особенности, семейство *Pseudoalteromonadaceae*. Дифференциальный анализ состава сообществ продемонстрировал различия в составе эпи- и эндомикрофлоры *Metridia longa*. Представители семейств *Shewanellaceae* и SAR86 были отмечены как бактерии-эпибионты, а представители *Cyanobiaceae* и *Vibrionaceae* как бактерии-эндобионты. PERMANOVA и сравнение индексов альфа-разнообразия не продемонстрировали существенного различия между микробиомом *Metridia longa* и микробиомом *Calanus glacialis*. Однако дифференциальный анализ показал, что в микробиомах представителей *Calanus glacialis* более представлены *Shewanellaceae* и *Alteromonadaceae*, тогда как в *Metridia longa* более массово представлены SAR86 и *Corynebacteriaceae*. Обнаруженные тонкие отличия, вероятно, отражают разницу в составех коровых микробиомов данных видов копепод и/или различия диеты этих организмов. Образцы тотальной метагеномной ДНК, полученные из *Metridia longa* и морской воды, были дополнительно секвенированы с использованием шот-ган подхода для последующего предсказания открытых рамок считывания и аннотации кластеров генов биосинтеза вторичных метаболитов. В сборках метагеномов были обнаружены 9 кластеров генов биосинтеза для образца *Metridia longa* и 722 кластера генов для образца морской воды. Согласно этому результату, следует отметить, что для поиска кластеров генов биосинтеза вторичных метаболитов с потенциальным прикладным применением фильтраты морской воды представляют, вероятно, больший интерес, чем микробиота, ассоциированная с морскими копеподами. Среди кластеров генов биосинтеза нерибосомных пептидов из *Metridia longa* и морской воды не было обнаружено кластеров-кандидатов потенциально способных к синтезу целентеразина. Среди предсказанных в сборках метагеномов рамок считывания был осуществлён поиск последовательностей, кодирующих аминокислотный мотив FYY, для последующего поиска потенциальных прекурсоров целентеразина. Всего были обнаружены 32 открытые рамки считывания с C-концевым мотивом FYY для образца *Metridia longa* и 33 для образца морской воды. Среди открытых рамок считывания из образца *Metridia longa* были обнаружены гомологи изопенициллин-N-синтазы, которая ранее была выдвинута в качестве потенциального участника и прекурсора в биосинтезе целентеразина в гребневиках. Данные гены были обнаружены в последовательностях, по всей видимости относящихся к геному *Metridia longa*.

На текущий момент имеется новый материал *Metridia longa*, собранный в рамках второго этапа рейса Плавающего Университета ИО РАН-МФТИ на НИС «Дальние Зеленцы», который планируется использовать для анализа транскриптома в целях более детального анализа ОРС, потенциально вовлечённых в биосинтез целентеразина.

## Выводы

1. Был проведен сбор живых представителей *Metridia longa* и *Calanus glacialis*, а также окружающей морской воды в сентябре 2023 г. на ББС МГУ.

2. Были получены экстракты ДНК из собранных образцов. Оптимальным методом получения ДНК из веслоногих ракообразных оказалась хлороформная экстракция с последующей дополнительной очисткой на спин-колонках. Было проведено секвенирование 40 ампликонных библиотек варибельного участка V3-V4 гена 16S рРНК и шот-ган секвенирование 2 метагеномных образцов - *Metridia longa* и морской воды.
3. Проанализированы результаты секвенирования 40 ампликонных библиотек варибельного участка V3-V4 гена 16S рРНК, выделенных из беломорских копепоид *Metridia longa* и *Calanus glacialis*, кишечников *Metridia longa*, воды и негативных контролей лабораторного загрязнения. Были продемонстрированы различия между микробиотой ракообразных и морской воды, а также выявлены бактерии-эпibiонты *Metridia longa*.
4. Количество кластеров генов биосинтеза (722 шт.) в метагеноме морской воде существенно больше, чем в таковом у *Metridia longa* (9 шт.). Не были обнаружены кластеры генов нерибосомального синтеза пептидов, потенциально вовлечённые в биосинтез целентеразина.
5. Среди гомологов открытых рамок считывания, предсказанных в сборке метагенома *Metridia longa*, были обнаружены оксигеназы/изопенициллин-N-синтазы, потенциально участвующие в биосинтезе целентеразина. В метагеноме морской воды подобные гены не были обнаружены.
6. Был проведён сбор живых представителей *Metridia longa* в рамках второго этапа рейса Плавучего Университета ИО РАН-МФТИ на НИС «Дальние Зеленцы» в сентябре 2023 года в южной части жёлоба Святой Анны.

### Финансирование

Исследование выполнено при поддержке грантом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (Соглашение №075-10-2021-114 от 11.10.2021 г.) и в рамках научно-образовательной программы «Плавающий университет» (Соглашение № 075-01593-23-06).

### Список литературы:

1. Bannister N. J. Innervation of luminous glands in the calanoid copepod *Euaugaptilus magnus* // Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom. – 1993. – Т. 73. – №. 2. – С. 417-423.
2. Bessho-Uehara M. et al. Evidence for de novo Biosynthesis of the Luminous Substrate Coelenterazine in Ctenophores // *Iscience*. – 2020. – Т. 23. – №. 12.
3. Booij N., Ris R.C., Holthuijsen L.H. A third-generation wave model for coastal regions. Part 1. Model description and validation // *J. Geoph. Res.* – 1999. – Vol. 140, No. C4. – P. 7649–7666.
4. Bowlby M. R., Case J. F. Ultrastructure and neuronal control of luminous cells in the copepod *Gaussia princeps* // *The Biological Bulletin*. – 1991. – Т. 180. – №. 3. – С. 440-446.
5. Campbell A. K., Herring P. J. Imidazolopyrazine bioluminescence in copepods and other marine organisms // *Marine Biology*. – 1990. – Т. 104. – С. 219-225.
6. Francis W. R. et al. Occurrence of isopenicillin-N-synthase homologs in bioluminescent ctenophores and implications for coelenterazine biosynthesis // *PLoS One*. – 2015. – Т. 10. – №. 6. – С. e0128742.
7. Haddock S. H. D., Moline M. A., Case J. F. Bioluminescence in the sea // *Annual review of marine science*. – 2010. – Т. 2. – С. 443-493. 43.

8. Haddock S. H. D., Rivers T. J., Robison B. H. Can coelenterates make coelenterazine? Dietary requirement for luciferin in cnidarian bioluminescence // Proceedings of the National Academy of Sciences. – 2001. – T. 98. – №. 20. – C. 11148-11151.
9. Oba Y. et al. Biosynthesis of coelenterazine in the deep-sea copepod, *Metridia pacifica* // Biochemical and biophysical research communications. – 2009. – T. 390. – №. 3. – C. 684-688.
10. Shimomura O., Yampolsky I., Bioluminescence: chemical principles and methods. – World Scientific, 2019.
11. Takenaka Y. et al. Evolution of bioluminescence in marine planktonic copepods // Molecular biology and evolution. – 2012. – T. 29. – №. 6. – C. 1669-1681.
12. Tessler M. et al. Luciferin production and luciferase transcription in the bioluminescent copepod *Metridia lucens* // PeerJ. – 2018. – T. 6. – C. e5506.

УДК 574.583

Рубрика 34.35.33

ТРОФИЧЕСКАЯ ЭКОЛОГИЯ ДВУХ МАССОВЫХ ВИДОВ ЩЕТИНКОЧЕЛЮСТНЫХ (*PARASAGITTA ELEGANS* И *EUKROHNNIA HAMATA*) В ЗООПЛАНКТОННЫХ СООБЩЕСТВАХ АРКТИКИ

TROPHIC ECOLOGY OF THE TWO COMMON SPECIES OF ARROW WORMS (*PARASAGITTA ELEGANS* AND *EUKROHNNIA HAMATA*) IN ZOOPLANKTON COMMUNITIES OF THE ARCTIC

**Артемьев Глеб Максимович<sup>1,2</sup>, Юрикова Дарья Андреевна<sup>2,3</sup>, Коновалова Ольга Петровна<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань

<sup>2</sup> Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН, Москва

<sup>3</sup> Центр морских исследований МГУ им. Ломоносова, Москва

**Artemev Gleb Maksimovich<sup>1,2</sup>, Yurikova Darya Andreevna<sup>2,3</sup>, Konovalova Olga Petrovna<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Kazan (Volga region) Federal University, Kazan

<sup>2</sup> Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow

<sup>3</sup> Lomonosov Moscow State University Marine Research Center, Moscow

## Введение

Щетинкочелюстные (Chaetognatha), или морские стрелки, считаются одними из главных хищников в морских зоопланктонных сообществах (Feigenbaum, Maris 1984). Среди представителей этой группы два вида являются массовыми в Арктическом регионе – это *Parasagitta elegans*, населяющая шельфовые области, и *Eukrohnia hamata*, преобладающая на склоне и в глубоководных районах. Существенные различия в трофической экологии этих видов ранее были отмечены некоторыми исследователями (Sullivan 1980; Grigor et al. 2020), причем в отношении *E. hamata* недавно были высказаны предположения о более всеядной диете, включающей детрит и диатомей (Grigor et al. 2020). В настоящей работе нами был собран материал для анализа стабильных изотопов углерода ( $\delta^{13}\text{C}$ ) и азота ( $\delta^{15}\text{N}$ ) у обоих видов, который позволит впервые построить изотопные модели их трофических ниш в арктических экосистемах.

## Материалы и методы

Сбор материала проходил в ходе рейса НИС «Дальние Зеленцы» в акваториях Карского и Баренцева морей в сентябре 2023 года. Зоопланктон собирали с помощью серий тотальных ловов сетью Джели (диаметр входного отверстия 37 см, диаметр ячеи 180 мкм). Пробы были отобраны с 7 станций, расположенных в диапазоне глубин от 59 до 547 м (Рис. 1). Для каждой станции имеются подробные гидрофизические данные, полученные с помощью STD-зонда.

На станциях № 50 и 59 также были сделаны прижизненные фотографии морских стрелок и их пищевых объектов с использованием цифровой видеокамеры.

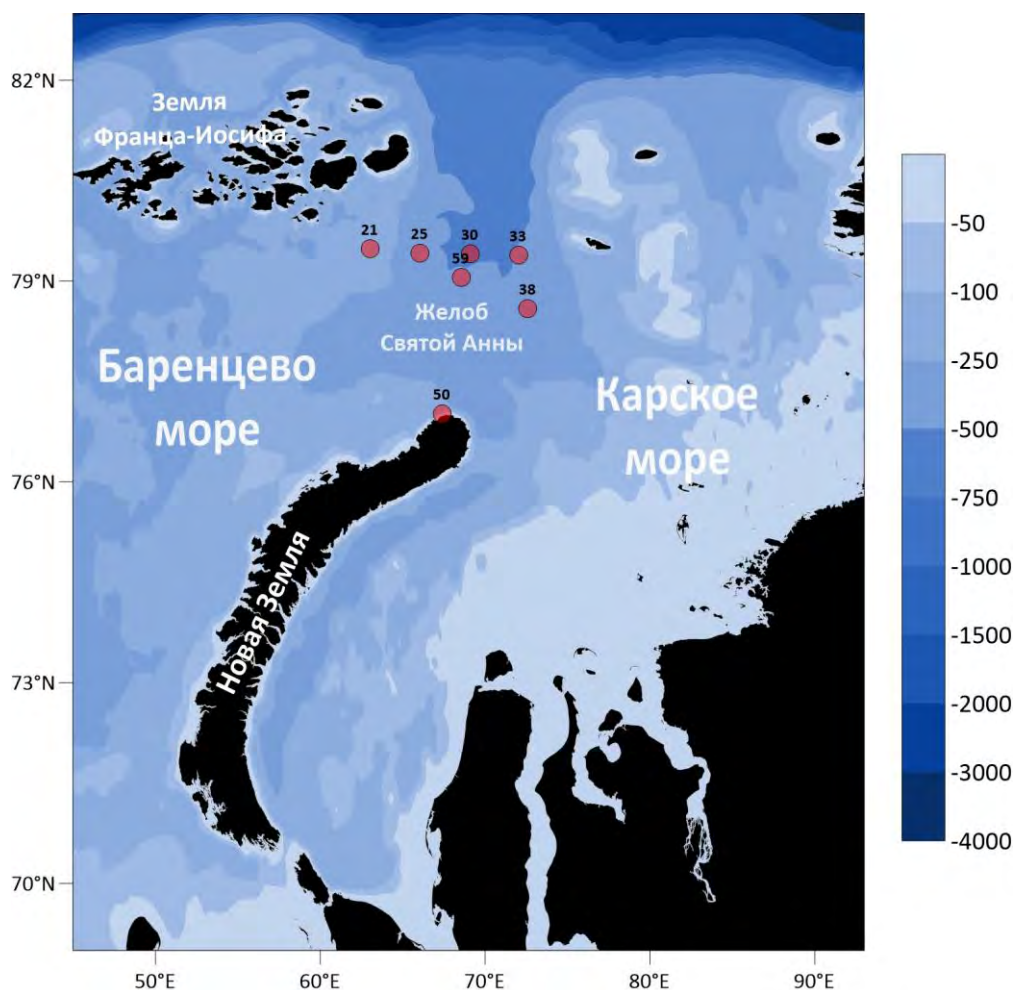


Рис. 1. Карта станций сбора материала для изотопного анализа

Разбор проб проводили непосредственно на борту судна с использованием бинокулярного микроскопа Olympus. Определение разных групп зоопланктона осуществлялось с использованием актуальных источников (Vidal, 1971; Сиренко, 2009). Для целей изотопного анализа живые экземпляры морских стрелок без видимых остатков еды в кишечнике были выбраны из общей массы зоопланктона, после чего производилась их видовая идентификация, определение стадий зрелости и замер длины тела. Далее стрелки были промыты в фильтрованной морской воде и индивидуально помещены в эппендорфы, после чего заморожены при  $-20^{\circ}\text{C}$ . Кроме морских стрелок, были дополнительно отобраны ключевые представители зоопланктонного сообщества для исследования трофических связей в пелагической пищевой сети (Рис. 2). Они также были промыты в фильтрованной морской воде либо в дистилляте, после чего, в зависимости от размеров, индивидуально, либо группой помещены в эппендорфы и заморожены.



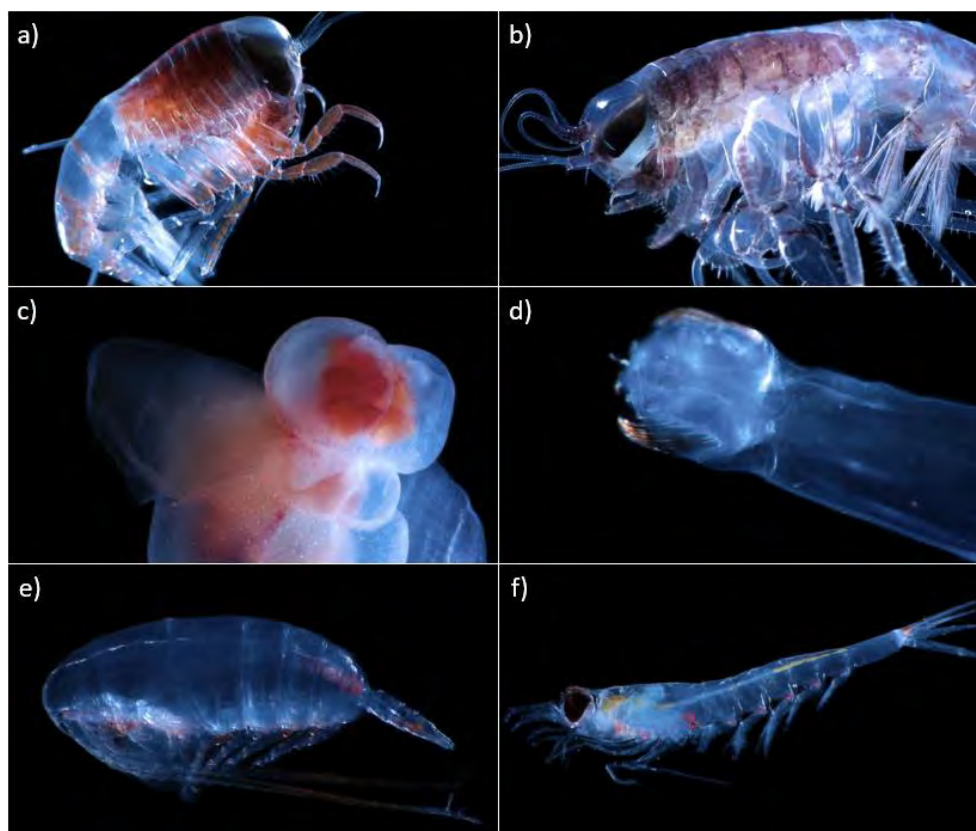


Рис. 2. Некоторые представители зоопланктона, отобранные для изотопного анализа: а – *Themisto abyssorum*; б – *Themisto libellula*; в – *Clione limacina*; д – *Pseudosagitta maxima*; е – *Calanus finmarchicus/glacialis*; ф – *Thysanoessa longicaudata*

## Результаты

В общей сложности нами были отобраны представители трех видов щетинкочелюстных: *Parasagitta elegans* ( $n = 58$ ), *Eukrohnia hamata* ( $n = 134$ ) и *Pseudosagitta maxima* ( $n = 3$ ). Большинство из них были незрелыми, только у некоторых экземпляров *E. hamata* были встречены более продвинутые стадии развития половой системы (III – VII стадии по Kosobokova и Norcroft 2020). Из числа прочего зоопланктона были отобраны *Calanus finmarchicus/glacialis* ( $n = 28$ ), *C. hyperboreus* ( $n = 10$ ), *Metridia longa* ( $n = 27$ ), *Paraeuchaeta glacialis/norvegica* ( $n = 8$ ), *Thysanoessa inermis* ( $n = 2$ ), *T. longicaudata* ( $n = 6$ ), *Themisto abyssorum* ( $n = 7$ ), *T. libellula* ( $n = 7$ ), *Aglantha digitale* ( $n = 3$ ), *Aeginopsis laurenti* ( $n = 1$ ), *Euphysa flammea* ( $n = 2$ ), *Sarsia princeps* ( $n = 1$ ), *Clione limacina* ( $n = 2$ ), *Limacina helicina* ( $n = 2$ ).

В ходе обработки живого материала часто встречались морские стрелки со следами пищи в кишечнике; некоторые из них были запечатлены на фотографиях (Рис. 3, 4). По нашим наблюдениям, наиболее часто встречающимися пищевыми объектами в кишечниках стрелок были массовые виды копепод (*Calanus* spp., *Metridia longa*). Кроме них, встречались также аппендикулярии (*Oikopleura* spp.), а у одного из видов стрелок (*Eukrohnia hamata*) был отмечен каннибализм.



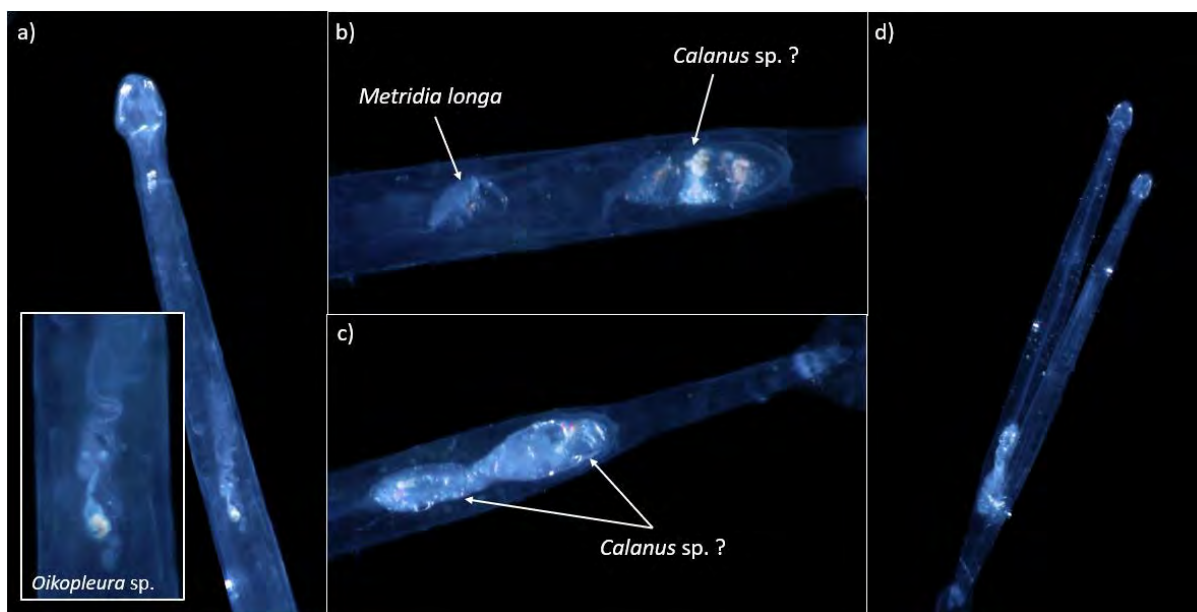


Рис. 3. Содержимое кишечника *Parasagitta elegans* (станция № 50). Аппендикулярия *Oikopleura* sp. была обнаружена в средней части кишечника (a); непереваренные остатки, похожие на копепод *Calanus* spp. и *Metridia longa*, находятся в задней части (b,c,d), т. е. были проглочены еще до момента вылова

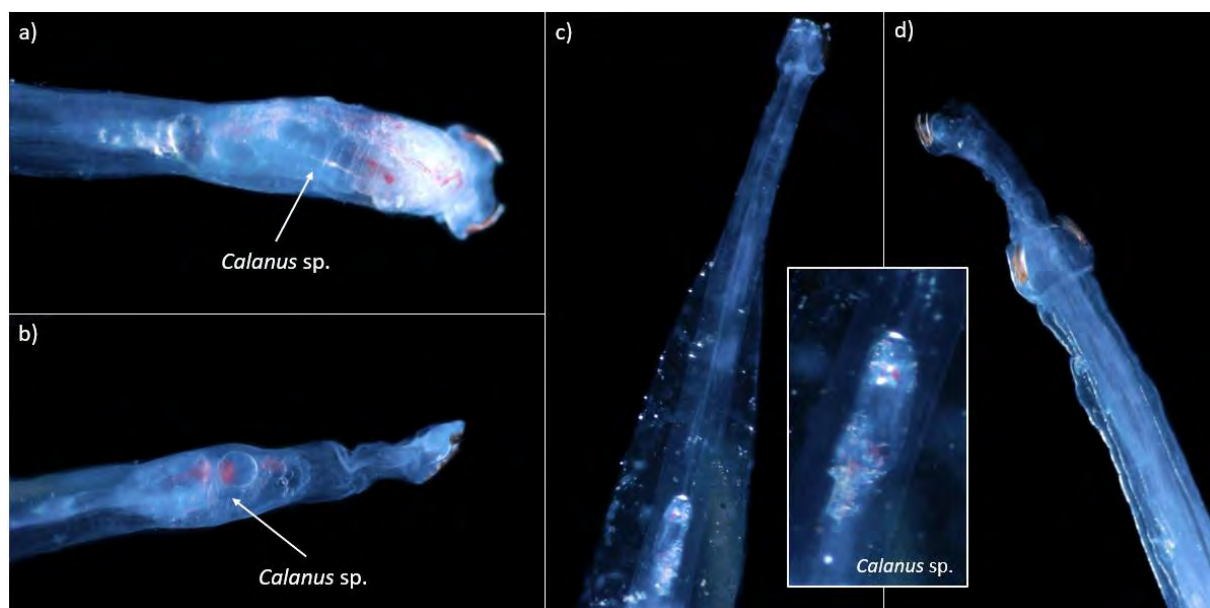


Рис. 4. Содержимое кишечника *Eukrohnia hamata* (станция № 59). Копеподы *Calanus* spp. находятся в передней (a,b) и средней (c) частях кишечника, что указывает на их недавнее проглатывание уже после момента вылова; отмечен также каннибализм (d)

## Выводы

Два вида щетинкочелюстных являются многочисленными в исследуемом районе – это преимущественно эпипелагическая *Parasagitta elegans* и эврибатная *Eukrohnia hamata*. В ходе экспедиции мы встретили достаточно большое количество морских стрелок с остатками пищи

в кишечнике, однако во многих случаях пищевые объекты были съедены уже после вылова. Подобные наблюдения не отражают реальный состав диеты стрелок в естественных условиях и не могут быть точно интерпретированы (Baier, Purcell 1997). Тем не менее, изотопный анализ предоставляет нам дополнительную возможность для изучения питания щетинкочелюстных. По результатам сборов в данной экспедиции, мы планируем построить изотопные модели трофических ниш *P. elegans* и *E. hamata*, чтобы: 1) определить их положение в пищевой цепи относительно других групп зоопланктона; 2) оценить вклад разных пищевых объектов в их рацион; 3) оценить степень перекрытия ниш между двумя видами. Все это позволит более точно определить роль этих животных в пелагических экосистемах Арктики.

### Благодарности

Авторы выражают искреннюю благодарность членам экипажа НИС “Дальние Зеленцы” и начальнику экспедиции А. А. Осадчиеву. Кроме того, мы очень признательны К.Н. Кособоковой и А.К. Залоте (ИО РАН, Москва) за ценные советы в ходе планирования и выполнения исследований.

### Финансирование

Работа выполнена в рамках научно-образовательной программы «Плавучий университет» (соглашение № 075-01593-23-06), обработка материала осуществлялась при поддержке РФФИ (грант № 23-17-00121).

### Список литературы:

1. Feigenbaum D. L., Maris R. C. Feeding in the Chaetognatha // *Oceanogr Mar Biol Annu Rev.* – 1984. – Vol. 22. – P. 343-392.
2. Sullivan B. K. In situ feeding behavior of *Sagitta elegans* and *Eukrohnia hamata* (Chaetognatha) in relation to the vertical distribution and abundance of prey at Ocean Station “P” // *Limnology and Oceanography.* – 1980. – Vol. 25. – №. 2. – P. 317-326.
3. Grigor J. J. et al. Non-carnivorous feeding in Arctic chaetognaths // *Progress in Oceanography.* – 2020. – Vol. 186. – P. 102388.
4. Vidal J. Taxonomic guides to Arctic zooplankton (IV): Key to the calanoid copepods of the Central Arctic Ocean. – University of Southern California, Department of biological sciences, 1971. – P. 1-120.
5. Сиренко Б. И. (ред.). Иллюстрированные определители свободноживущих беспозвоночных евразийских морей и прилежащих глубоководных частей Арктики. – Товарищество научных изданий, Москва–Санкт-Петербург, 2009. – Т. 1.
6. Kosobokova K. N., Hopcroft R. R. Population structure, vertical distribution and fecundity of *Eukrohnia hamata* (Chaetognatha) in the Arctic Ocean during summer // *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers.* – 2021. – Vol. 169. – P. 103454.
7. Baier C. T., Purcell J. E. Effects of sampling and preservation on apparent feeding by chaetognaths // *Marine Ecology Progress Series.* – 1997. – P. 37-42.

УДК 574

Рубрика 34.27.23

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ БАКТЕРИОПЛАНКТОНА В РАЗЛИЧНЫХ ВОДНЫХ МАССАХ  
ЖЕЛОБА СВЯТОЙ АННЫ

DISTRIBUTION OF BACTERIOPLANCTON IN VARIOUS WATER MASSES OF THE ST.  
ANNA THROUGH

**Папа-Дмитриева Юлия Александровна<sup>1</sup>, Коновалова Ольга Петровна<sup>2</sup>, Юрикова  
Дарья Андреевна<sup>2,3</sup>**

<sup>1</sup> *Московский физико-технический институт (МФТИ)*

<sup>2</sup> *ООО «Центр морских исследований МГУ им. М.В. Ломоносова» (ООО «ЦМИ МГУ»)*

<sup>3</sup> *Институт океанологии им. П.П. Ширшова (ИО РАН)*

**Para-Dmitrieva Iuliia Alexandrovna<sup>1</sup>, Konovalova Olga Petrovna<sup>2</sup>, Yurikova Daria  
Andreevna<sup>2,3</sup>**

<sup>1</sup> *Moscow Institute of Physics and Technology, Moscow*

<sup>2</sup> *Marine research center of Lomonosov Moscow State University LLC, Moscow*

<sup>3</sup> *Shirshov Institute of Oceanology, Moscow*

## **Введение**

Определение и мониторинг биоразнообразия бактериопланктона океана является важной задачей для понимания структуры биоразнообразия и трендов глобального изменения климата.

Ранее в статье *Vipindas et al. (2023)* было показано, что микробиотный состав поверхностного перемешанного слоя (0 м), Атлантических вод (400-500 м) и глубоких Арктических вод (280-3440 м) различен. С уровня поверхностных вод в воды слоя максимума хлорофилла переносится 21% от видового разнообразия, в глубокие арктические воды из Атлантических вод попадает 37%. В придонных водах уникальные таксоны составили более 50%. Это свидетельствует о распределении уникальных видов бактериопланктона по глубинам и делает воды разного происхождения одним из важнейших факторов, влияющих на бактериальное биоразнообразие океана. Также было показано, что филогенетическое разнообразие бактериальных сообществ увеличивалось с ростом глубин и достигло максимума в придонных водных массах.

Эти данные согласуются с результатами, полученными командой *Wilson et al. (2017)*, хотя целью последних также было определить, меняется ли биоразнообразие бактериопланктона в течение года. Они показали статистически значимые различия разнообразия между зимними и летними месяцами, что было явно отражено в изменении распространения *Gammaproteobacteria* и *Thaumarcheota*.

Целью данной работы стало исследование распределение видового разнообразия и количественных характеристик бактериопланктона различных водных масс желоба Святой Анны в сентябре 2023 г.

Нами были поставлены следующие задачи: определение горизонтов по данным термохалинных кривых, пробоотбор с выбранных глубин на каждом горизонте батометром Нискина (5 литров), фильтрация отобранных проб воды в течение первых суток после отбора на установке с использованием фильтров Sterivex для метабаркодинга локуса гена *16S* рРНК.

В желобе Святой Анны выделяют Баренцевоморскую и Фрамовскую атлантические водные массы. Они обе приходят из Атлантики и имеют общий участок, однако после разделения у Баренцева моря Баренцевоморская ветвь остывает и уходит глубже. В акватории желоба они хорошо различимы на профиле, так как температуры обеих водных масс выше арктических вод и расположены они на различных глубинах. На профиле разреза это можно заметить по двум тёплым ядрам: Фрамовской водной массы - на глубине ниже 50 метров, и более холодному и глубокому ядру Баренцевоморской водной массы.

## Результаты

Экспедиция проводилась на НИС “Дальние Зеленцы” в сентябре 2023 года.

Для определения горизонтов проводилось CTD-зондирование с помощью профилографа AML-3 LGR, который определял профиль температуры и солёности. Мы выделяли горизонты в зависимости от конкретного распределения вод на каждой станции, но преимущественно отделяли поверхностные воды (0 м), холодный термоклин (50 м), тёплые Атлантические воды (100-300 м) и придонные Баренцевоморские воды (450-550 м).

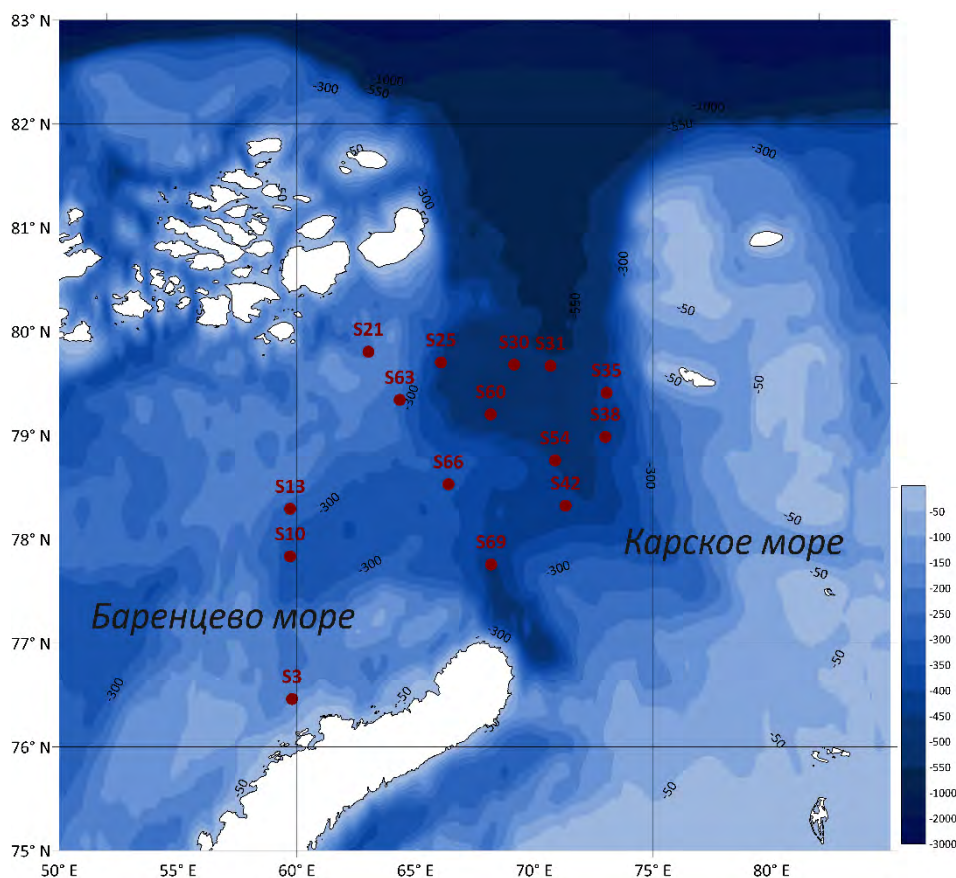


Рис. 1. - Карта расположения станций отбора проб воды в сентябре 2023 года

Данные были собраны на 15 станциях 4 разрезов в акватории желоба Святой Анны (Рис. 1). Пробы отбирались с помощью батометра Нискина (4 повторности по 1 литру на каждом

горизонте). Всего было отобрано 260 проб. Затем в течение суток, с использованием фильтров Sterivex, пробы профильтровывали для консервации бактериальной ДНК. Хранение и транспортировка образцов осуществлялось при  $-20^{\circ}\text{C}$ . Выделение ДНК, ПЦР и секвенирование будет проводиться в лаборатории Сколтех. Участком для амплификации и дальнейшего метабаркодинга выступит гипервариабельный регион V3-V4 16S рРНК.

### **Выводы**

Мы ожидаем обнаружить зависимость распределение таксономического разнообразия в разных водных массах.

### **Финансирование**

Работа выполнена в рамках научно-образовательной программы «Плавучий университет» (соглашение № 075-01593-23-06).

### **Благодарность**

Авторы выражают благодарность руководителю экспедиции д.ф.-м. н. Александру Александровичу Осадчиеву, а также команде НИС «Дальние Зеленцы».

### **Список литературы**

1. Vipindas, P.V., Venkatachalam, S., Jabir, T. et al. Water Mass Controlled Vertical Stratification of Bacterial and Archaeal Communities in the Western Arctic Ocean During Summer Sea-Ice Melting // *Microb Ecol.* - 2023. - No. 85. - P. 1150–1163.
2. Wilson B, Müller O, Nordmann E-L, Seuthe L, Bratbak G and Øvreås L. Changes in Marine Prokaryote Composition with Season and Depth Over an Arctic Polar Year. // *Front. Mar. Sci.* - Vol. 4, No. 95. - 2017.



УДК 593.9

Рубрика 34.33.15

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ИГЛОКОЖИХ ЮГО-ВОСТОЧНОГО И ЮГО-ЗАПАДНОГО ПОБЕРЕЖЬЯ КАМЧАТКИ, СОБРАННЫХ В РЕЙСЕ ТИХООКЕАНСКОГО ПЛАВУЧЕГО УНИВЕРСИТЕТА 2023

DISTRIBUTION OF ECHINODERMATA COLLECTED ALONG THE SOUTHEASTERN AND SOUTHWESTERN COASTS OF KAMCHATKA DURING THE PACIFIC FLOATING UNIVERSITY EXPEDITION 2023

**Волкова Анастасия Леонидовна<sup>1,2</sup>, Рутенко Олеся Александровна<sup>1,2</sup>, Даутова Татьяна Николаевна<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Дальневосточный федеральный университет (ДФУ), г. Владивосток

<sup>2</sup> Национальный научный центр морской биологии им. А. В. Жирмунского Дальневосточного отделения Российской академии наук (ННЦМБ ДВО РАН), г. Владивосток

**Volkova Anastasia Leonidovna<sup>1,2</sup>, Rutenko Olesya Alexandrovna<sup>1,2</sup>, Dautova Tatyana Nikolaevna<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Far Eastern Federal University, Vladivostok

<sup>2</sup> A.V. Zhirmunsky National Scientific Center of Marine Biology of Far Eastern Branch Russian Academy of Science, Vladivostok

## Введение

Изучение иглокожих имеет важное значение для понимания многих процессов, протекающих в экосистемах Мирового океана. Данный тип беспозвоночных животных обладает рядом интересных для человека свойств. Широко известна способность иглокожих к регенерации, также они обладают адаптивными механизмами к растущему уровню кислотности океана, а их метаболиты часто оказываются эффективными фармакологическими противоопухолевыми средствами. Иглокожие являются важнейшей частью трофических цепей, в частности кормом для промысловых видов рыб и крабов, в то же время многие представители этого типа признаны индикаторами уязвимости морских экосистем (УМЭ). Представители типа Echinodermata важны для науки и как модельные объекты для изучения эволюционных процессов [Arnone et al., 2015; Matranga, 2005; Cobb, 1987].

По данным за 2014 год, на юго-востоке Камчатки массово встречались представители трех классов иглокожих: Holothuroidea, Echinoidea и Ophiuroidea. На глубинах до 100 метров преобладали плоские (семейство Scutellidae, средняя численность 280 экз./м<sup>2</sup>) и правильные (семейство Strongylocentrotidae) морские ежи, их численность могла составлять 60-68% всего зообентоса. Также отмечалась высокие показатели биомассы для голотурий до 25,5 г/м<sup>2</sup>. На глубинах выше 150 м начинали доминировать офиуры, их численность достигала до 346 экз./м<sup>2</sup> [Данилин, 2014]. Вредоносное цветение воды (ВЦВ) или «красные приливы» привели к массовой гибели гидробионтов на побережье Камчатки в сентябре-октябре 2020 г, в том числе оказали значительное влияние на снижение численности иглокожих. По оценке на 2022 год число видов морских звезд сократилось вдвое и многократно сократилась их численность, ранее часто встречающиеся виды теперь обнаруживаются в единичных экземплярах. Также значительно сократилась численность офиур, морских ежей и голотурий, хотя по более



ранним данным, до массовой вегетации одноклеточных водорослей в 2020 году, численность представителей всех классов иглокожих была гораздо выше нынешних показателей [Санамян и др., 2023].

По данным предыдущих исследований морские ежи составляли основу бентосных сообществ юго-западного шельфа Камчатки [Кобликов и др., 1990]. Тип Echinodermata в данном районе, в отличие от тихоокеанского побережья Камчатки представлен четырьмя классами, а именно Echinoidea, Holothuroidea, Asteroidea и Ophiuroidea. В 2004 году, в районе юго-западного Камчатского шельфа, данные ТИНРО также показали преобладание морских ежей ( $128.85 \pm 40.89$  г/м<sup>2</sup>), значительно меньше было офиур ( $5.859 \pm 2.94$  г/м<sup>2</sup>), голотурий ( $6.33 \pm 3.87$  г/м<sup>2</sup>) и морских звезд ( $4.24 \pm 4.24$  г/м<sup>2</sup>) [Надточий и др., 2007]. В среднем, численность иглокожих составила  $177.92 \pm 50.74$  экз./м<sup>2</sup>. Средняя численность морских ежей составила  $29.70 \pm 12.08$  экз./м<sup>2</sup>, офиур  $143.25 \pm 37.02$  экз./м<sup>2</sup>, голотурии и морские звезды встречались гораздо реже  $4.07 \pm 1.14$  экз./м<sup>2</sup> и  $0.88 \pm 0.50$  экз./м<sup>2</sup> соответственно. В прошлом, массовость иглокожих составляла до 28.1%, но данные по юго-западу Камчатки ограничены и требуют дополнительного исследования [Архипова, 2014].

## Материалы и методы

Отбор проб проводился в августе-сентябре 2023 г. в рамках экспедиции «Тихоокеанский Плавающий университет 2023» на борту НИС «Профессор Мультиановский» Росгидромет на 93 станциях в интервале глубин от 20 до 800 м. Сетка станций охватывала юго-восточное и юго-западное побережье п-ва Камчатка.

Сбор проб макрозообентоса проводился коробчатым пробоотборником Vox Corer (0.1 м<sup>2</sup>). На каждой станции отбирали по 2-3 пробы, промывали через систему сит с минимальным диаметром ячеей 1 мм по стандартным методикам [Абакумова, 1983]. Всего было получено 186 проб иглокожих на 58 станциях (рис. 1). Таксономическое определение проводилось согласно Дьяконову [Дьяконов, 1949], также была подсчитана численность организмов. В качестве фиксирующей жидкости использовался 70-% спирт. Фиксация проб для молекулярно-генетического анализа осуществлялась 95-% спиртом, далее материал хранился при -20°C.

Статистические расчёты проводились в программе Statistica 12. Карта с указанием станций создана с использованием программы Ocean Data View v. 5 [Schlitzer, 2018].

## Результаты

В ходе экспедиции были получены образцы четырех классов типа Иглокожие: офиуры (Ophiuroidea, змеехвостки), морские ежи (Echinoidea), голотурии (Holothuroidea) и морские звезды (Asteroidea). Средняя численность иглокожих на юго-восточном побережье Камчатки составила  $32,95 \pm 7,18$  экз./м<sup>2</sup>, на юго-западном побережье численность выше более чем в 3 раза и составляет  $108,45 \pm 33,28$  экз./м<sup>2</sup> (таблица 1). Максимальная численность иглокожих отмечена в исследуемом районе Охотского моря ( $1515$  экз./м<sup>2</sup>) на глубине 620 м. Численность иглокожих на юге западно-камчатского побережья превосходит значение этого показателя в юго-восточной части (таблица 1).

Самой многочисленной группой иглокожих в обоих районах исследования стали офиуры. Максимальное значение численности семейства Amphipuridae отмечено на глубине 80 м (таблица 2) с илистым типом грунта в заливе Камбальный ( $106$  экз./м<sup>2</sup>), для семейства Ophioperididae значение аналогичного показателя составило  $1480$  экз./м<sup>2</sup> в Охотском море на глубине 620 м на иле. Для юго-восточного побережья максимальные показатели численности

составили 13 экз./м<sup>2</sup> (семейство Amphiridae, глубина 342-450 м, ил) и 167 экз./м<sup>2</sup> (семейство Ophiolopidae, глубина 145 м, заиленный песок).

Второй крупной группой иглокожих стали морские ежи. Максимальные показатели численности (таблица 2) на юго-восточном побережье Камчатки для трех идентифицированных семейств составили 93 экз./м<sup>2</sup> (семейство Strongylocentrotidae, глубина 105 м, песок глинистый с гравием и галькой), 106 экз./м<sup>2</sup> (семейство Scutellidae, глубина 55 м, песок заиленный с ракушей), а максимальная численность семейства Hemiasteridae составила 7 экз./м<sup>2</sup> на глубинах 450-575 м и 29,8 м на илистых грунтах. На юго-западном побережье не было обнаружено представителей семейства Strongylocentrotidae, но для двух других семейств максимальная численность составила 116 экз./м<sup>2</sup> на глубине 42 м на песке (семейство Scutellidae) и 196 экз./м<sup>2</sup> на глубине 546 м на илистом песке (семейство Hemiasteridae).

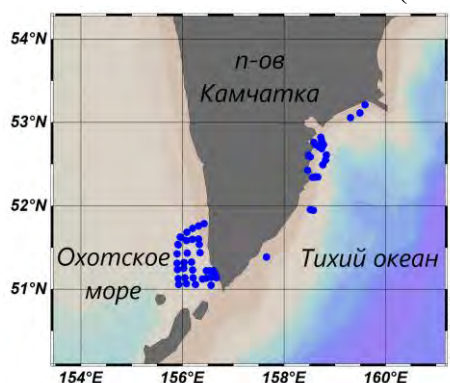


Рис.1. Схема расположения станций, где были обнаружены представители типа Иглокожие

Таблица 1. Средняя численность представителей иглокожих на юго-восточном и юго-западном побережье камчатки

Систематическая принадлежность	Средняя численность, экз./м <sup>2</sup>	
	Юго-восточное побережье	Юго-западное побережье
Ophiuroidea	37,27±15,06	153,88±56,99
Echinoidea	32,85±8,42	50,71±10,35
Holothurioidea	16,67±3,33	0,19±0,2
Asteroidea	-	0,19±0,2
Echinodermata	32,95±7,18	108,45±33,28

Таблица 2. Показатели максимальной численности для классов Ophiuroidea и Echinoidea для юго-восточного и юго-западного побережья Камчатки с указанием соответствующих глубин

Систематическая принадлежность		Максимальная численность			
Класс	Семейство	Юго-восточное побережье		Юго-западное побережье	
		Численность, экз./м <sup>2</sup>	Глубина, м	Численность, экз./м <sup>2</sup>	Глубина, м
Ophiuroidea	Amphiridae	13	342-450	106	80
	Ophiolopidae	167	167	1480	620
Echinoidea	Strongylocentrotidae	93	105	-	-
	Scutellidae	106	55	116	42
	Hemiasteridae	7	450-575	196	546

			29,8		
--	--	--	------	--	--

Представители класса Holothurioidea в большинстве были найдены на юго-восточном побережье на глубинах 450-800 м на илисто-песчаных грунтах (семейства Molpadidae и Cucumariidae), тогда как на юго-западной части побережья обнаружены только на одной станции на глубине 33 м на песчаном грунте (семейство Cucumariidae).

Представители семейства Asteroidea (класс Asterozoa) обнаружены на юго-западном побережье Камчатки на глубине 50 м (грунт илисто-песчаный).

### **Заключение**

Полученные данные отражают общую статистику по численности иглокожих в районах проведения исследования, а также подтверждают снижение численности бентосной фауны на юго-восточном побережье Камчатки после вредоносного цветения водорослей в 2020 году. Получены данные по малоизученным районам юго-восточного побережья п-ва Камчатка, прилегающим районам Тихого океана и Охотскому морю, в том числе на глубинах свыше 300 м. Дальнейшая работа с полученным в экспедиции материалом будет нацелена на более глубокий видовой таксономический анализ представителей всех семейств и на проведение молекулярно-генетических исследований.

### **Финансирование**

Работа выполнена в рамках научно-образовательной программы «Плавучий университет» (соглашение № 075-01593-23-06). Представленное исследование выполнено при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, проект FZNS-2023-0020 «Оценка экологической безопасности речных и прибрежных водных экосистем Камчатского края».

The research was performed within the framework of the scientific and educational program Floating University (research project № 075-01593-23-06). The reported study was funded by Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, project number FZNS-2023-0020 «Assessment of ecological safety of river and coastal aquatic ecosystems of the Kamchatka region».

### **Список литературы**

1. Абакумова В. А. Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений. Л.: Гидрометеиздат, 1983. - 240 с.
2. Архипова Е. А. Иглокожие (Echinodermata) мелководной части западнокамчатского шельфа охотского моря // Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей. – 2014. – С. 183-185.
3. Данилин Д. Д. Данные о распределении макрозообентоса на шельфе и в верхней части склона юго-восточной Камчатки в летний период 2014 г // Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей. – 2014. – С. 186-189.
4. Дьяконов А. М. Определитель иглокожих дальневосточных морей (Берингова, Охотского и Японского) // Изв. ТИНРО. – 1949. – Т. 30. – С. 130.

5. Кобликов В. Н., Павлючков В. А., Надточий В. А. Бентос континентального шельфа Охотского моря: состав, распределение, запасы //Изв. ТИНРО. – 1990. – Т. 111. – С. 27-38.
6. Надточий В. А., Будникова Л. Л., Безруков Р. Г. Некоторые результаты бонитировки бентоса в российских водах дальневосточных морей: состав и количественное распределение (Охотское море) //Известия ТИНРО (Тихоокеанского научно-исследовательского рыбохозяйственного центра). – 2007. – Т. 149. – С. 310-337.
7. Санамян Н. П., Коробок А. В., Санамян К. Э. Качественная оценка последствий влияния вредоносного цветения водорослей осенью 2020 года у побережья юго-восточной Камчатки (северо-западная пацифика) на мелководные бентосные сообщества //Вестник Камчатского государственного технического университета. – 2023. – №. 63. – С. 22-44.
8. Arnone M. I., Byrne M., Martinez P. Echinodermata //Evolutionary developmental biology of invertebrates 6: Deuterostomia. – 2015. – P. 1-58.
9. Cobb J. L. S. Neurobiology of the Echinodermata //Nervous systems in invertebrates. – Boston, MA: Springer US, 1987. – P. 483-525.
10. Matranga V. Echinodermata. – Springer Science & Business Media, 2005. – Т. 39.
11. Schlitzer, R., Ocean Data View, <https://odv.awi.de>, 2018

УДК 556.115

Рубрика 34.27.23

МИКРОБИОЛОГИЧЕСКАЯ ИЗУЧЕННОСТЬ ОХОТСКОГО МОРЯ И СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ТИХОГО ОКЕАНА, ПРИЛЕГАЮЩЕЙ К ПОБЕРЕЖЬЮ КАМЧАТКИ

MICROBIOLOGICAL BIODIVERSITY OF THE SEA OF OKHOTSK AND THE NORTH-WESTERN PART OF THE PACIFIC OCEAN NEAR THE COAST OF KAMCHATKA

**Хокканен София Николаевна<sup>1,2</sup>, Пономарева Анна Леонидовна<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Дальневосточный федеральный университет, Владивосток*

<sup>2</sup> *ТОИ ДВО РАН, Владивосток*

**Khokkanen Sophia Nikolaevna<sup>1,2</sup>, Ponomareva Anna Leonidovna<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Far Eastern Federal University, Vladivostok*

<sup>2</sup> *POI FEB RAS, Vladivostok*

## **Введение**

В последние годы все больше внимания уделяется Дальневосточному региону и, в частности, полуострову Камчатка. Это перспективный регион с богатым рыбопромысловым и нефтегазоносным потенциалом [Керимов, 2015]. В районах нефтегазовых залежей часто развиваются уникальные сообщества микроорганизмов с высокими адаптационным потенциалом и способностью к ферментации большого разнообразия субстратов, которые могут быть пригодны в качестве основного компонента в создании биоремедиационных препаратов. Также состав микробиома той или иной акватории позволяет оценить экологическое состояние водоема и предпринять меры по ликвидации загрязнения или сохранению качества вод. Ввиду этого крайне важно изучить микробные сообщества акваторий столь перспективного и природно-богатого региона, как Камчатский полуостров.

Целью данной работы является изучить по литературным данным микробные сообщества Охотского моря и северо-западной части Тихого океана, выявить их экологическую роль и биоиндикаторный потенциал для развития минерально-сырьевой базы региона.

## **Микробиологическая изученность Камчатки**

Наиболее исследованным районом восточного побережья Камчатки является Авачинская бухта. В 2001 г в бухте были исследованы м. Сероглазка, м. Култушный, м. Сигнальный, б. Раковая и п-ов Завойко (рис. 1) [Журавель и др., 2004 г]. При этом в исследовании использовался только поверхностный слой воды 0,4-1 м. По результатам этих мониторинговых работ установлено, что в Авачинской бухте присутствует хроническое нефтяное загрязнение (м. Сероглазка), а также загрязнение свинцом, медью и кадмием (обнаружены резистентные к этим металлам бактерии). В районе полуострова Завойко также присутствует хроническое загрязнение тяжелыми металлами (медь, свинец), предположительно из-за находящегося в том районе «кладбища кораблей». До этого, в 1999 году, также была проведена



микробиологическая съемка Авачинской бухты (рис. 1) [Димитрова и др., 2001]. В исследовании указывается на повышенное содержание в Авачинской бухте тяжелых металлов и радионуклидов (Co-60, Cs-137), а также сообщается о сильном загрязнении тяжелыми металлами (присутствие Zn, Cs, Pb – резистентные микроорганизмов в больших количествах) в б. Крашенинникова. В б. Чавыча обнаружены Zn- резистентные бактерии.

Также были более ранние исследования Авачинской бухты в 1993, 1995, 1996 г. Очевидно, исследование 1993 года было первым в серии исследований экологического состояния Авачинской бухты.

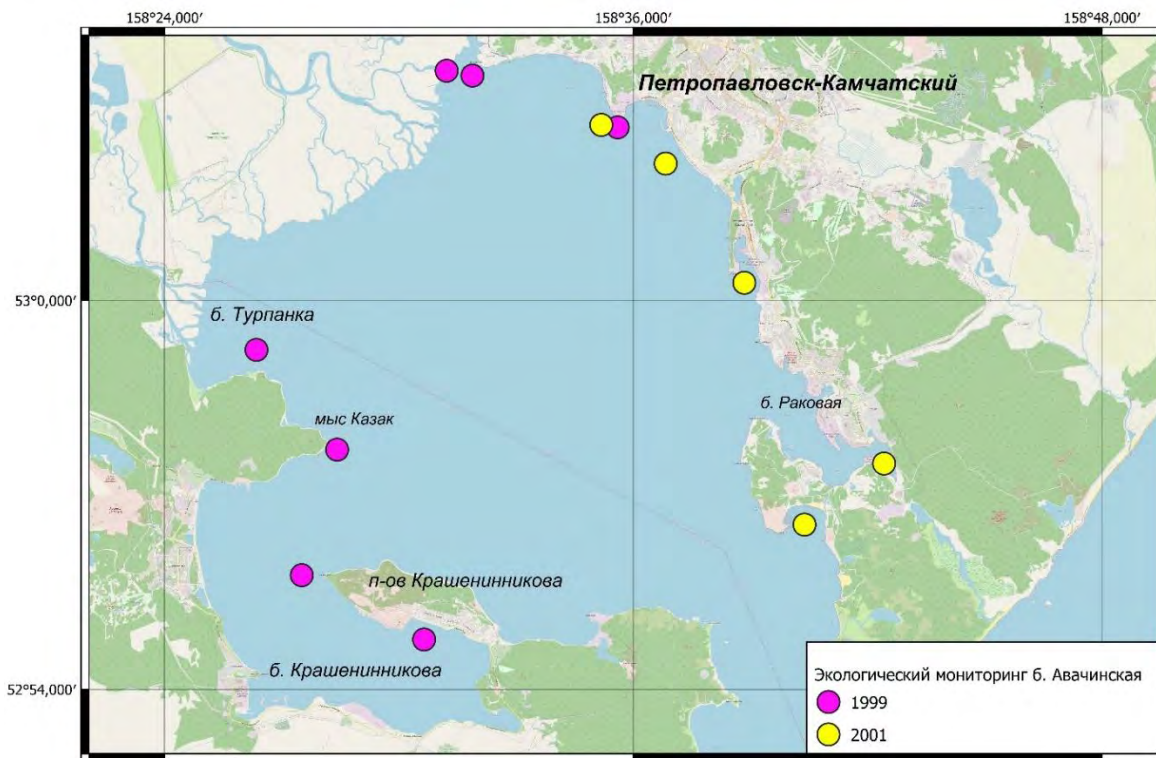


Рисунок 1. Исследование Авачинской бухты в 1999 и 2001 годах.

Юго-восточнее восточного побережья Камчатки располагается крупный Курильско-Камчатский желоб глубиной до 9500 м. В 2019 году он впервые был исследован на глубинах от 5146 до 9450м (рис. 2, рейс НИС «Сonne»). В донных отложениях желоба были обнаружены сообщества метан-окисляющих архей, а также углеводородокисляющие бактерии (далее – УВОМ) [Gorrasi S. et al, 2023]. Основными типами найденных бактерий являлись *Proteobacteria*, *Bacteroidetes*, *Actinobacteria*; родами – *Acinetobacter*, *Zhongshania*, *Colwellia*, *Shewanella*, *Streptococcus*, *Pseudomonas*, *Pelagicola* (бактерии расположены в порядке убывания встречаемости и обилия). Роды *Acinetobacter*, *Zhongshania*, *Colwellia* потенциально могут быть УВОМ. Также в незначительных количествах присутствовали УВОМ родов *Alcanivorax*, *Oleibacter* и *Oleispira* (см. таблицу 1).

Среди биоразнообразия архей чаще всего встречались типы: *Thaumarchaeota*, *Woesearchaeota*, *Euryarchaeota*, роды *Nitrosopumilus*, *Halococcus*, *Woesearchaeota*.

Также были определены экологические функции, выполняемые прокариотическими сообществами абиссали Камчатско-Курильской впадины (также см. таблицу 1):



Таблица 1. Основные индикаторные микроорганизмы северо-западной части Тихого океана, прилегающей к Камчатскому полуострову и юго-восточной части Охотского моря.

Род	Вид	Регион	Глубина, м	Экологическая роль
-	-	Авачинская бухта	До 26	Cu, Pb, Zn, Cs – резистентные (индикаторы)
<i>Methylomonas</i>	<i>M. methanica</i>	о. Парамушир	200-700	метанотрофы
<i>Methylobacter</i>	<i>M. capsulatus</i> , <i>M. vinelandii</i>			
<i>Methelobacter</i>	<i>M. chroococum</i>			тионовые бактерии
-	-			
<i>Acinetobacter</i>	-	Курильско-Камчатский желоб	5146 - 9450	потенциальные УВОМ
<i>Zhongshania</i>	-			
<i>Colwellia</i>	-			
<i>Alcanivorax</i>	-			УВОМ
<i>Oleibacter</i>	-			
<i>Oleispira</i>	-			
<i>Nitrosopumilus</i>	-			
<i>Halococcus</i>	-			археи
<i>Woesearchaeota</i>	-			
<i>Candidatus Scalindua</i>	<i>C.S. wagneri</i> , <i>C.S. pacifica</i> , <i>C.S. marina</i> , <i>C.S. sorokinii/brodae</i> , <i>C.S. arabica</i> , ' <i>novel C. Scalindua clade</i> '			система ХАОС, около о. Парамушир,
<i>Beggiatoa</i>	-			бактериальные маты
-	-	о. Атласова, вулкан Алайд	294-1660	сульфатредукторы, метанотрофы, УВОМ, окислители формиата
<i>Pseudoalteromonas</i>	<i>Ps. citrea</i> , <i>Ps. elyakovii</i> , <i>Ps. marina</i>	заливы Аннива, Мордвинова; Татарский пролив (о. Сахалин)	50-93	УВОМ
<i>Oceanisphaera</i>	<i>Oc. litoralis</i>			
<i>Cobetia</i>	-			
<i>Shewanella</i>	<i>Sh. arctica</i>			
<i>Pseudomonas</i>	<i>Ps. composti</i>			
<i>Marinomonas</i>	-			
<i>Thalassospira</i>	<i>Thal. lucentensis</i>			

- Сообщество бактерий являются хемогетеротрофами, производят деградацию ароматических соединений, ферментируют карбоновые соединения, встраиваясь в круговорот углерода, участвуют в денитрификации и круговороте серы;
- Сообщество архей также является хемогетеротрофами, участвуют в углеродном цикле, нитрификации и аммонификации (азотный цикл).

Других данных по микробным сообществам восточного побережья Камчатки до сегодняшнего дня не было опубликовано.

Охотское море более изучено, чем северо-западная часть Тихого океана и восточное побережье Камчатки. В 2006 году была совершена экспедиция к метановым сипам Охотского моря (система ХАОС, рисунок 2), рейс LV39 [Dang et al., 2010; Shao et al., 2014]. В рамках экспедиции проводилось исследование бактериальных сообществ метановых сипов Охотского моря. Были определены основные роды присутствующих там архей и бактерий. Основными микроорганизмами метановых сипов являются аммонифицирующие археи и бактерии, существующие в аноксигенных (анаэробных) или гипоксигенных условиях. В рамках данного исследования [Shao et al., 2014] были идентифицированы наиболее многочисленные виды бактерий-аммонификаторов метановых сипов: *Candidatus Scalindua wagneri*, *C. S. pacifica*, *C. S. marina*, *C. S. sorokinii/brodae*, *C. S. arabica*, и ранее идентифицированная ‘*novel C. Scalindua clade*’. Среди них самые часто встречающиеся виды: *C. S. sorokinii/brodae* и *C. S. marina*. Все они относятся к роду *Candidatus Scalindua* (порядок *Planctomycetes*) [Dang et al., 2010].

В другой работе по результатам той же экспедиции 2006 года, сообщается о бактериальных матах рода *Beggiatoa*, существующих в виде белого налета толщиной 10-15 см [Пестрикова, Обжиров, 2011].

В работах [Богатыренко и др., 2013, Бузолева и др., 2017] изучались микробные биоценозы прибрежных вод острова Сахалин. В рамках данных исследований были найдены УВОМ родов *Pseudoalteromonas*, *Oceanisphaera*, *Cobetia*, *Shewanella*, *Pseudomonas*, *Marinomonas* и *Thalassospira* (см. таблицу).

По результатам экспедиции LV92 ТОИ ДВО РАН в 2021 году под руководством М.Г. Валитова была изучена микробиота в районе газовых сипов охотоморского региона [Рыжманова и др., 2021; Валитов и др., 2022]. Изучаемый район отмечен на рисунках 2 и 3. Были обнаружены аэробные и анаэробные микроорганизмы. Среди аэробов выделялись группы: 1) метанотрофы (мезофилы и термофилы), 2) УВОМ (термофильные и мезофильные; мезофилы по всей географии района исследований, термофилы – в основном возле о. Парамушир).

Среди анаэробов отмечены следующие группы: 1) метанотрофы (около Парамуширского газового факела), 2) сульфатредукторы (вблизи о. Атласова); 3) деструкторы формиата (Парамуширский газовый факел). Микробиота была найдена в основном в окисленном слое донных отложений.

В монографии Леин А.Ю. также указывается на метановые сипы около о. Парамушир и приводятся характерные для региона метанотрофы: *Methylobacter methanica*, *Methylobacter capsulatus*, *Methylobacter chroococum* и *Methylobacter vinelandii* [Леин, Иванов, 2009].

В 2023 году с 16 августа по 20 сентября проводились комплексные исследования акваторий Охотского моря (юго-восточная часть, прибрежная зона) и северо-западной части Тихого океана (прибрежные воды Восточного побережья Камчатки). В числе прочих рейсовых задач стояла задача отобрать микробиологические пробы для идентификации индикаторных групп микроорганизмов, создания коллекции штаммов Охотского моря и северо-западной части Тихого океана и дальнейшей работы с ними.

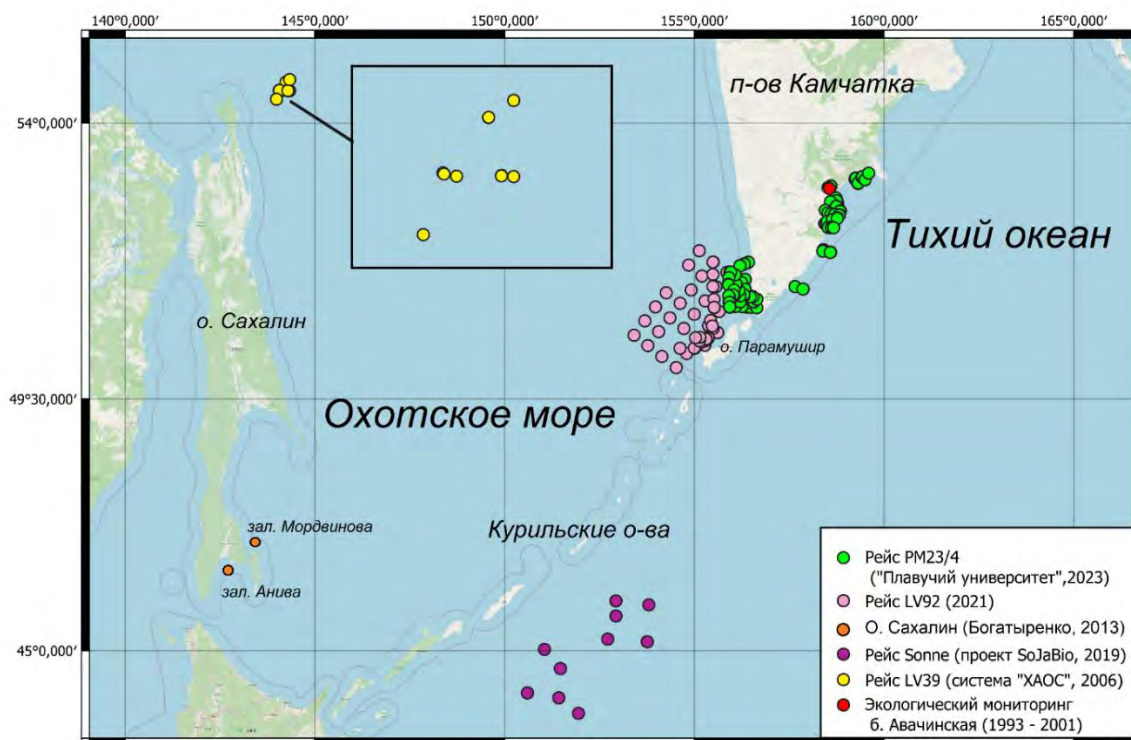


Рисунок 2 – Микробиологические исследования Охотского моря и северо-западной части Тихого Океана.



Рисунок 3 – Район работ экспедиции рейса LV92 под руководством Валитова М.Г. в 2021 году: 1 – метанотрофы, анаэробы; 2 – деструкторы формиата, анаэробы; 3 – УВОМ, анаэробы; 4 – метанотрофы, аэробы; 5 – УВОМ, аэробы [Рыжманова и др., 2021; Валитов и др, 2022].

Вышеуказанные микроорганизмы, обнаруженные в акваториях Охотского моря и северо-западной части Тихого океана, выполняют важные экологические функции, участвуя в

круговоротах азота, углерода и серы, являясь деструкторами органических соединений, а также индикаторами загрязнений окружающей среды (как, например, это показано для Авачинской бухты). Довольно большой нефтегазоносный потенциал данного региона может указывать на наличие микроорганизмов таких же трофических групп в ранее неисследованных частях акваторий. Они могут иметь большое практическое значение и использоваться как основной действующий компонент при создании биоремедиационных препаратов, а также в качестве индикаторов различного рода загрязнений.

### **Заключение**

Таким образом, очевидно, что акватория и Охотского моря, и северо-западной части Тихого океана, прилегающей к восточному побережью Камчатки крайне слабо изучена. Приведенных выше исследований (публикаций) недостаточно, чтобы составить полную картину микробиома Охотского моря и северо-западной части Тихого океана, а также оценить вклад автохтонных микроорганизмов в природные круговороты. Вместе с тем, изучаемый регион имеет нефтегазоносный потенциал. Там, где исследования все же проводились, были идентифицированы разнообразные трофические группы микроорганизмов, такие как метанотрофы, УВОМ, сульфатредукторы и т. д. Данные, собранные в рейсе «Плавучего университета» 2023 года, после их обработки, дадут больше информации о микробиологическом составе вод и донных отложений Охотского моря и северо-западной части Тихого океана в шельфовой зоне. Вместе с тем, в изученных исследованиях было показано, что микробные сообщества данного региона имеют возможность ферментировать до простых соединений большое разнообразие субстратов, что делает их перспективными объектами для дальнейшего изучения и промышленного применения.

### **Благодарность**

Автор благодарит Корнееву Анну Олеговну за помощь в подготовке карт, Яцука Андрея Вадимовича за помощь в подготовке материала публикации.

### **Финансирование**

Работа выполнена в рамках научно-образовательной программы «Плавучий университет» (соглашение № 075-01593-23-06).

The research was performed within the framework of the scientific and educational program Floating University (research project № 075-01593-23-06).

### **Список литературы**

1. Богатыренко Е.А. и др. Исследование нефтеокисляющей способности морских бактерий *Pseudoalteromonas Citrea*, *Pseudoalteromonas Elyakovii* и *Oceaniphaera Litoralis* / Богатыренко Е.А., Бузолева Л.С., Репина М.А., Братенши А.А. / Фундаментальные исследования, 2013 - №11 – с. 666-670
2. Бузолева Л.С. и др. Изучение нефтеокисляющей способности бактерий, выделенных из прибрежных вод юга о. Сахалин / Бузолева Л.С., Богатыренко Е.А., Репина М.А., Белькова Н.Л./ Микробиология, 2017. – том 86, № 3 – с. 317–325

3. Валитов М.Г. и др. Геолого-геофизические и океанографические исследования восточной части Охотского моря в 92-м рейсе научно-исследовательского судна “Академик М.А. Лаврентьев”/ Валитов М.Г., Ли Н.С., Шакиров Р.Б., Пономарева А.Л., Телегин Ю.А., Буланов В.А., Прошкина З.Н., Окулов А.К., Иваненко А.Н., Калгин В.Ю., Рыжманова Я.В., Жуковин А.Ю., Бовсун М.А., Максеев Д.С./Океанология, 2022. – том 62 – №3 – с.502-504
4. Дмитрова Г.Ю. и др. Микробная индикация – возможный метод для мониторинга тяжелых металлов в дальневосточных морях / Дмитрова Г.Ю., Безвербная И.П., Христофорова Н.К./ Известия Тихоокеанского научно-исследовательского рыбохозяйственного центра, 2001. – том 128 – с. 719-736
5. Журавель и др. - Журавель Е.В., Безвербная И.П., Бузолева Л.С. Микробная индикация загрязнения прибрежных вод Охотского моря и Авачинской бухты // Биология моря, 2004. – том 30 – № 2 – с. 138-142
6. Керимов В.Ю. и др. Оценка углеводородного потенциала генерационно-аккумуляционных углеводородных систем Охотского моря / Керимов В.Ю., Лавренова Е.А., Синявская О.С., Сизиков Е.А./ Труды РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина, 2015. – №3 (280) – с.18-30
7. Леин А.Ю. Биогеохимический цикл метана в океане / Леин А.Ю., Иванов М.В.: отв. ред. Лисицын А.П.; Ин-т микробиологии им. Виноградского С.Н. РАН. – М.: Наука, 2009. – 576 с,
8. Пестрикова Н. Л., Обжиров А. И. Влияние потоков метана в газогидратосодержащих отложениях Охотского моря на окружающую экосистему // Газохимия, 2011. – № 1 (17) – с. 50-53.
9. Рыжманова Я. В. Сульфатредуцирующие бактерии донных осадков северо-восточного изгиба Курильской котловины Охотского моря / Рыжманова Я. В., Пономарева А. Л., Щербакова В. А // VII Пущинская конференция "Биохимия, физиология и биосферная роль микроорганизмов". Школа-конференция для молодых ученых, аспирантов и студентов "Генетические технологии в микробиологии и микробное разнообразие": Сборник тезисов конференции, Пущино, 06–09 декабря 2021 года / Под редакцией Т.А. Решетиловой. – Москва: Общество с ограниченной ответственностью "Издательство ГЕОС", 2021. – С. 80-82.
10. Dang H. et al. Diversity, abundance and distribution of amoA-encoding archaea in deep-sea methane seep sediments of the Okhotsk Sea / Dang H., Luan X.-W., Chen R., Zhang X., Guo L., Klotz M.G. / FEMS Microbiol. Ecol., 2010 – №72 – p. 370–385
11. Gorrasi S. et al. Insights into the prokaryotic communities of the abyssal-hadal benthic-boundary layer of the Kuril Kamchatka Trench / Gorrasi S., Franzetti A., Brandt A., Minzloff U., Pasqualetti M., Fenice M./ Environmental Microbiome, 2023 – vol. 18 (1) 67
12. Shao S. et al. Deep-sea methane seep sediments in the Okhotsk Sea sustain diverse and abundant anammox bacteria/ Shao S., Luan X., Dang H., Zhou H., Zhao Y., Liu H., Zhang Y., Dai L., Ye Y., Klotz M.G./ FEMS Microbiology Ecology, 2014 – №87 – p. 503-516



УДК 592

Рубрика 34.33.15

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАЗНООБРАЗИЯ И РАСПРОСТРАНЕНИЯ МНОГОЩЕТИНКОВЫХ ЧЕРВЕЙ (ANNELIDA: POLYCHAETA) ПРИКАМЧАТСКИХ ВОД ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЭКСПЕДИЦИИ «ТИХООКЕАНСКИЙ ПЛАВУЧИЙ УНИВЕРСИТЕТ 2023»

PRELIMINARY RESULTS OF DIVERSITY AND DISTRIBUTION OF BRISTLE WORMS (ANNELIDA: POLYCHAETA) IN KAMCHATKA WATERS ACCORDING TO THE RESULTS OF THE EXPEDITION «PACIFIC FLOATING UNIVERSITY 2023»

**Носков Денис Вячеславович**

*Дальневосточный федеральный университет (ДФУ), Владивосток*

**Noskov Denis Viacheslavovich**

*Far eastern federal university (FEFU), Vladivostok*

### **Введение**

Многощетинковые черви или полихеты - обширная группа морских и пресноводных организмов, обитающих в водах по всему земному шару, как в приповерхностном слое, так и на глубинах. Полихеты участвуют в средообразовании бентосных сообществ, являются кормовой базой промысловых видов рыб (камбала, палтус и т.п.) [Ржавский, 2001], играют огромную роль в биообрастании антропогенных и природных объектов [Багавеева, 1975], отдельные группы полихет являются биоиндикаторами, как мест с повышенным содержанием природных газов [Малахов, 1992], так и участков антропогенного загрязнения [Белан, 2009].

Обширный мониторинг фауны полихет, способный к реализации в рамках уже прошедшей и ещё предстоящих экспедиций Тихоокеанского Плавучего университета в прикамчатских водах, способен собрать колоссальные данные о разнообразии и распространении представителей класса Polychaeta в данной акватории, а также установить последствия воздействия «Красных приливов», случившихся на Камчатке в 2020 году, на эту группу морских беспозвоночных.

### **Материалы и методы**

Материалом для данного исследования послужили образцы полихет, отобранных в водах юго-восточного и юго-западного побережья Камчатки в период с 18 августа по 13 сентября 2023 года входе рейса РМ 23/4 НИС «Профессор Мульгановский». В ходе рейса было отобрано 2265 образцов представителей класса Polychaeta, 1117 из них были предварительно распределены по таксонам ранга «Семейство» и выше.

Отбор образцов производился коробчатым пробоотборником площадью захвата 0.1 м<sup>2</sup>. От грунта животные были фракционированы на разборочном столике, минимальная ячейка сетки которого составила 1 мм. Затем образцы были этикетированы и зафиксированы в 96% спирте, эхиуриды были зафиксированы в 4% формалине.



## Результаты

### Разнообразие и количество Polychaeta

Фауна Polychaeta Дальневосточных морей насчитывает 685 видов из 61 семейства. Из них в Охотском море насчитывается 374 вида, а в районе юго-восточной Камчатки 115 видов многощетинковых червей (Бужинская, 2015).

По полученным данным среди 1117 экземпляров были обнаружены представители 19 семейств класса Polychaeta, а также образцы животных из подкласса Echiura, с неустановленной принадлежностью к семействам.

Семейства Nephtyidae и Pectinariidae представлены наибольшим количеством собранных экземпляров – 296 шт. и 282 шт. соответственно. Несколько меньше было собрано экземпляров из семейства Maldanidae (138 шт.) и подкласса Echiura (109 шт.). Достаточно представлены семейства Terebellidae (55 шт.), Oweniidae (50 шт.), Sabellidae (32 шт.), Ampharetidae (30 шт.), Polynoidae (30 шт.) и Phyllodocidae (27 шт.). Незначительно представлены представители семейств Eunicidae (17 шт.), Opheliidae (16 шт.), Sternaspidae (13 шт.), Orbinidae (9 шт.) и Spionidae (5 шт.). Семейства Cirratulidae, Nereidae, Siboglinidae, Flabelligeridae, Scalibregmidae представлены единичными экземплярами (Рисунок 1).

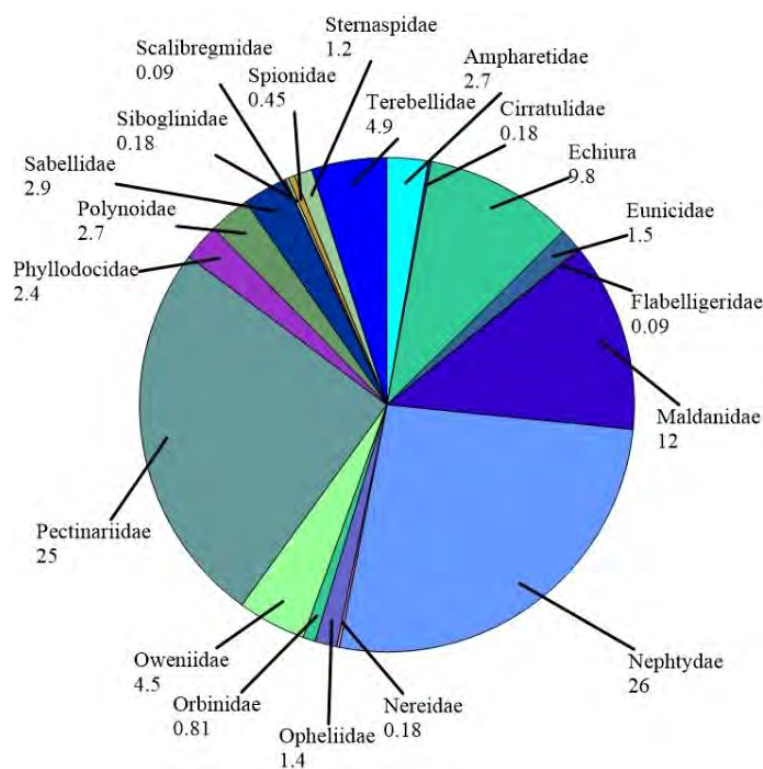


Рисунок 1. Диаграмма соотношения количества особей в собранных семействах Polychaeta, (%)

### Распространение Polychaeta

Среди 2263 экземпляров многощетинковых червей отобранных в экспедиции на 93 станциях, 1428 (63%) было отобрано с 43 станций в Охотском море, у юго-западного побережья полуострова Камчатка, в тихоокеанской части, в районе юго-восточной Камчатки с 50 станций были собраны 835 экземпляров (37%) полихет. Это свидетельствует о большом обилии охотоморских представителей класса Polychaeta.

## Распределение по грунтам

Больше всего на илистых грунтах было обнаружено животных из семейства Pectinariidae (26%), в значительных количествах встречаются Maldanidae (17%), Terebellidae (13%), Nephtyidae (9%) и подкласс Echiura (18%). В небольшом количестве в илистом грунте были собраны Ampharetidae (5,3%), Phyllodocidae (3,8%), Oweniidae (2%), Sabellidae (1,5%), Eunicidae (1,5%) Polynoidea (1,3%). Каждое из оставшихся 5 семейств встречается в илах единично (менее 1%). Семейства Scalibregmidae, Flabelligeridae не были встречены на илистых грунтах (Рисунок 2).

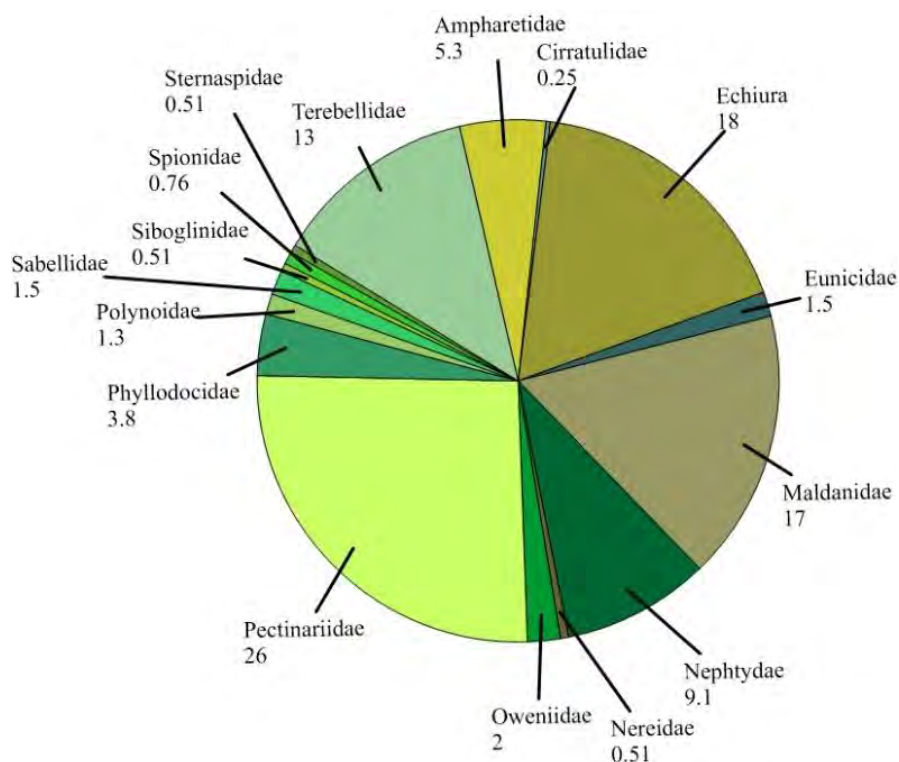


Рисунок 2. Диаграмма соотношения семейств Polychaeta встреченных в илистых грунтах, (%)

В песчаных грунтах преобладают семейства Nephtyidae 36(%) и Pectinariidae (25%). Представлены на данном типе грунтов Maldanidae (10%), Oweniidae (6,2%) и Echiura (5,6%). В небольшом количестве встречаются Sabellidae (3,6%), Polynoidea (3,5%), Opheliidae (2,2%). Изредка в пробах попадались Phyllodocidae (1,7%), Eunicidae (1,5%), Orbinidae (1,3%) и Ampharetidae (1,3%). Представленность единично попавшихся экземпляров Flabelligeridae, Spionidae, Scalibregmidae Sternaspida, Cirratulidae составляет менее 1%. Nereidae и Siboglinidae в песчаном грунте не встречены (Рисунок 3).

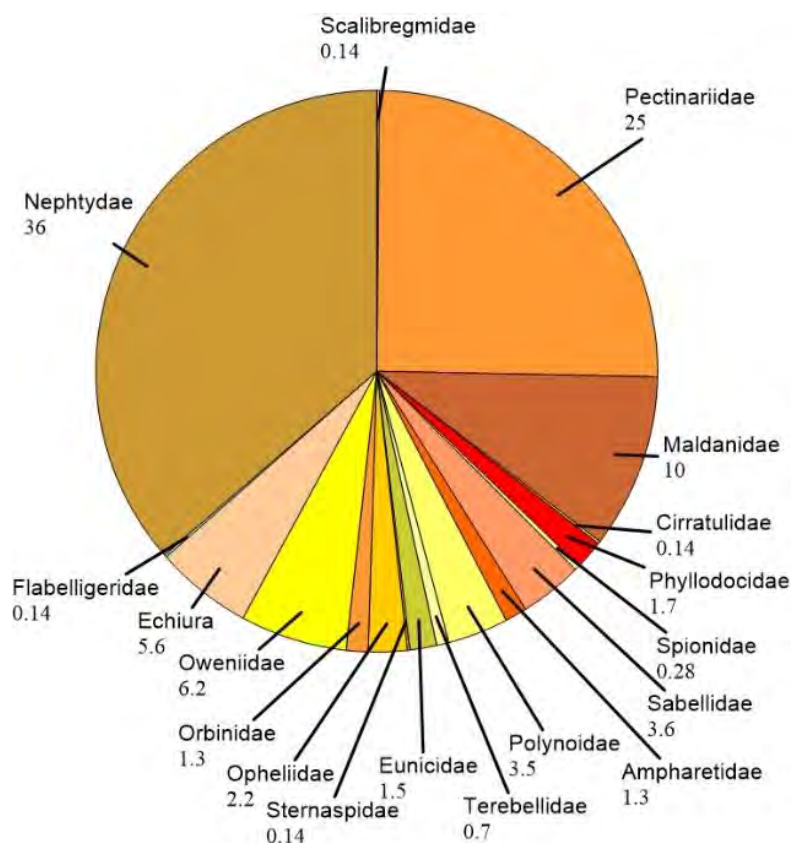


Рисунок 3. Диаграмма соотношения семейств Polychaeta встреченных в Песчаном грунте, (%)

### Выводы

Образцы многощетинковых червей, собранные в исследуемом регионе, принадлежат к 19 семействам, а также к подклассу Echiura. Среди представленных полихет доминирующими являются семейства Nephtyidae и Pectinariidae, обильно были встречены представители семейства Maldanidae и подкласса Echiura.

Число экземпляров полихет в охотоморских водах юго-западного камчатского побережья было отобрано почти вдвое больше, чем в тихоокеанских водах юго-восточного побережья полуострова Камчатка, что свидетельствует о повышенном обилии многощетинковых червей в акватории юго-западного побережья Камчатки.

В илистых грунтах преобладают седентарные Polychaeta из семейств Pectinariidae, Maldanidae, Terebellinidae, а также представители подкласса Echiura. В песчаных грунтах преобладающее большинство из семейств Nephtyidae и Pectinariidae, в добавок с чуть менее многочисленными семействами Oweniidae, Maldanidae и эхиуридами.

### Благодарности

Автор благодарит всех сборщиков материала: Волкову А.Л., Доброхотову Д.М., Бугай А.В. За помощь в дальнейшей работе с материалом выражается благодарность научному руководству экспедиции «Тихоокеанский плавучий университет 2023»: начальнику экспедиции Рутенко О.А. и начальнику отряда морской биологии Селивёрстову Н.А.

### Финансирование

Работа выполнена в рамках научно-образовательной программы «Плавучий университет» (соглашение № 075-01593-23-06), а также государственного задания FZNS-2023-0020 «Оценка экологической безопасности речных и прибрежных водных экосистем Камчатского края», 2023 год (рук. Винников Кирилл Андреевич)

### Список литературы

1. Багавеева Э. В. Полихеты - обрастали гидротехнических сооружений //Обрастания в Японском и Охотском морях. Владивосток: ДВНЦ АН СССР. – 1975. – С. 79-87.
2. Белан Т. А., Мощенко А. В. Виды-индикаторы загрязнения в сообществах макрозообентоса мягких грунтов Амурского залива (залив Петра Великого, Японское море) // Ecological studies and the state of the ecosystem of Amursky Bay and the estuarine zone of the Razdolnaya river (Sea of Japan). – 2009. – Т. 2. – С. 147-172.
3. Бужинская Г. Н. МНОГОЩЕТИНКОВЫЕ ЧЕРВИ (Polychaeta) дальневосточных морей России и прилежащих вод Тихого океана. Товарищество научных изданий КМК – 2013 – 132 с.
4. Малахов В.В., Обжиров В.И., Тарасов В.Г. О связи погонофор рода *Siboglinum* с зонами высоких концентраций метана // ДАН. – 1992. – Т. 325. №1. – С. 195–197.
5. Ржавский А. В. О видовом разнообразии многощетинковых червей (Polychaeta) в северной части Авачинского залива в связи с изучением кормовой базы камбал // Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей. – 2001. – С. 82-84.

УДК 574.587

Рубрика 34.35.33

ПЕРВИЧНЫЕ ДАННЫЕ О РАЗНООБРАЗИИ ПРИБРЕЖНЫХ И ГЛУБОКОВОДНЫХ СООБЩЕСТВ МАКРОЗООБЕНТОСА В ЮЖНЫХ ПРИКАМЧАТСКИХ ВОДАХ ТИХОГО ОКЕАНА И ОХОТСКОГО МОРЯ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЭКСПЕДИЦИИ ТИХООКЕАНСКИЙ ПЛАВУЧИЙ УНИВЕРСИТЕТ 2023

PRIMARY DATA ON THE DIVERSITY OF COASTAL AND DEEP-WATER MACROZOBENTHOS COMMUNITIES IN THE SOUTH KAMCHATKA WATERS OF THE PACIFIC OCEAN AND THE SEA OF OKHOTSK FROM THE RESULTS OF THE PACIFIC FLOATING UNIVERSITY EXPEDITION

**Доброхотова Дарья Михайловна<sup>1</sup>, Рутенко Олеся Александровна<sup>2,3</sup>**

<sup>1</sup> АНО ВО "Университет "Сириус", г. Сочи

<sup>2</sup> Дальневосточный федеральный университет (ДФУ), г. Владивосток

<sup>3</sup> Национальный научный центр морской биологии им. А. В. Жирмунского Дальневосточного отделения Российской академии наук (ННЦМБ ДВО РАН), г. Владивосток

**Dobrokhotova Daria Michailovna<sup>1</sup>, Rutenko Olesya Aleksandrovna<sup>2,3</sup>**

<sup>1</sup> Sirius University, Sochi

<sup>2</sup> Far Eastern Federal University, Vladivostok

<sup>3</sup> A.V. Zhirmunsky National Scientific Center of Marine Biology of Far Eastern Branch Russian Academy of Science, Vladivostok

## **Введение**

Большинство работ, направленных на комплексные исследования бентосных сообществ южных прикамчатских вод, приходится на середину 20 века, когда этот регион был объектом интереса в рамках поиска новых промысловых организмов [Зенкевич, 1956; Надточий и др., 2007]. В последние десятилетия данные о таксономическом составе макрозообентоса в водах Камчатки охватывают ограниченное число акваторий и таксономических групп и не дают общего представления о разнообразии этого региона. Так, последние работы по оценке бентосных сообществ камчатского шельфа сосредоточены в регионе Авачинских губы и залива [Блохин, 2021; Блохин и др., 2021; Морозов, 2021] и Халактырского пляжа [Санамян и др., 2023] в связи с произошедшим осенью 2020 г вредоносным цветением микроводорослей.

В рамках текущей работы дана предварительная характеристика разнообразия и численности прибрежных и глубоководных сообществ макрозообентоса в прилегающих к южной Камчатке водах Тихого океана и Охотского моря по результатам комплексных исследований на НИС «Профессор Мультигановский» в августе и сентябре 2023 г. Первичное определение материала проведено до крупных таксономических групп (типы, классы, инфраклассы).



## Материал и методы

В ходе экспедиции «Тихоокеанский Плавающий университет» на НИС «Профессор Мультиановский» в августе и сентябре 2023 г. был проведен сбор количественных проб макрозообентоса на 93 станциях (рис. 1). Отбор проб проводился вблизи южной части полуострова Камчатка в акваториях Тихого океана (северо-западный регион) и Охотского моря.

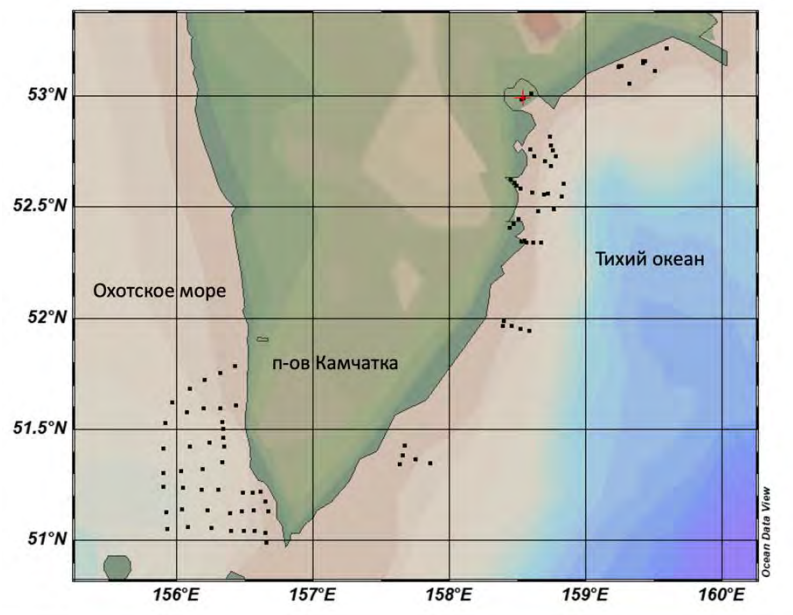


Рис 1. Карта станций по отбору проб макрозообентоса в Тихом океане и Охотском море

В Тихом океане работы по сбору макрозообентоса проводились в Авачинских губе и заливе, вблизи Халактырского пляжа, Мыса Налычева, острова Крашенинникова, бухтах Вестник, Вилючинской, Жировой, Лиственничной, Пираткова, Русской и Саранной на 49 станциях. В Охотском море регион работ включал открытую часть моря, окрестности мыса Лопатки, бухту и залив Камбальный, а также залив Озерновский. Сбор проб в данной акватории проводился на 44 станциях.

Пробы отбирали коробчатым пробоотборником с площадью захвата 0,1 м<sup>2</sup>. Промывка грунта осуществлялась забортной водой на промывочном столе с размером ячеек нижнего сита 1 мм. После промывки пробы фиксировали 70% этанолом и 6% формалином.

Оценка солености и температуры придонного слоя воды проводилась по данным зонда CTD Sea-bird SBE 911plus. Статистическая обработка и визуализация данных проводилась в программе Past 4.04 [Hammer, 2001]. Кластерный анализ выполнен на основе индекса несходства Брея-Кёртиса. В анализ были включены обработки только данные со станций, на которых отбор проб выполнялся в трёхкратной повторности.

## Результаты

Макрозообентос отбирался как на прибрежных, так и на глубоководных станциях. Диапазон глубин в рамках проводимых работ составил от 14 до 770 м для Тихого океана и от 25 до 690 м для Охотского моря. В обеих акваториях на глубинах до 200 м были распространены преимущественно песчаные грунты, на глубинах более 200 м – илистые.



Колебания зафиксированных температуры/солености придонного слоя воды составили 1,29–11,33°C/31,15–34,13 ‰ для восточного побережья и 1,46–7,72° C/30,37–34,04 ‰ для западного.

Общее число фиксированных бентосных организмов составило 9511, из которых 3238 были собраны в водах Тихого океана на 49 станциях и 6273 – в водах Охотского моря на 44 станциях (рис. 2).

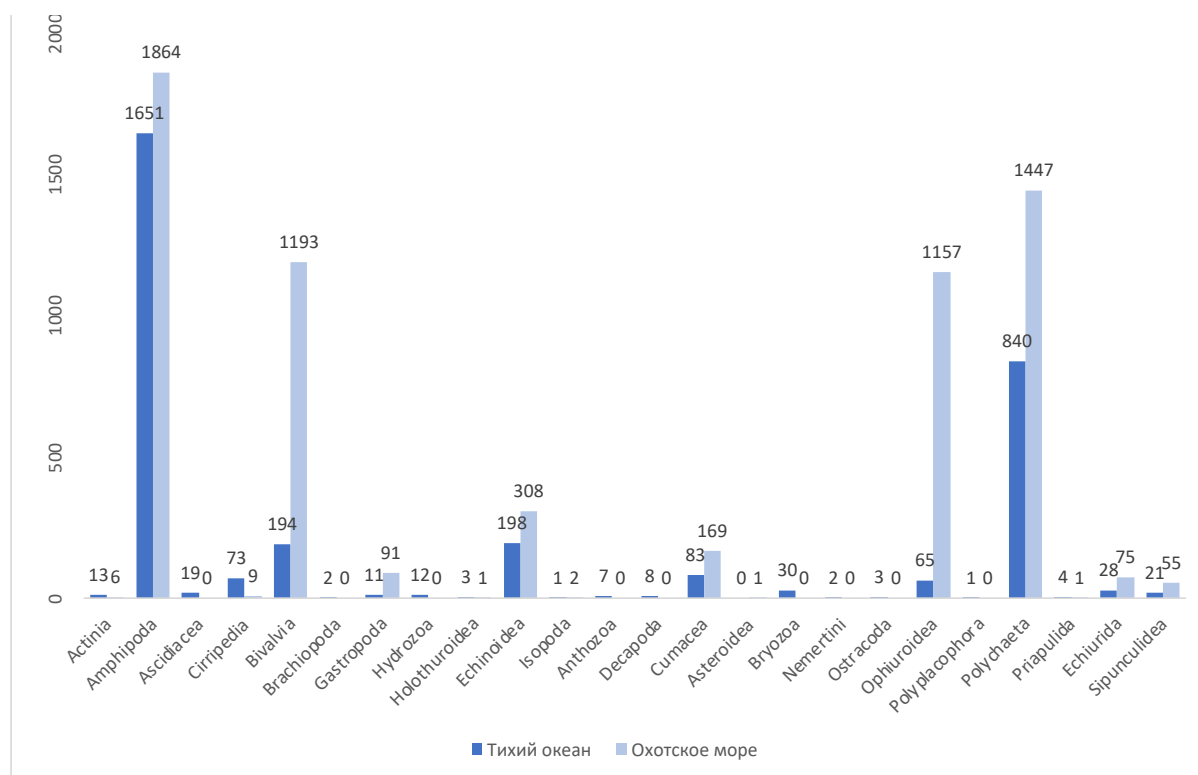


Рис 2. Сводные данные по численности макрозообентоса на станциях восточного (Тихий океан) и западного (Охотское море) побережий южной Камчатки.

По результатам первичного разбора материала идентифицировано 25 крупных таксонов различного ранга (табл. 1); десятиногие ракообразные разделены на две условные группы («креветки» и «крабы и крабоиды») для исключения крупных Decapoda из дальнейшего анализа количественных данных в связи с неадекватностью использованного орудия лова для оценки численности организмов такого размера [Eleftheriou, 2013].

Таблица 1. Данные по представленности таксонов в каждой из исследуемых акваторий

	Тихий океан	Охотское море
<i>Actinia</i>	+	+
<i>Amphipoda</i>	+	+
<i>Ascidacea</i>	+	-
<i>Cirripedia</i>	+	+
<i>Bivalvia</i>	+	+
<i>Brachiopoda</i>	+	-

<i>Gastropoda</i>	+	+
<i>Hydrozoa</i>	+	-
<i>Holothuroidea</i>	+	+
<i>Echinoidea</i>	+	+
<i>Isopoda</i>	+	+
<i>Anthozoa</i>	+	-
<i>Decapoda</i> («креветки»)	+	-
<i>Cumacea</i>	+	+
<i>Asteroidea</i>	-	+
<i>Bryozoa</i>	+	-
<i>Nemertini</i>	+	-
<i>Ostracoda</i>	+	-
<i>Ophiuroidea</i>	+	+
<i>Polyplacophora</i>	+	-
<i>Polychaeta</i>	+	+
<i>Priapulida</i>	+	+
<i>Echiurida</i>	+	+
<i>Sipunculidea</i>	+	+
<i>Decapoda</i> («крабы и крабиды»)	+	+

В обеих акваториях значительную часть проб составили *Polychaeta* и *Amphipoda*, в Охотском море существенная часть проб также пришлась на *Bivalvia* и *Ophiuroidea*. Доля полихет от общей численности собранных бентосных организмов составила 25,97% для Тихого океана и 23,07% для Охотского моря, доля амфипод – 50,99% для Тихого океана и 29,71% для Охотского моря. Данные организмы распространены повсеместно и встречались почти в каждой точке сбора. Доля двустворчатых моллюсков в общем числе проб из Охотского моря составила 19,02%, доля офиур – 18,44%.

Несмотря на то, что в Охотском море сборы проводились на меньшем числе станций и диапазоне широт, количественные данные сборов в этой акватории подтверждают ее более высокую продуктивность относительно восточных прикамчатских вод. В то же время сборы в Тихом океане демонстрировали большее разнообразие среди представленных таксонов: *Loricata*, *Ostracoda*, *Nemertini*, *Bryozoa*, *Anthozoa*, *Brachiopoda* и *Ascidacea* присутствовали только в пробах из Тихого океана.

После проведения кластеризации в каждой акватории выделено по 3 фаунистических комплекса (рис. 3). Для Охотского моря данные кластерного анализа хорошо соотносятся с типами грунтов на станциях. Так, для кластера (I) был характерен илистый грунт, для кластера (II) преобладал заиленный песок, для кластера (III) – ил и заиленный песок.

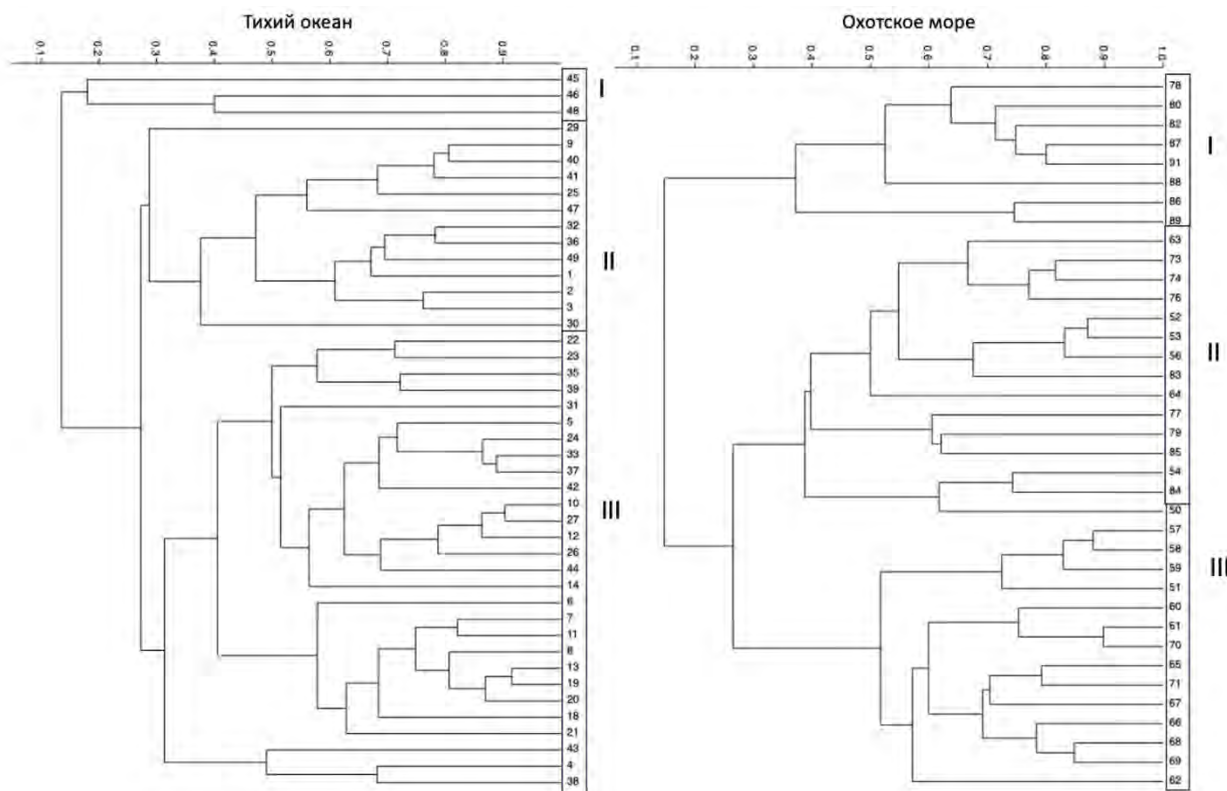


Рис 3. Фаунистические комплексы, выделенные на станциях восточного (Тихий океан) и западного (Охотское море) побережий южной Камчатки.

### Заключение

Полученные предварительные данные отражают количественное распределение основных груб макрозообентоса в юго-западной и юго-восточной акватории Камчатки. Основными таксономическими группами, преобладающими по численности, были амфиподы, двустворчатые моллюски, иглокожие и полихеты. Более детальный анализ собранного материала, определение состава, структуры, обилия и распределения донных организмов позволят дать оценку общего состояния экосистемы и возможного влияния неблагоприятных факторов природного и антропогенного характера.

### Благодарность

Авторы выражают благодарность всем участникам отряда морской биологии в рамках экспедиции «Тихоокеанский плавучий университет» на НИС «Профессор Мультиановский».

### Финансирование

Работа выполнена в рамках научно-образовательной программы «Плавучий университет» (соглашение № 075-01593-23-06). Представленное исследование выполнено при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, проект FZNS-2023-0020 «Оценка экологической безопасности речных и прибрежных водных экосистем Камчатского края».

The research was performed within the framework of the scientific and educational program Floating University (research project № 075-01593-23-06). The reported study was funded by Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, project number FZNS-2023-0020 «Assessment of ecological safety of river and coastal aquatic ecosystems of the Kamchatka region».

### Список литературы:

1. Блохин И. А. Распределение макрозообентоса мягких грунтов Авачинской губы в июне 2021 г. по результатам дночерпательных исследований // Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей. – 2021. – С. 108-112.
2. Блохин И. А. Изменение количественных характеристик макрозообентоса мягких грунтов Авачинской губы в период 2014 -2021 гг. по результатам дночерпательных исследований // Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей. – 2021. – С. 113-117.
3. Зенкевич А. А. Моря СССР. Их флора и фауна // Москва: Государственное учебно-педагогическое издательство Наркомпроса РСФСР. 1956. 424 с.
4. Морозов, Т. Б. Макрозообентос мягких грунтов прибрежной зоны Авачинского залива в августе 2021 г. // Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей. – 2021. – С. 161-163.
5. Надточий В. А., Будникова Л. Л., Безруков Р. Г. Некоторые результаты бонитировки бентоса в российских водах дальневосточных морей: состав и количественное распределение (Охотское море) // Известия ТИНРО. – 2007. № 149. – С. 310-336.
6. Санамян Н. П., Коробок А. В., Санамян К. Э. Качественная оценка последствий влияния вредоносного цветения водорослей осенью 2020 года у побережья юго-восточной Камчатки (северо-западная пацифика) на мелководные бентосные сообщества // Вестник Камчатского государственного технического университета. – 2023. – №. 63. – С. 22-44.
7. Eleftheriou A. Methods for the study of the marine benthos // Hellenic Centre for Marine Research, Heraklion, Crete, Greece and Department of Biology, University of Crete, Heraklion, Greece. – 2013. – 496 p.
8. Hammer O. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis // Palaeontol electron. – 2001. – Vol. 4, № 1. – P. 1–9.

УДК 579.68

Рубрика 34.27.23

УГЛЕВОДОРОДОКИСЛЯЮЩИЕ БАКТЕРИИ ХОЛОДНЫХ МОРЕЙ  
HYDROCARBON-DEGRADING BACTERIA IN COLD SEAS

**Кокуркина Юлия Алексеевна<sup>1</sup>, Дашков Данил Витальевич<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова (МГУ им. М.В. Ломоносова), Москва*

<sup>2</sup> *Дальневосточный федеральный университет (ДВФУ), Владивосток*

**Kokurkina Juliya Alekseevna<sup>1</sup>, Dashkov Danil Vitalievich<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Lomonosov Moscow State University, Moscow*

<sup>2</sup> *Far Eastern Federal University, Vladivostok*

**Введение**

В современном мире большую опасность несут за собой нефтяные загрязнения, т.к. соединения, входящие в состав нефти, поражают живые организмы на разных уровнях организации: от млекопитающих и планктона до растительности и микроорганизмов. Холодные моря находятся в большей зоне риска, т.к. из-за низких температур снижается растворимость нефтяных углеводородов (НУ) и замедляется метаболизм микроорганизмов, способных к их биодegradации. Целью нашего исследования является изучение биоразнообразия углеводородокисляющих бактерий (УВОБ) холодных морей. К задачам исследования относится анализ доступной литературы в областях описания УВОБ, путей degradation нефтяных углеводородов и генов, задействованных при этом.

Углеводородокисляющие микроорганизмы (УВОМ) – организмы, способные использовать нефть и ее производные в качестве единственного источника углерода и энергии. По состоянию на 2014 г. было известно, что к ним относятся 79 родов бактерий, 9 родов цианобактерий, 103 рода грибов и 14 родов водорослей (Семенов и др., 2014). Среди них из водной среды было выделено 25 родов бактерий и 27 родов грибов (Гоголева, Немцева, 2012; Темергазина, Переходова, 2012). К настоящему моменту по данным исследуемой литературы к УВОБ из морской воды можно отнести 83 рода например, *Achromobacter*, *Acinetobacter*, *Actinomadura*, *Aestuariibacter*, *Alcaligenes*, *Alcanivorax*, *Algoriphagus*, *Alteromonas*, *Archrobacter*, *Arcobacter*, *Arthrobacter*, *Bacillus*, *Bacterium*, *Bacteroides*, *Bermanella*, *Brevibacterium*, *Brevundimonas*, *Burkholderia*, *Celeribacter*, *Citricella*, *Cobetia*, *Colwellia*, *Corynebacterium*, *Corynebacterium*, *Coryneforms*, *Cycloclasticus*, *Cytophaga*, *Erythrobacter*, *Fabibacter*, *Flavobacterium*, *Formosa*, *Frankia*, *Glaciacola*, *Gordonia*, *Halomonas*, *Hyphomonas*, *Legionella*, *Loktanella*, *Marinobacter*, *Marinobacterium*, *Marinomonas*, *Methylobacter*, *Microbacterium*, *Micrococcus*, *Moritella*, *Mycobacterium*, *Neptunomonas*, *Nisaea*, *Nocardia*, *Nocardiosis*, *Novosphingobium*, *Oceanosphaera*, *Oceanospirillum*, *Oleiphilus*, *Oleispira*, *Paracoccus*, *Paraglaciacola*, *Paraperlucidibaca*, *Pelagibaca*, *Polaribacter*, *Pseudoalteromonas*, *Pseudobacterium*, *Pseudomonas*, *Psychroserpens*, *Rhodococcus*, *Rhodofera*, *Rhodovulum*, *Roseivirga*, *Roseobacter*, *Shewanella*, *Sphingopyxis*, *Sphingorhabdus*, *Sphingomonas*, *Sphingopixus*, *Stappia*, *Sulfitobacter*, *Tenacibaculum*, *Thalassospira*, *Thioclava*, *Ulvibacter*, *Winogradskyella*, *Zeaxanthinibacter*, *Zobellia* (Cabral et al., 2022, Nölvak et. al., 2021, Peng et al.,

2020, Коршунова, Логинов, 2019, Shivas S. et al., 2019, Buzoleva et al., 2017, Семёнов и др., 2014, Lo Giudice et al., 2010, Sulbaran-Bracho et. al.). В холодных водах встречаются рода *Acinetobacter*, *Alcanivorax*, *Alteromonas*, *Arthrobacter*, *Bacteroides*, *Brevundimonas*, *Cobetia*, *Cycloclasticus*, *Cytophaga*, *Halomonas*, *Hyphomonas*, *Marinobacter*, *Marinobacterium*, *Marinomonas*, *Pseudoalteromonas*, *Pseudomonas*, *Oceanospirillum*, *Oceanisphaera*, *Paracoccus*, *Shewanella*, *Sphingomonas*, *Sphingopixus*, *Sulfitobacter*, *Pseudomonas*, *Psychroserpens*, *Marinomonas*, *Rhodoferrax*, *Rhodococcus*, *Roseobacter*, *Thalassospira*.

Наиболее распространенными являются рода *Arthrobacter*, *Brevibacterium*, *Corynebacterium*, *Mycobacterium*, *Pseudomonas*, *Rhodococcus*. Как правило, их выделяют в районах с сильным нефтяным загрязнением (Богатыренко и др., 2022).

Скорость биодеградации нефти зависит от состава и соотношения углеводородов (УВ) в ней. Нефть состоит из неуглеводородных соединений, таких как оксисоединения, сульфосоединения, смолы, асфальтены, и углеводородов – насыщенных и ненасыщенных (Журавлёва, 2022). К наиболее распространенным нефтяным загрязнителям окружающей среды являются n-алканы, изоалканы, циклоалканы, n-парафины, ароматические соединения, полиароматические углеводороды (ПАУ) (Богатыренко и др., 2022; Шапиро и др., 2022; Шапиро, 2021; Бикташева и др., 2019; Брянская и др., 2014).

Часть нефтеокисляющих микроорганизмов вырабатывает поверхностно-активные вещества (ПАВ), которые инициируют разрушение различных нефтяных компонентов. Способность к образованию биоПАВ выявлена у родов *Acinetobacter*, *Bacillus*, *Candida*, *Rhodococcus*, *Gordonia*, *Nocardia*, *Ochrobactrum*, *Pseudomonas*, *Torulopsis* и др. (Коршунова, Логинов, 2019). Примерами генов, задействованных в синтезе биоПАВов, являются *RhIA*, *RhIB*, *RhIC*, *spf0* и *spfA* (Шапиро, 2021).

Большинство бактериальных превращений УВ представляют собой окислительные реакции, протекающие наиболее активно в аэробных условиях. Аэробная деградация алканов осуществляется двумя основными типами ферментов. алканмонооксигеназой *AlkB* (алкангидроксилаза) и семейством цитохрома P450 *Cyp153*. *Alk*-подобные гены исследованы у *Atherinosoma*, *Mycobacterium* sp., *Nocardia* sp. и *Rhodococcus* sp. Семейство цитохрома P450 *Cyp153* – это тип монооксигеназ, окисляющих коротко- и среднецепочечных n-алканов, встречающихся у УВОБ без монооксигеназы *AlkB*. Например, у *Acinetobacter*, *Alcanivorax* sp. и *Novosphingobium* sp. (Шапиро, 2021). Анаэробная деградация УВ изучена хуже (Cabral et al., 2022; Nölvak et al., 2021; Zakaria et al., 2021).

Соединения с циклической структурой окисляются сложнее, чем соединения с линейной. Штаммы, способные деградировать циклоалканы, имеют специфические ферментные системы, окисляющие, например, циклогексан до циклогексанола, а его – до адипиновой, валериановой, муравьиной кислот (Брянская и др., 2014).

Разложение ароматических соединений начинается с прямого окисления ароматического кольца с помощью монооксигеназ или диоксигеназ либо с окисления боковой алкильной цепи, которое катализируется монооксигеназой. Расщепление самого кольца происходит при участии катехол 2,3-диоксигеназы. К генам, окисляющим ароматические соединения, относятся *aph* – фенол, *bph* – бифенил или полихлоридный бифенил, *bnzA* – бензол, *cbaA* – хлорбензоат, *xylX* – бензоат, *todC1* and *todC2* – толуол, *cumA 1* – кумол, *ipbA1* – изопропилбензол, *edoA* – этилбензол и *ebdA* – алкилбензол (Cabral et al., 2022).

Деградации нафталина и других низкомолекулярных ПАУ начинается с нафталиндиоксигеназы. К генам, кодирующим способность разлагать ПАУ, относятся *cat-2,3*, *narAa*, *narB*, *narAb*, *phdA/pdoA2*, *nidA/pdoA1*, *nidA3/fadA1*, *nah*, *nahAc*, *nahA3*, *nagAc*, *ndoB*, *ndoC2*, *pahAc*, *pahA3*, *phnAc*, *phnA1*, *bphAc*, *bphA1*, *dntAc* и *arhA1* (Богатыренко и др., 2021).



## Финансирование

Работа выполнена в рамках научно-образовательной программы «Плавучий университет» (соглашение № 075-01593-23-06).

## Список литературы:

1. Бикташева Л.Р., Савельев А.А., Курынцева П.А., Селивановская С.Ю., Галицкая П.Ю. Оценка динамики количества генов, ответственных за деградацию нефтепродуктов в загрязненной почве // Учен. Зап. Казан. Ун-та. Сер. Естеств. Науки. – Т. – 161. – Кн. – 2. – 2019. – С. 255–274.
2. Богатыренко Е. А., Ким А. В., Дункай Т. И., Пономарева А. Л., Еськова А. И., Сидоренко М. Л., Окулов А. К. Таксономическое разнообразие культивируемых углеводородоокисляющих бактерий в Японском море // Биология моря. – Т. – 47. – №3. – 2021. – С. 209–216.
3. Богатыренко Е. А., Ким А. В., Полоник Н. С., Дункай Т. И., Пономарева А. Л., Дашков Д. В. Психротрофные углеводородоокисляющие бактерии, выделенные из донных осадков залива Петра Великого Японского моря // Океанология. – Т. – 62. – № 3. – 2022. – С. 439 – 450.
4. Брянская А.В., Уварова Ю.Е., Слынько Н.М., Демидов Е.А., Розанов А.С., Пельтек С.Е. Теоретические и практические аспекты проблемы биологического окисления углеводов микроорганизмами // Вавиловский журнал генетики и селекции. – Т. – 18. – № 4/2. – 2014. – С. 999–1012.
5. Гоголева О.А., Немцева Н.В. Углеводородоокисляющие микроорганизмы экосистем // Бюллетень Оренбургского научного центра УРО РАН. – №2. – 2012. – С. 7.
6. Журавлёва А.С. Термофильные углеводородоокисляющие почвенные бактерии из контрастных природно-климатических зон : автореферат дис. ... кандидата биологических наук: 06.01.03 / Агрофизический науч.-исслед. Институт. Санкт-Петербург. – 2022. – С. 152.
7. Коршунова Т.Ю., Логинов О.Н. Нефтяное загрязнение водной среды: особенности влияние на различные объекты гидросферы, основные методы очистки // Экобиотех. – Т. – 2. – № 2. – 2019. – С. 157–174.
8. Семенов А.М., Федоренко В.Н., Семенова Е.В. Микроорганизмы на поверхности морских макрофитов в северных морях России и их возможное практическое использование // Биосфера. – Т. – 6. – № 1. – 2014. – С. 60–76.
9. Темергазина И.Ф., Переходова Л.С. К проблеме биологического окисления нефти и нефтепродуктов углеводородоокисляющими микроорганизмами // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – Т. – 7. – №1. – 2012. – С. 28.
10. Шапиро Т.Н. Сообщества углеводородоокисляющих микроорганизмов в нефтепродуктах : автореферат дис. ... кандидата биологических наук: 03.02.03 / МГУ им. М.В. Ломоносова. Москва. – 2021. – С. – 175.
11. Шапиро Т.Н., Манучарова Н.А., Лобакова Е.С. Активность гена алканмонооксигеназы *alkB* у штаммов углеводородоокисляющих бактерий, выделенных из нефтепродуктов // Вавиловский журнал генетики и селекции. – Т. – 26. – №6. – 2022. – С. 575–582.

12. Buzoleva L.S., Bogatyrenko E.A., Repina M.A., Belkova N.L. // Mikrobiologiya. – T. – 86. – №3. – 2017. – C. 317–325.
13. Cabral L., Giovanella P., Pellizzer E.P., Teramoto E.H., Kiang C.H., Duraes ~ Sette L. Microbial communities in petroleum-contaminated sites: Structure and metabolisms // Chemosphere. – T. – 286. – 2022. – C. 17.
14. Lo Giudice A., Casella P., Caruso C., Mangano S., Bruni V. De Domenico M., Michaud L. Occurrence and characterization of psychrotolerant hydrocarbon-oxidizing bacteria from surface seawater along the Victoria Land coast (Antarctica) // Polar Biol. – T. – 33. – 2010. – C. 929–43.
15. Nölvak H., Dang N.P., Truu M., Peeb A., Tiirik K., O’Sadnick M., Truu J. Microbial community dynamics during biodegradation of crude oil and its response to biostimulation in Svalbard seawater at low temperature // Microorganisms. – T. – 9. – 2021. – C. 2425–2448.
16. Peng C., Tanga Y., Yanga H., Hea Y., Liuc Y., Liua D., Qianc Y., Lu L. Time- and compound-dependent microbial community compositions and oil hydrocarbon degrading activities in seawater near the Chinese Zhoushan Archipelago // Marine Pollution Bulletin. – T. – 152. – 2020. – C. 8.
17. Shivas S., Chattopadhyay M.K., Reddy G.S. Diversity of Bacteria from Antarctica, Arctic, Himalayan Glaciers and Stratosphere // Proc Indian Natn Sci Acad. – T. – 85. – № 4. – 2019. – C. 909–923.
18. Sulbaran-Bracho Y., Orellana-Saez M., Castro-Severyn J., Galbán-Malagón C., Castro-Nallar E., Poblete-Castro I. High-level bioremediation of diesel contaminated seawater in continuous and batch bioreactors using Antarctic bacterial consortia: pollutant analysis and microbial community dynamics at cold and mesophilic temperatures // Электронный ресурс <https://ssrn.com/abstract=4183195>
19. Zakaria N.N., Convey P., Gomez-Fuentes C., Zulkharnain A., Sabri S., Shaharuddin N.A., Ahmad S.A. Oil bioremediation in the marine environment of Antarctica: A review and bibliometric keyword cluster analysis // Microorganisms. – T. – 9. – 2021. – C. 419–445.

УДК 574.583, 574.52, 504.746, 551.35

Рубрика 34.35.33

**ВЕРТИКАЛЬНЫЕ ПОТОКИ ОСАДОЧНОГО ВЕЩЕСТВА В ОСЕННЕ-ЗИМНИЙ ПЕРИОД В КАРСКОМ МОРЕ: РОЛЬ ФИТО- И ЗООПЛАНКТОНА**

**VERTICAL FLUXES OF SEDIMENTARY MATTER DURING AUTUMN-WINTER ON THE KARA SEA SHELF: THE ROLE OF PHYTO- AND ZOOPLANKTON**

**Карманов Виктор Алексеевич<sup>1</sup>, Сергеева Валентина Михайловна<sup>1</sup>, Дриц Александр Викторович<sup>1</sup>, Беляев Николай Александрович<sup>1</sup>, Кравчишина Марина Даниловна<sup>1</sup>, Булохов Антон Васильевич<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *ИО РАН, Москва*

**Karmanov Viktor Alekseevich<sup>1</sup>, Sergeeva Valentina Mikhailovna<sup>1</sup>, Drits Alexander Viktorovich<sup>1</sup>, Belyaev Nikolai Alexandrovich<sup>1</sup>, Kravchishina Marina Danilovna<sup>1</sup>, Bulokhov Anton Vasilievich<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Institute of Oceanology RAS, Moscow*

## **Введение**

Состояние Арктического бассейна на сегодняшний день в значительной степени определяется процессами, происходящими в морях Сибирской Арктики, и, в частности Карском море. Ключевой ролью Карского моря для всей арктической экосистемы является то, что оно принимает самый большой пресноводный сток во всем Арктическом бассейне. С реками Обь и Енисей, впадающими в Карское море, поступает более 40% речного стока в Арктику [10]. При этом, с материковым стоком на арктический шельф поступает значительное количество взвешенного и растворенного терригенного материала, и аллохтонного органического углерода, а также загрязнений. В области континентального шельфа-склона происходит геохимическая и биологическая трансформация аллохтонного вещества, поступающего из крупных Сибирских рек. Карское море является относительно хорошо изученным шельфовым арктическим бассейном [7]. Получены данные о гидрофизической и гидрохимической структуре водных масс, позволяющие понять структуру и функционирование пелагической экосистемы. Проанализировано влияние стока рек на характеристики структурно-функциональных особенностей биотических компонентов экосистемы. Исследованию вертикальных потоков осадочного вещества в Карском море уже посвящен ряд работ [2, 4, 5, 7, 8, 9]. Поскольку речной сток определяет интенсивность осадконакопления и состав осадочного материала [2, 3], можно предположить, что на шельфе сезонная изменчивость количественных и качественных характеристик вертикальных потоков может существенно отличаться. В связи с этим, целью настоящей работы было исследование вертикальных потоков осадочного вещества на шельфе Карского моря в осенне-зимний период по материалам автоматической глубоководной седиментационной обсерватории АГОС. Такого рода исследование представляет особый интерес из-за возможности получить представление не только об интенсивности осадконакопления, но и о процессах, происходящих в зимний период, когда море целиком покрыто льдом. Так же актуальность работы обусловлена наблюдаемыми тенденциями к изменению климата в Арктике.

## Материалы и методы

По материалам экспозиции АГОС на шельфе Карского моря (75.7 °с.ш., 72.2 °в.д.) в осенне-зимний период с сентября 2020 (81-й рейс НИС “Академик Мстислав Келдыш”) по декабрь 2020 гг. (83-й рейс НИС “Академик Мстислав Келдыш”) проведено исследование процессов седиментации. Седиментационная обсерватория была установлена на глубине 150 м. Во время постановки ловушечной станции район находился под влиянием речного стока. Для оценки ледовых условий и концентрации льда в районе постановки ловушки были использованы данные спутниковых микроволновых радиометров AMSR-E и AMSR2, размещенные на Арктическом портале (<http://siows.solab.rshu.ru>). Гидрофизические показания водной толщи при постановке и подъеме ловушки были получены при помощи зондирующего комплекса SBE911p/SBE-32, оснащенного датчиками температуры, электропроводности, давления и флуоресценции. Седиментационная ловушка представляла собой конус-пробосборник с площадью 0,5м<sup>2</sup> и ПЭТ-ёмкости в её нижней части с фиксирующим раствором HgCl<sub>2</sub> (1%). Полученный материал был обработан согласно методике [1]. Измерения содержания органического углерода проводили на анализаторе Shimadzu TOC-VCPH (Япония); состав *n*-алканов был определен газохроматографическим методом, модифицированном с [6], на анализаторе Shimadzu QP5050 (Япония). Подсчет клеток фитопланктона, инфузорий и фекальных пеллет зоопланктона проводили с использованием световой микроскопии, для уточнения таксономического состава водорослей использовали сканирующий электронный микроскоп TESCAN Vega 3 (Чехия). Методом газо-жидкостной хроматографии определен состав нормальных углеводородов.

## Результаты

Анализ спутниковых данных показал, что формирование ледового покрова в районе постановки седиментационной ловушки началось в середине декабря 2020 г., а точку постановки сплошной лёд закрыл только после 20-х чисел декабря (рис. 1).

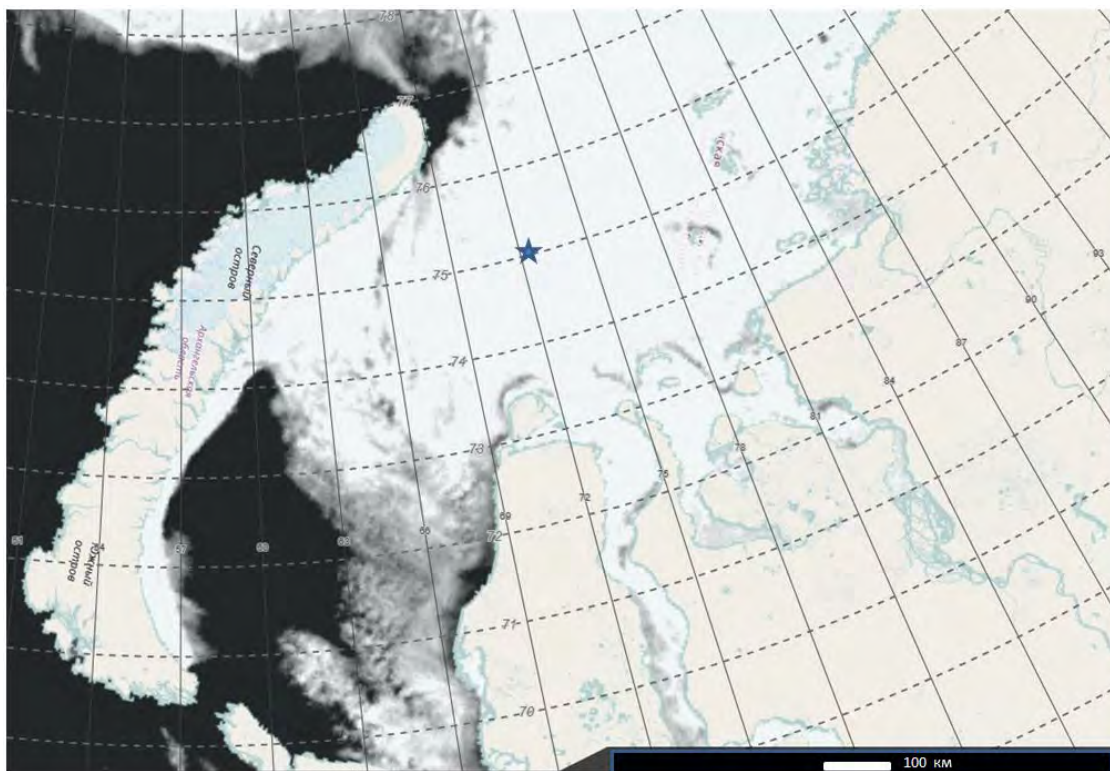


Рисунок 1. Карта ледовой обстановки района постановки ловушки 20.12.2020). Звездочкой отмечена точка постановки седиментационной обсерватории АГОС.

Вертикальное распределение температуры, солёности, мутности и флуоресценции в водной толще при постановке ловушки показано на рис. 2.

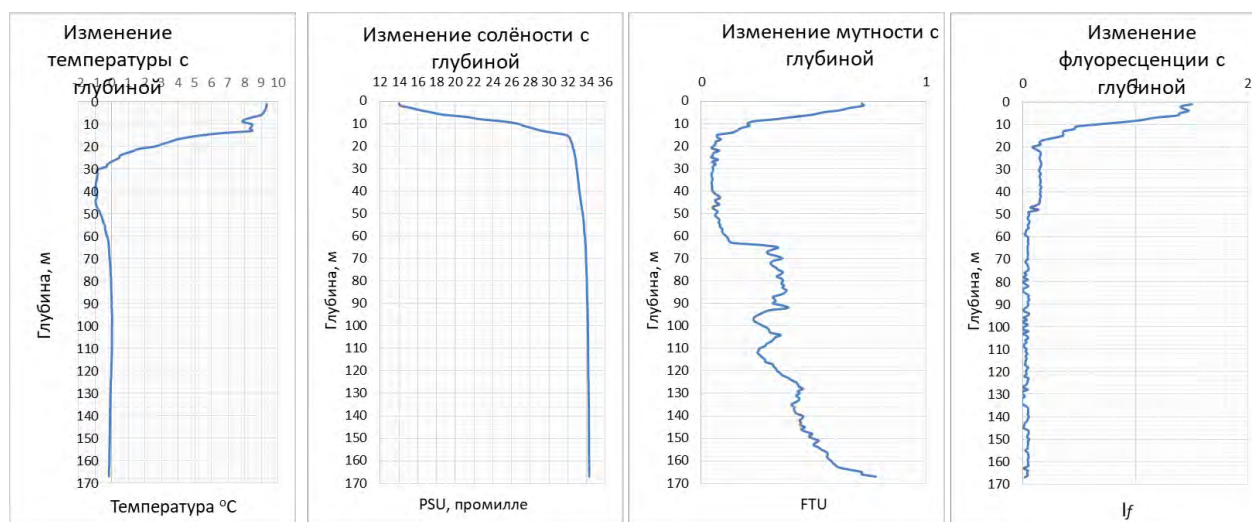


Рисунок 2. Вертикальное распределение гидрофизических параметров и флуоресценции в точке постановки ловушки непосредственно перед её установкой.

Получены оценки изменчивости вертикальных потоков осадочного вещества (табл. 1), взвешенного органического углерода (рис. 3а, табл. 1), кремния, алюминия и частиц планктонного происхождения: фекальных пеллет (FP), фитопланктона и инфузорий (рис. 3б).



Таблица 1. Данные о динамике потоков осадочного вещества (ОВ), взвешенного органического углерода (ВОУ) и вклад  $C_{орг}$  в общий поток осадочного вещества сентября по декабрь 2020 г. на шельфе Карского моря.

Месяц	Поток ОВ, мг/м <sup>2</sup> /сут	Поток ВОУ мгC <sub>орг</sub> /м <sup>2</sup> /сут	% C <sub>орг</sub> от потока ОВ
Сентябрь	755.3	19.74	2.61
Октябрь	936.1	24.11	2,58
Ноябрь	2098.8	47.61	2.27
Декабрь	4477.2	83.71	1.87

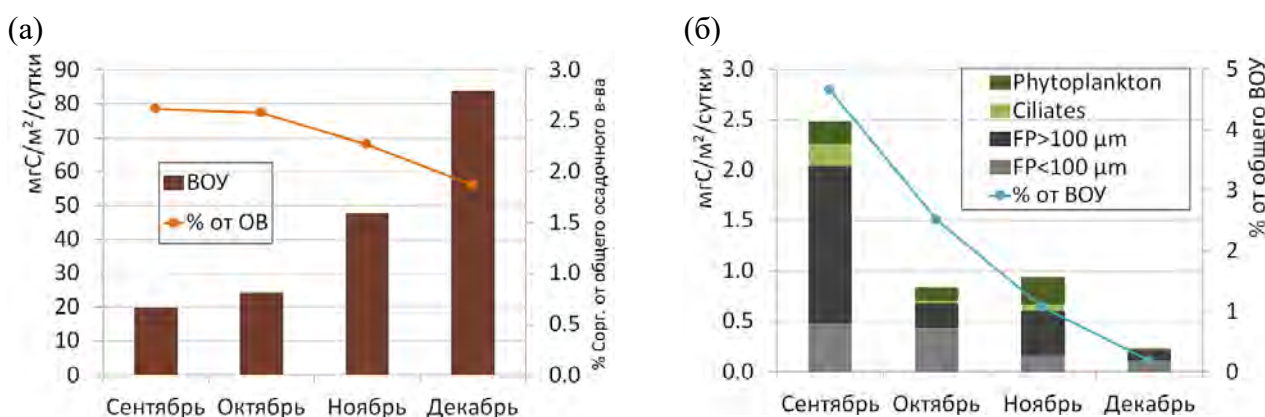


Рисунок 3. Изменчивость вертикальных потоков с сентября по декабрь 2020 г. на шельфе Карского моря: (а) - общего взвешенного органического углерода (ВОУ); (б) - частиц планктонного происхождения: разных размеров фекальных пеллет (FP), фитопланктона (Phytoplankton) и инфузорий (Ciliates) и суммарный вклад планктонных компонентов в поток ВОУ (% от ВОУ).

Динамика потоков ОВ и его компонентов характеризуется выраженным максимумом в декабре (табл. 1, рис. 3а). Величины потока ОВ и ВОУ в этот месяц составляла 4477.2 мг/м<sup>2</sup>/сут. и 83.7мг С/м<sup>2</sup>/сут, соответственно. Минимальные величины потока ОВ и ВОУ (<1000 мг/м<sup>2</sup>/сут и <20 мг С м<sup>2</sup>/сут) были получены в сентябре.

Максимум потоков фекальных пеллет зоопланктона отмечен в сентябре (2.04 мгС /м<sup>2</sup>/сут), в остальное время поток FP не превышал 0.67 мгС /м<sup>2</sup>/сут. Так же для сентября отмечен максимум потока одноклеточного планктона суммарно: фитопланктона и инфузорий – 0.44 мгС/м<sup>2</sup>/сут. В остальное время он был ниже и варьировал в пределах 0.03-0.33 мгС/м<sup>2</sup>/сут.

Определен состав нормальных углеводов. Показано наличие бимодального распределения углеводов с преобладанием чётных гомологов C14-C18 в низкомолекулярной области спектра (планктоногенный генезис) и C25-C31 нечётных в высокомолекулярной области спектра (ОВ терригенного происхождения).

## Заключение

Сезонные изменения потока вещества характеризуются возрастанием количества вещества от начала осени к началу зимы (от 755.3 мг/м<sup>2</sup>/сут до 4477.2 мг/м<sup>2</sup>/сут). Именно в осенние месяцы органический углерод составляет 2.2-2.6% от потока вещества, а в зимний, что



характерно, снижается 1.9%. Сезонные изменения потока органического углерода обусловлены седиментацией разных компонентов планктоногенного происхождения, в основном фекальных пеллет. Суммарный вклад частиц планктонного происхождения в осенне-зимний период колебался в диапазоне 0.18-4.65 % от потока ВОУ.

Анализ результатов исследований и данных, полученных в 2000-е годы прошлого десятилетия, показал, что наблюдаемые климатические изменения привели к изменениям количественных характеристик процессов седиментации. Отмеченные различия в величинах валового потока и потока органического углерода могут быть проявлением межгодовой изменчивости. Данные по составу компонентов планктонного происхождения в осадочном материале и их вкладу в поток органического углерода во многом согласуются с результатами, полученными ранее. Результаты проведенного исследования показывают, что процесс седиментации на континентальном шельфе Карского моря в значительной степени контролируется влиянием пресноводного стока Сибирских рек.

### Финансирование

Исследование выполнено по теме госзадания FMWE-2021-0007.

### Список литературы

1. Дриц А. В., Беляев Н. А., Карманов В. А., Флинт М. В. Применение метода высокотемпературного сжигания для измерения содержания органического углерода в мелкоразмерном ( $\leq 1$  мм) зоопланктоне и фекальных пеллетах // *Океанология*. – 2023. – Том 63. – № 1. – С. 160–168
2. Дриц А.В., Кравчишина М.Д., Пастернак А.Ф. и др. Роль зоопланктона в вертикальном потоке вещества в Карском море и море Лаптевых в осенний сезон // *Океанология*. – 2017. – Том 57. – № 6. – С. 934–948.
3. Дриц А.В., Пастернак А.Ф., Кравчишина М.Д. и др. Роль планктона в вертикальном потоке вещества на шельфе Восточно-Сибирского моря: влияние стока р. Индигирки // *Океанология*. – 2019. – Том 59. – № 5. – С. 746–754.
4. Лисицын А.П., Виноградов М.Е. Международная высокоширотная экспедиция в Карское море (49-й рейс научно-исследовательского судна “Дмитрий Менделеев”) // *Океанология*. – 1994. – Том 34. – № 5. – С. 643–651.
5. Лисицын А.П., Шевченко В.П., Виноградов М.Е. и др. Потоки осадочного вещества в Карском море и в эстуариях Оби и Енисея // *Океанология*. – 1994. – Том 34. – № 5. – С. 748–758.
6. Пересыпкин В.И., Смуров А.В., Шульга Н.А., Сафонова Е.С., Смурова Т.Г., Банг Ч.В. Состав органического вещества воды, взвеси и донных осадков залива Нячанг (Вьетнам, Южно-Китайское море) // *Океанология*. – 2011. – Том 51. – № 6. – С. 1020-1029.
7. Drits A.V., Kravchishina M.D., Sukhanova I.N., Belyaev N.A., Flint M.V. Seasonal Variability in the Sedimentary Matter Flux on the Shelf of the Northern Kara Sea // *Oceanology*. – 2021. – Vol. 61. – P. 984–993.
8. Gaye B., Fahl K., Kodina L.F. et al. Particulate matter fluxes in the southern and central Kara Sea compared to sediments: Bulk fluxes, amino acids, stable carbon and nitrogen isotopes, sterols and fatty acids // *Continental Shelf Res.* – 2007. – Vol. 27. – P. 2570–2594.
9. Gaye-Haake B., Unger D., Nothig E.-M. et al. Particle fluxes from short-term sediment trap deployments in late summer in the southern Kara Sea // *Siberian River Run-off in the Kara Sea:*

Characterization, Quantification, Variability, and Environmental Significance / Eds. Stein R. et al. Amsterdam: Elsevier, – 2003. – P. 309–328.

10. Gordeev V.V., Martin J.M., Sidorov I.S., Sidorova M.V. A reassessment of the Eurasian river input of water, sediment, major elements, and nutrients to the Arctic Ocean // Am. J. Sci. – 1996. – Vol. 296. – P. 664–691.

Приложение

---

Appendix

# Том I (IV) / Volume I (IV)

## Оглавление / Contents

### Программа конференции / Conference programme

### Тезисы / Abstracts

#### Пленарная сессия

СПЕКТРАЛЬНЫЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ НИШИ В БЕЛОМОРСКИХ ПРИБРЕЖНЫХ МЕРОМИКТИЧЕСКИХ ВОДОЕМАХ <u>Краснова Е.Д.</u> , Воронов Д.А., Лабунская Е.А., Лобышев В.И., Соколовская Ю.Г. ....	19
---	----

#### Гидрология суши. Устные доклады

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ СТОКА РЕК КРЫМА В 21 ВЕКЕ <u>Калугин А.С.</u> , Мотовилов Ю.Г., Попова Н.О., Миллионщикова Т.Д. ....	26
РЕЗУЛЬТАТЫ ПОЛЕВЫХ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ДЕЛЬТЕ РЕКИ ЛЕНЫ В АВГУСТЕ 2022 Г. <u>Магрицкий Д.В.</u> , Чалов С.Р., Гармаев Е.Ж., Прокопьева К.Н. ....	31
СЦЕНАРНАЯ ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЙ БУДУЩЕГО ВОДНОГО РЕЖИМА Р. УРАЛ <u>Попова Н.О.</u> , Калугин А.С., Мотовилов Ю.Г. ....	37
СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ГОРОДСКОМ (НОВОСПАССКИЙ ПРУД) И ФОНОВОМ (ОЗЕРО ГЛУБОКОЕ) ВОДОЕМАХ <u>Гречушников М.Г.</u> ....	42
ВНУТРИГОДОВОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СРЕДНЕГО ТЕЧЕНИЯ РЕКИ ЛЕНА <u>Дрегваль М.С.</u> , Решин Н.А., Гайдукова Е.В. ....	46
ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ВОДНОГО СТОКА Р. КОЛЫМЫ К СОВРЕМЕННЫМ КЛИМАТИЧЕСКИМ ИЗМЕНЕНИЯМ <u>Лисина А.А.</u> , Крыленко И.Н., Калугин А.С., Сазонов А.А., Фролова Н.Л., Мотовилов Ю.Г. ....	50
УДИВИТЕЛЬНАЯ ГИДРОДИНАМИКА ПРИЛИВНЫХ УСТЬЕВ <u>Алабян А.М.</u> , Демиденко Н.А., Панченко Е.Д. ....	55
ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДА ГАРМОНИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ТРАНСФОРМИРОВАННЫХ УРОВНЕЙ ВОДЫ В УСТЬЯХ СЕВЕРНОЙ ДВИНЫ И ПЕЧОРЫ <u>Панченко Е.Д.</u> , Лебедева С.В. ....	58
МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЧЕНИЙ И ТРАНСПОРТ НАНОСОВ В ГИПЕРПРИЛИВНОМ ЭСТУАРИИ РЕКИ СЁМЖА (БЕЛОМОРСКИЙ БАССЕЙН) <u>Федорова Т.А.</u> , Беликов В.В., Алабян А.М., Демиденко Н.А. ....	63
ОДНОМЕРНАЯ ГИДРОДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРИЛИВА В УСТЬЕ РЕКИ ПЕЧОРА <u>Алавердова А.А.</u> ....	71
ПАМПИНГ-ЭФФЕКТ В ГЕОСРЕДАХ <u>Лапина Л.Э.</u> ....	79
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДОПЛЕРОВСКОГО АКУСТИЧЕСКОГО ПРОФИЛОГРАФА ТЕЧЕНИЯ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ СУММАРНОГО СТОКА НАНОСОВ <u>Иванов В.А.</u> , Чалов С.Р. ....	83
ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СИСТЕМЫ ПРИБРЕЖНЫХ ОБВОДНЁННЫХ КАРЬЕРОВ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ БАЛТИКИ <u>Домнин Д.А.</u> , Завада Д.Е. ....	90
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛЕДОВОГО ЗАТОРА В ЗОНЕ РАСШИРЕНИЯ РУСЛА <u>Крутов А.Н.</u> , Школьников С.Я. ....	96
ОСОБЕННОСТИ ТУМАНОВ КАСПИЙСКОГО МОРЯ <u>Наурызбаева Ж.К.</u> , Базарбай Л. ....	103
ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НА СКОРОСТЬ МИНЕРАЛИЗАЦИИ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В АРКТИЧЕСКИХ ОЗЕРАХ <u>Алексеева Н.К.</u> , Евграфова С.Ю., Децура А.Е., Гузева А.В. ....	108

ПРИМЕНЕНИЕ ПОДВОДНОГО ЗОНДА-ПРОФИЛОГРАФА «ВИНЧИ» В ЛИМНОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ (НА ПРИМЕРЕ ОЗЕРА ГЛУБОКОЕ, РУЗСКИЙ РАЙОН, МОСКОВСКАЯ ОБЛАСТЬ) <u>Островский А.Г.</u> , Кочетов О.Ю., Швоев Д.А., Волков С.В., Зацепин А.Г., Мысливец И.В., Коровчинский Н.М. ....	111
ВЛИЯНИЕ ТЕПЛООВОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ КОЛЬСКОЙ АЭС НА МЕТАБОЛИЗМ РЫБ ОЗ. ИМАНДРА <u>Гашкина Н.А.</u> .....	118
ВЛИЯНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ВЫПАДЕНИЯ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ НА ФОРМИРОВАНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПОЧВЕННЫХ ВОД ВАЛДАЙСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА <u>Баранов Д.Ю.</u> .....	123
СБАЛАНСИРОВАННАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ: ИНТЕГРАЦИЯ РАЗНОРОДНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРИ ПОСТРОЕНИИ МОДЕЛИ ТРАНСФОРМАЦИИ АТМОСФЕРНЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ (МЕДНО-НИКЕЛЕВЫЕ КОМБИНАТЫ) НА ВОДОСБОРЕ И В ОЗЕРЕ <u>Соколов А.В.</u> , Моисеенко Т.И., Гашкина Н.А. ....	128
МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА ФОСФОРА В ГРУНТОВЫХ ВОДАХ, ПИТАЮЩИХ ИВАНЬКОВСКОЕ ВОДОХРАНИЛИЩЕ (РЕКА ВОЛГА) <u>Лапина Е.Е.</u> , Кудряшова В.В. ....	134
ЗАГРЯЗНЕНИЕ ВОД МЕТАЛЛАМИ В ПЕРИОД СНИЖЕНИЯ АНТРОПОГЕННЫХ НАГРУЗОК И ПОТЕПЛЕНИЯ КЛИМАТА (НА ПРИМЕРЕ КОЛЬСКОГО СЕВЕРА) <u>Базова М.М.</u> , Моисеенко Т.И. ....	140
МИНЕРАЛИЗАЦИЯ И РАСХОДЫ ВОДЫ РЕК ЦЕНТРАЛЬНОГО КАВКАЗА В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ <u>Кучменова И.И.</u> , Атабиева Ф.А. ....	147
ОСОБЕННОСТИ СЕЗОННОЙ И МЕЖГОДОВОЙ ДИНАМИКИ КОНЦЕНТРАЦИИ ХЛОРОФИЛЛА-А В ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДАХ ОНЕЖСКОГО ОЗЕРА ЗА 1998-2022 <u>Новикова Ю.С.</u> , Бакалагин В.Н. ....	152
ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ (ГИС) И НАБОРОВ ОТКРЫТЫХ ДАННЫХ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК РЕК И РЕЧНЫХ БАСЕЙНОВ (НА ПРИМЕРЕ, БАСЕЙНА РЕКИ ПО (ИТАЛИЯ)) <u>Игнатъева М.Н.</u> .....	157

## Гидрология суши. Стендовые доклады

СЕЗОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ВОД БАСЕЙНА РЕКИ СЕТУНЬ <u>Соловьева С.С.</u> , Ефимова Л.Е., Ерина О.Н., Терешина М.А., Соколов Д.И. ....	162
ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЗАТОРОВ ЛЬДА НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ (НА ПРИМЕРЫ РЕКИ СУХОНЫ) <u>Цуй Ю.</u> , Фролова Н.Л., Семенова Н.К. ....	168
ЧТО ТАКОЕ ПРОСАДКА ГРУНТА В АРКТИЧЕСКИХ ДЕЛЬТАХ? <u>Долгополова Е.Н.</u> .....	172
ПРОСАДКА ГРУНТА В ДЕЛЬТАХ РЕК: ПРИЧИНЫ И ПОСЛЕДСТВИЯ <u>Михайлова М.В.</u> , Исупова М.В. ....	178
АНАЛИЗ ЗАГРЯЗНЕНИЯ Р. СЕТУНИ ЧАСТИЦАМИ МИКРОПЛАСТИКА <u>Нифантьева В.И.</u> , Алиева А.М., Андропова С.М., Артамонов М.С., Соколова Д.И., Беркович А.К., Ефимова А.А., Лисина А.А., Сазонов А.А. ....	186
МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОГРАФОВ Р. ТОМЬ НА ОСНОВЕ РАЗЛИЧНЫХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ <u>Разаренова А.Д.</u> , Крыленко И.Н. ....	192
НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ РАСЧЕТА ТЕПЛООВОГО СТОКА РЕК, НЕ ОХВАЧЕННЫХ СТАЦИОНАРНЫМ ГИДРОЛОГИЧЕСКИМ МОНИТОРИНГОМ <u>Магрицкий Д.В.</u> .....	197
ОЦЕНКА ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ДИНАМИКИ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ РЕКИ ОХТА <u>Ярмалоян А.А.</u> , Урусова Е.С. ....	204
ИЗМЕНЧИВОСТЬ ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НА РАЗЛИЧНЫХ УЧАСТКАХ ТОРФЯНИКА ВИТТГИРЕНСКОГО <u>Борисенко А.Д.</u> , Напреенко М.Г., Королёва Ю.В. ....	209
ОБЗОР МЕТОДОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ ОЗЕРНО-РЕЧНЫХ СИСТЕМ И ИХ ГИДРОЛОГИЧЕСКОЙ ИЗУЧЕННОСТИ В СЕВЕРО-ЗАПАДНОМ РЕГИОНЕ РФ <u>Батмазова А.А.</u> , Гайдукова Е.В., Винокуров И.О. ....	216
ДИНАМИКА КАЧЕСТВА ВОД РЕКИ РУДНАЯ БАСЕЙНА ЯПОНСКОГО МОРЯ <u>Костык В.А.</u> , Кролевецкая Ю.В., Вихренко С.В. ....	221

## Морские млекопитающие. Устные доклады

ГЕМАТОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОФИЛИ БЕЛЫХ МЕДВЕДЕЙ (URSUS MARITIMUS) БАРЕНЦЕВОМОРСКОЙ И КАРСКОЙ СУБПОПУЛЯЦИЙ <u>Алексеева Г.С.</u> , Иванов Е.А., Мизин И.А., Платонов Н.Г., Мордвинцев И.Н., Рожнов В.В., Найденко С.В. ....	226
---	-----

ЗАРАЖЕННОСТЬ БАЙКАЛЬСКОЙ НЕРПЫ ( <i>PUSA SIBIRICA</i> GMELIN, 1788) НЕМАТОДОЙ <i>CONTRACAECUM OSCULATUM</i> BAICALENSIS Суворова И.В., Белокобыльский И.Ф. ....	234
ГЕМАТОЛОГИЧЕСКИЕ И ЦИТОМОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЕРИФЕРИЧЕСКОЙ КРОВИ БАЙКАЛЬСКОЙ НЕРПЫ ( <i>PUSA SIBIRICA</i> GMELIN, 1788) Суворова И.В., Мищенко П.В., Ячмень В.А., Пущин И.И. ....	237
ГЕНЫ ГЛАВНОГО КОМПЛЕКСА ГИСТОСОВМЕСТИМОСТИ В ПОПУЛЯЦИОННО-ГЕНЕТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ – НА ПРИМЕРЕ ИЗУЧЕНИЯ ЛАСТОНОГИХ Мещерский И.Г. ....	243
ОСОБЕННОСТИ АЛЛЕЛЬНОГО РАЗНООБРАЗИЯ ГЕНОВ ГЛАВНОГО КОМПЛЕКСА ГИСТОСОВМЕСТИМОСТИ (МНС) КЛАССА II ТЮЛЕНЕЙ ЗАКРЫТЫХ ВОДОЕМОВ Мещерский С.И., Мещерский И.Г., Крюкова Н.В., Соловьева М.А., Болтнев Е.А., Рожнов В.В. ....	246
КОГНИТИВНЫЕ ФУНКЦИИ МОРСКИХ МЛЕКОПИТАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ ДЕФИЦИТА СНА Лямин О.И. ....	250
ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ГОРМОНОВ В ВИБРИССАХ БАЙКАЛЬСКОЙ ( <i>PUSA SIBIRICA</i> , GMELIN, 1788) И КАСПИЙСКОЙ ( <i>PUSA CASPICA</i> , GMELIN, 1788) НЕРП Шибанова П.Ю., Соловьева Мария Андреевна, Рожнов В.В., Найдено С.В. ....	256
МОНИТОРИНГ ЗАЛЕЖЕК ЛАДОЖСКОЙ НЕРПЫ В ШХЕРНО-ОСТРОВНОМ РАЙОНЕ ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА С 1989 ПО 2021 ГГ. Медведев Н.В., Сипиля Т., Дудакова Д.С. ....	263
НОВЫЕ ДАННЫЕ О РАЗМНОЖЕНИИ БАЛТИЙСКОГО СЕРОГО ТЮЛЕНЯ <i>HALICHOERUS GRYPUS MACRORHYNCHUS</i> В РОССИЙСКОЙ ЧАСТИ ЮЖНОЙ БАЛТИКИ В 2021-2023 ГГ. Шадрина А.В., Ежова Е.Е. ....	267
МИГРАЦИОННАЯ АКТИВНОСТЬ КИТООБРАЗНЫХ В АКВАТОРИИ МЫСА ВАНКАРЕМ (АРКТИЧЕСКОЕ ПОБЕРЕЖЬЕ ЧУКОТСКОГО МОРЯ) В 2017- 2021 ГГ. Загребельный С.В. ....	274
ОЦЕНКА КОНЦЕНТРАЦИИ ЧАСТИЦ ПЛАСТИКА В СОДЕРЖИМОМ ЖЕЛУДКА СЕРЫХ КИТОВ ( <i>ESCHRICHTIUS ROBUSTUS</i> ) МЕЧИГМЕНСКОГО ЗАЛИВА (БЕРИНГОВО МОРЕ, ЧУКОТКА) Астафурова А.В., Ильинский В.В., Ильина О.В., Елисеев А.А. ....	280
НАБЛЮДЕНИЯ КИТООБРАЗНЫХ НА ТРАЛОВОМ ПРОМЫСЛЕ В ЧЕРНОМ МОРЕ В 2023 ГОДУ Лыгановская В.Д., Барабашин Т.О. ....	284
ИЗМЕНЕНИЯ В ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОМ РАСПРЕДЕЛЕНИИ БЕЛУХ ( <i>DELPHINAPTERUS LEUCAS</i> ) НА АКВАТОРИИ СОЛОВЕЦКОГО РЕПРОДУКТИВНОГО СКОПЛЕНИЯ ПОСЛЕ 20 ЛЕТ ЛОДОЧНОГО ТУРИЗМА (2000–2021 ГГ.) Краснова В.В., Беликов Р.А., Чернецкий А.Д., Таганова М.М., Беликова Е.А. ....	288
СИВУЧ И ПРОМЫШЛЕННОЕ РЫБОЛОВСТВО - ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ КОНКУРЕНЦИИ ЗА ОБЩИЕ ВИДЫ ГИДРОБИОНТОВ Усатов И.А., Труханова И.С., Алтухов А.В., Бурканов В.Н. ....	295
РАСПРЕДЕЛЕНИЕ И ЧИСЛЕННОСТЬ БЕЛОМОРДОГО ДЕЛЬФИНА В РОССИЙСКИХ ВОДАХ БАРЕНЦЕВА МОРЯ ЛЕТОМ-ОСЕНЬЮ 2012-2021 ГГ. Клепиковский Р.Н., Кузнецов Н.В. ....	303
УЧЁТ ТЮЛЕНЕЙ НА П-ОВЕ ФАЙЛДС, О. КИНГ-ДЖОРДЖ (ВАТЕРЛОО) В ЯНВАРЕ – МАРТЕ 2023 ГОДА Чукмасов П.В., Тимшин А.А., Рожнов В.В., Помелов В.Н., Клепиков А.В., Глазов Д.М. ....	310
ВОЗМОЖНОСТЬ КОНТРОЛЯ ЛЕЖБИЦ МОРЖЕЙ НА АРКТИЧЕСКИХ ОСТРОВАХ С ПОМОЩЬЮ СПУТНИКОВЫХ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ СРЕДНЕГО РАЗРЕШЕНИЯ Кучейко А.А., Бадак Л.А., Чукмасов П.В., Глазов Д.М., Светличная Е.В., Ткачук М.О., Литвинович Н.В. ....	318
ПЕРЕМЕЩЕНИЯ БАЙКАЛЬСКИХ НЕРП ( <i>PUSA SIBIRICA</i> , GMELIN, 1788) ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВОГО ПРОСЛЕЖИВАНИЯ Ильина П.О., Пилипенко Г.Ю., Железный О.М., Соловьёва М.А., Глазов Д.М., Рожнов В.В. ....	322
ПЕРЕМЕЩЕНИЯ КАСПИЙСКОЙ НЕРПЫ ( <i>PUSA CASPICA</i> GMELIN, 1788) ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВОЙ ТЕЛЕМЕТРИИ Пилипенко Г.Ю., Соловьева М.А., Глазов Д.М., Климов Ф.В., Ербулеков С.Т., Рожнов В.В. ....	328
ПЕРЕМЕЩЕНИЯ МОРЖЕЙ АРХИПЕЛАГА ЗЕМЛЯ ФРАНЦА-ИОСИФА И ИХ КОРМОВЫЕ РЕСУРСЫ Соловьева М.А., Гебрук А.А., Артемьева С.М., Глазов Д.М., Рожнов В.В., Ермилова Ю.В., Лазарева Р.Е. ....	334
МНОГОЛЕТНИЙ МОНИТОРИНГ ОХОТОМОРСКОЙ ПОПУЛЯЦИИ СЕРЫХ КИТОВ ( <i>ESCHRICHTIUS ROBUSTUS</i> ): САХАЛИН, КАМЧАТКА, МЕКСИКА Бурдин А.М., Волкова Е.В. ....	340
РЕЗУЛЬТАТЫ АВИАМОНИТОРИНГА БЕЛЫХ МЕДВЕДЕЙ И МЕСТ ИХ ОБИТАНИЯ НА ОСТРОВЕ ВРАНГЕЛЯ С ПОМОЩЬЮ ЗВЕНА БПЛА С БОЛЬШОЙ ДАЛЬНОСТЬЮ ПОЛЕТОВ Черноок В.И., Кревер О.Н., Груздев А.Р., Черноок И.В., Михалин В.А., Васильев А.Н. ....	345
ИСКУССТВЕННЫЕ НЕЙРОННЫЕ СЕТИ В ЗАДАЧЕ ИДЕНТИФИКАЦИИ ЗВУКОВЫХ СИГНАЛОВ АФАЛИН В ДАННЫХ ПАССИВНОГО АКУСТИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА Тышко А.А., Криницкий М.А., Шатравин А.В., Беликов Р.А. ....	349



## Морские млекопитающие. Стендовые доклады

АНАЛИЗ ВЫБРОСОВ МОРСКИХ МЛЕКОПИТАЮЩИХ В АЗОВСКОМ МОРЕ ЗА ПОСЛЕДНИЕ 15 ЛЕТ Цыба О.А., Барабашин Т.О.....	358
НОВЫЕ ДАННЫЕ О СРЕДНЕЙ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ЖИЗНИ ЧЕРНОМОРСКИХ АФАЛИН В ПРИРОДЕ Суворова И.В., Постникова А.Н., Коростелева А.В.....	366
СЛУЧАЙ ТЯЖЕЛОГО ПАРАЗИТОЗА У МОРСКОЙ СВИНЬИ, ВЫБРОСИВШЕЙСЯ ЖИВОЙ НА АЗОВСКОМ ПОБЕРЕЖЬЕ КРЫМА В 2020 Г. Суворова И.В., Постникова А.Н., Коростелева А.В.....	369
ВСТРЕЧИ МОРСКИХ МЛЕКОПИТАЮЩИХ В АТЛАНТИЧЕСКОМ ОКЕАНЕ В ДЕКАБРЕ 2021 ГОДА – АПРЕЛЕ 2022 ГОДА Чернецкий А.Д., Чукмасов П.В., Третьяков А.В., Третьякова Л.Г., Глазов Д.М., Рожнов В.В.....	373
МОРФОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПЛАЦЕНТЫ У ЧЕРНОМОРСКИХ АФАЛИН ( <i>TURSIOPS TRUNCATUS PONTICUS</i> ) Семенов В.А., Авдеев В.С., Розанова Е.И., Зацепилов И.А., Великородная Ю.И.....	381
СОДЕРЖАНИЕ И ПРИРОДА НЕФТЕПРОДУКТОВ В КАСПИЙСКОМ ТЮЛЕНЕ Кудрявцева А.Д., Бродский Е.С., Шелепчиков А.А., Мир-Кадырова Е.Я., Соловьёва М.А., Рожнов В.В.....	385
УЧЕТЫ БАЙКАЛЬСКОЙ НЕРПЫ ( <i>PUSA SIBIRICA</i> , GMELIN, 1788) НА БЕРЕГОВЫХ ЛЕЖИЩАХ О. ТОНКИЙ АРХИПЕЛАГА УШКАНЬИ ОСТРОВА ПО ДАННЫМ ФОТОЛОВУШЕК Ильина П.О., Пилипенко Г.Ю., Шибанова П.Ю., Соловьёва М.А., Глазов Д.М., Разуваев А.Е., Овдин М.Е., Рожнов В.В.....	390
ДИНАМИКА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛАРГОЙ ( <i>PHOCA LARGHA</i> ) ЛЕТНЕЙ ЗАЛЁЖКИ НА О. ТОКИ Соловьёва М.А., Глазов Д.М., Шибанова П.Ю., Пилипенко Г.Ю., Рожнов В.В.....	394
БИОАКУСТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МОРЖЕЙ У О. МАТВЕЕВ В ПЕЧОРСКОМ МОРЕ Беликов Р.А., Шатравин А.В., Панова Е.М., Кочетов О.Ю., Толстой М.Л., Богомолова Ю.М.....	400
РЕТИНАЛЬНАЯ РАЗРЕШАЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ИРРАВАДИЙСКОГО ДЕЛЬФИНА ( <i>ORCAELLA BREVIROSTRIS</i> ) ПО ДАННЫМ ТОПОГРАФИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ СЕТЧАТКИ Масс А.М.....	408
НАРУШЕНИЕ СЛУХОВОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ У ДЕЛЬФИНА АФАЛИНЫ <i>TURSIOPS TRUNCATUS</i> Левченко А.В., Сысуева Е.В.....	412
АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ТУРИСТОВ НА ПОВЕДЕНИЕ БАЙКАЛЬСКИХ НЕРП ( <i>PUSA SIBIRICA</i> , GMELIN, 1788) НА О. ТОНКИЙ АРХИПЕЛАГА УШКАНЬИ ОСТРОВА Шибанова П.Ю., Ильина П.О., Пилипенко Г.Ю., Соловьёва М.А., Рожнов В.В.....	416
РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ОХОТОМОРСКОЙ (ЗАПАДНОЙ) ПОПУЛЯЦИИ СЕРОГО КИТА ( <i>ESCHRICHTIUS ROBUSTUS</i> ) НА СЕВЕРО-ВОСТОЧНОМ ШЕЛЬФЕ О. САХАЛИН В 2021-2022 ГГ. Моисеева А.В., Бурдин А.М.....	423
ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЮЛЕНЕЙ АНТАРКТИКИ Сомов А.Г., Вагин А.В., Стрюков А.А.....	428
АНАЛИЗ МИКРОБИОМА ВЕРХНИХ ДЫХАТЕЛЬНЫХ ПУТЕЙ ОХОТОМОРСКОЙ ПОПУЛЯЦИИ ГРЕНЛАНДСКОГО КИТА ( <i>BALAENA MYSTICETUS</i> ) Цидулко А.Г., Сутормин Д.А., Джикия Е.Л., Цидулко Г.А., Раева А.С.....	432
ПОДВОДНОЕ ВОКАЛЬНОЕ ПОВЕДЕНИЕ САМЦОВ АТЛАНТИЧЕСКОГО МОРЖА <i>ODOBENUS ROSMARUS ROSMARUS</i> В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД Панова Е.М., Толстой М.Л., Беликов Р.А.....	440
ИНДИВИДУАЛЬНАЯ АКУСТИЧЕСКАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ КАК НОВЫЙ ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ КИТООБРАЗНЫХ: ПИЛОТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ БЕЛУХ <i>DELPHINAPTERUS LEUCAS</i> Панова Е.М., Агафонов А.В.....	444
ПОКАЗАТЕЛИ НАГУЛА СЕРЫХ КИТОВ МЕЧИГМЕНСКОГО ЗАЛИВА Белокобыльский И.Ф., Чакилев М.В.....	450
ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СЕРЫМИ КИТАМИ КАМЧАТСКОГО НАГУЛЬНОГО РАЙОНА Волкова Е.В.....	452
РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МОРСКИХ МЛЕКОПИТАЮЩИХ В ОНЕЖСКОМ ЗАЛИВЕ БЕЛОГО МОРЯ В ИЮЛЕ-АВГУСТЕ 2019 Г. Светочева О.Н., Светочев В.Н.....	457

## Рациональное природопользование. Устные доклады

УРОВНИ И ПРИРОДА УГЛЕВОДОРОДОВ В ПРИБРЕЖНЫХ РАЙОНАХ РОССИЙСКОГО СЕКТОРА ЧЕРНОГО МОРЯ В ПОСЛЕДНИЕ ГОДЫ Немировская И.А., Храмцова А.В., Коновалов Б.В.....	462
СОСТАВ И СОДЕРЖАНИЕ ПОЛИЦИКЛИЧЕСКИХ АРОМАТИЧЕСКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ ДОННЫХ ОСАДКОВ БАРЕНЦЕВОМ И НОРВЕЖСКОМ МОРЯХ Колтовская Е.В., Немировская И.А.....	468
ЭКОТОКСИКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ МОРЕЙ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА РОССИИ Цыганков В.Ю.....	472

ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ ГЕНОВ АНТИБИОТИКОРЕЗИСТЕНТНОСТИ И ЭКОТОКСИЧНОСТИ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ АЗОВСКОГО МОРЯ <u>Сазыкина М.А.</u> , Хмелевцова Л.Е., Карчава Ш.К., Климова М.В., Лановая О.Д., Хаммами М.И., Барабашин Т.О., Сазыкин И.С. ....	476
ГЕНЫ АНТИБИОТИКОРЕЗИСТЕНТНОСТИ И ЭКОТОКСИКОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ РОССИЙСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ ЧЕРНОГО МОРЯ <u>Сазыкин И.С.</u> , Онасенко К.А., Ажогина Т.Н., Барабашин Т.О., Карчава Ш.К., Климова М.В., Лицевич А.Р., Сазыкина М.А. ....	479
СРАВНЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИЙ СОЗ В КАМБАЛОВЫХ РЫБАХ ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫХ МОРЕЙ РОССИИ <u>Донец М.М.</u> , Метревели В.Е., Миронова Е.К., Цыганков В.Ю. ....	484
ГОСУДАРСТВЕННОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ЛОСОСЕВОГО ПРОМЫСЛА НА ДАЛЬНОМ ВОСТОКЕ РОССИИ КАК ЭЛЕМЕНТ КОМПЛЕКСНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРИБРЕЖНЫМИ ЗОНАМИ <u>Никифоров А.И.</u> , Канзепарова А.Н., Шитова М.В. ....	489
ВЛИЯНИЕ ФОРЕЛЕВЫХ ХОЗЯЙСТВ НА ПРИБРЕЖНЫЕ АКВАТОРИИ <u>Лапенков А.Е.</u> .....	495
ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ В УПРАВЛЕНИИ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕМ НА ПРИМЕРЕ ПОБЕРЕЖЬЯ КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ <u>Сукманова Т.В.</u> , Белов Н.С. ....	498
ЛИНЕЙНЫЕ И НЕЛИНЕЙНЫЕ АСПЕКТЫ ПЕРЕДАЧНОЙ ФУНКЦИИ ОТ ВОЗВЫШЕНИЙ СВОБОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ К ОРБИТАЛЬНЫМ СКОРОСТЯМ СВОБОДНЫХ И СВЯЗАННЫХ ВОЛН <u>Кузнецов С.Ю.</u> , Сапрыкина Я.В., Айдоган Б., Аят Б., Штремель М.Н. ....	506
МОДЕЛИРОВАНИЕ СЕЗОННОЙ И МЕЖГОДОВОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ БИОГЕОХИМИЧЕСКИХ ЦИКЛОВ ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА <u>Исаев А.В.</u> , Рябченко В.А. ....	511
ПОДХОДЫ К ФОРМИРОВАНИЮ МОРСКИХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ СЕТЕЙ (НА ПРИМЕРЕ ОХОТСКОГО МОРЯ) <u>Иванов А.Н.</u> , Фазлуллин С.М. ....	516
ЭКОСИСТЕМНЫЙ ПОДХОД В УПРАВЛЕНИИ МОРСКИМИ РЕСУРСАМИ НА РЕГИОНАЛЬНОМ УРОВНЕ <u>Гринфельдт Ю.С.</u> , Климанова О.А. ....	521
КУБ ДАННЫХ БЕЛОГО МОРЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ МЕСТООБИТАНИЙ МОРСКИХ ЖИВОТНЫХ <u>Титов Г.С.</u> .....	528
ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ВОЗРАТНОЙ МИГРАЦИИ НЕРКИ В УСТЬЕ РЕКИ ФРЕЙЗЕР С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ <u>Борисов М.А.</u> , Криницкий М.А. ....	533
ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ РАЗЛИВА НЕФТИ ПРИ ПОГРУЗКЕ В ТАНКЕР С МОРСКОЙ ЛЕДОСТОЙКОЙ СТАЦИОНАРНОЙ ПЛАТФОРМЫ "ПРИРАЗЛОМНАЯ" <u>Долгов А.А.</u> , Барышев Е.М., Зиновьев С.В., Тузов Ф.К. ....	538
ПРОБЛЕМЫ КОМПЛЕКСНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРИБРЕЖНЫМИ ЗОНАМИ КАСПИЙСКОГО МОРЯ <u>Гришко А.В.</u> .....	546
РАЦИОНАЛЬНОЕ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ В УСЛОВИЯХ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ РОССИИ: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ <u>Глебов В.В.</u> , Никитин Д.С. ....	549
ПРАВОВЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОХРАНЫ МОРСКОЙ СРЕДЫ ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ НЕФТЬЮ И НЕФТЕПРОДУКТАМИ <u>Пономарев М.В.</u> .....	557
ПРИМЕНЕНИЕ БПЛА ДЛЯ МОНИТОРИНГА МОРСКОГО МУСОРА НА ПОБЕРЕЖЬЕ АРХИПЕЛАГА НОВАЯ ЗЕМЛЯ В 2023 Г. <u>Ершова А.А.</u> , Антонов Е.В., Голубева Е.А. ....	562
УПРАВЛЕНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЕМ ЗАРОСЛЕЙ ТРОСТНИКА ДЛЯ ДЕМПФИРОВАНИЯ УРОВНЯ КАСПИЙСКОГО МОРЯ-ОЗЕРА И РЕГИОНАЛЬНОГО ПОТЕПЛЕНИЯ КЛИМАТА В ЮФО <u>Люшвин П.В.</u> , Буянова М.О., Челидзе Н.С. ....	567
МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА СОДЕРЖАНИЯ НЕФТЯНЫХ УГЛЕВОДОРОДОВ В ВОДАХ ТАГАНРОГСКОГО И ТЕМРЮКСКОГО ЗАЛИВОВ В АЗОВСКОМ МОРЕ <u>Чекменева Н.А.</u> , Долгова А.О. ....	575
ОПЫТ СРАВНИТЕЛЬНОЙ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЦЕННОСТИ ПРИБРЕЖНЫХ МАКРОФИТНЫХ ЗАРОСЛЕЙ НЕВСКОЙ ГУБЫ ФИНСКОГО ЗАЛИВА <u>Шуйский В.Ф.</u> , Жигульский В.А., Чебыкина Е.Ю. ....	579
ИССЛЕДОВАНИЯ ПЛАСТИКОВОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ В МОРЯХ АРКТИКИ И РАЙОНАХ ТРАНСГРАНИЧНОГО РЫБОЛОВСТВА - НЕПРЕРЫВНОЕ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ <u>Педченко А.П.</u> .....	585

## Рациональное природопользование. Стендовые доклады

КАРТОГРАФИРОВАНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ БЕРЕГОВ АРКТИЧЕСКИХ МОРЕЙ К РАЗЛИВАМ НЕФТИ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ <u>Ермолов А.А.</u> , Кизяков А.И. ....	591
ВЗВЕСЬ И УГЛЕВОДОРОДЫ В СНЕЖНОМ ПОКРОВЕ ПРИМОРСКОГО РАЙОНА АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ <u>Щевченко В.П.</u> , Немировская И.А., Котова Е.И. ....	593

НЕЙСТОННЫЙ СБОР ПЛАСТИКА В МЕСТАХ СЕЗОННОГО СКОПЛЕНИЯ ГРЕНЛАНДСКИХ КИТОВ ( <i>BALAENA MYSTICETUS</i> ) В РАЙОНЕ ШАНТАРСКИХ ОСТРОВОВ ОХОТСКОГО МОРЯ <u>Морозова М.В.</u> , Чукмасов П.В., Колобов М.Ю., Третьяков А.В., Глазов Д.М., Кантаков Г.А. ....	599
ИССЛЕДОВАНИЕ АККУМУЛЯЦИИ МОРСКОГО МАКРОМУСОРА НА ПОБЕРЕЖЬЕ АРХИПЕЛАГА НОВАЯ ЗЕМЛЯ <u>Воротниченко Е.Р.</u> , Ершова А.А. ....	603
РАЗВИТИЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПРОГРАММ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ КАДРОВ В ОБЛАСТИ УПРАВЛЕНИЯ МОРЕПОЛЬЗОВАНИЕМ <u>Семеошенкова В.С.</u> , Ерёмкина Т.Р., Хаймина О.В., Волощук Е.В. ....	609
РОЛЬ СРЕДИЗЕМНОМОРСКОГО СОЮЗА В ОБЛАСТИ ЗАЩИТЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ СРЕДИЗЕМНОГО МОРЯ <u>Попов Г.Е.</u> .....	613
ЧИСЛЕННОСТЬ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОТДЕЛЬНЫХ ГРУПП БАКТЕРИЙ В ПРИБРЕЖНОЙ АКВАТОРИИ ЮГО-ВОСТОЧНОГО ПОБЕРЕЖЬЯ КАМЧАТКИ <u>Зарипова К.М.</u> , Демидова Е.А., Басова Е.Д., Тихонова Е.А., Бурдиян Н.В., Дорошенко Ю.В. ....	616
СВЯЗЬ ИЗМЕНЧИВОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛАВАЮЩЕГО МИКРОПЛАСТИКА В КАРСКОМ МОРЕ С ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИМИ УСЛОВИЯМИ <u>Поливанова Т.К.</u> , Березина А.В., Пахомова С.В., Якушев Е.В., Мехова О.С., Новиков М.О. ....	621
РЕГИСТРАЦИЯ ПЛАВАЮЩЕГО МОРСКОГО МАКРОМУСОРА В ХОДЕ ВТОРОГО ЭТАПА РЕЙСА ПЛАВУЧЕГО УНИВЕРСИТЕТА НА НИС «ДАЛЬНИЕ ЗЕЛЕНЦЫ» В СЕНТЯБРЕ 2023 ГОДА <u>Спирина В.А.</u> , Кривошлык П.Н., Погожева М.П. ....	629
ВОЗДЕЙСТВИЕ СУБМАРИННОЙ РАЗГРУЗКИ НА ЭКОСИСТЕМУ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ <u>Якимова Е.А.</u> .....	634
О ПЛАНЕ ДЕЙСТВИЙ ПО СОХРАНЕНИЮ КАСПИЙСКОГО ТЮЛЕНЯ ( <i>PUSA CASPICA</i> GMELIN, 1788) В РЕСПУБЛИКЕ КАЗАХСТАН <u>Баймуканов М.Т.</u> , Сыдыкова Ж.А., Рыскулов С.Е., Сиражитдинова М.К., Сеиткожина Д.А., Баймуканова А.М. ....	640
ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ ДЛЯ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ МЕЖГОДОВОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА НОРВЕЖСКОГО МОРЯ НА ДИНАМИКУ УЛОВОВ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ АРКТИЧЕСКОЙ ТРЕСКИ <u>Булатова Т.В.</u> , Ванюшин Г.П. ....	648
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАСТЕНИЙ ПЕСКОЛЮБОВ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ НА ЭОЛОВЫХ КОМПЛЕКСАХ <u>Костыркин М.М.</u> , Белов Н.С. ....	653
ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕХАНИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПЛАСТИКОВЫЕ ОБЪЕКТЫ В ЗОНЕ МОРСКОГО ПРИБОЯ С ГАЛЕЧНЫМИ И ПЕСЧАНЫМИ ОТЛОЖЕНИЯМИ <u>Чубаренко И.П.</u> , Фетисов С.В., Есюкова Е.Е., Лобчук О.И., Ши Х. ....	656
ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ВРЕД НА ПОЛЯРНЫХ СТАНЦИЯХ: ОПЫТ И МЕТОДИКА ОЦЕНКИ <u>Дорошенко С.В.</u> , Крюков Д.Р. ....	662

## Подводное наследие и водолазные методы. Устные доклады

АНТИЧНЫЕ КОРАБЛИ: ПРОБЛЕМЫ ТИПОЛОГИИ И ИНТЕРПРЕТАЦИИ ПО ПАМЯТНИКАМ ИХ ИКОНОГРАФИИ И КОРАБЛЕКРУШЕНИЙ <u>Писаревский Н.П.</u> .....	671
ИСТОРИЧЕСКАЯ РЕКОНСТРУКЦИЯ НОВГОРОДСКОГО ВЕЛИКОГО МОСТА X В. <u>Степанов А.В.</u> .....	678
ПАЛЕОГЕОГРАФИЯ КЕРЧЕНСКОГО И ТАМАНСКОГО ПОЛУОСТРОВОВ В АНТИЧНОЕ ВРЕМЯ <u>Дикарев В.А.</u> .....	686
ВОССТАНОВЛЕНИЕ УСЛОВИЙ В АНТИЧНОМ ПОРТУ ФАНАГОРИЯ (ТАМАНСКИЙ ПОЛУОСТРОВ) ПО МИКРОФАУНЕ ДОННЫХ ОСАДКОВ <u>Анпилов Н.А.</u> , Хотылев А.О., Ольховский С.В., Латыпова М.Р. ....	691
ПРОБЛЕМА ДАЛЕКОГО ИМПОРТА СТРОИТЕЛЬНОГО КАМНЯ В ФАНАГОРИИ (ТАМАНСКИЙ ПОЛУОСТРОВ) В 5–3 ВВ. ДО Н.Э. ПО МАТЕРИАЛАМ ПОДВОДНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ <u>Хотылев А.О.</u> , Ольховский С.В., Майоров А.А. ....	694
АТОМНАЯ ПОДВОДНАЯ ЛОДКА К-3 «ЛЕНИНСКИЙ КОМСОМОЛ» - ГЛАВНЫЙ ЭКСПОНАТ НОВОГО МУЗЕЯ ВОЕННО-МОРСКОЙ СЛАВЫ <u>Мозговой С.А.</u> .....	698
ВОССОЗДАНИЕ И ЭКСПОНИРОВАНИЕ БАРКИ С ГРУЗОМ ГРАНИТА ДЛЯ ОБЛИЦОВКИ НАБЕРЕЖНЫХ И ФОРТОВ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА В XIX ВЕКЕ <u>Копейкин М.Л.</u> , Соловьев С.Л. ....	703
МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ АРХЕОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ ХЕРСОНЕСА ТАВРИЧЕСКОГО С ПОМОЩЬЮ НЕРАЗРУШАЮЩИХ МЕТОДОВ <u>Букатов А.А.</u> , Вахонеев В.В., Глазунов В.В., Панченко В.В. ....	705
ФРЕГАТ "ПЕРВЫЙ": ПОИСК ВОЗМОЖНОГО МЕСТА КРУШЕНИЯ <u>Золотарев О.А.</u> .....	710

ЭКСПЕДИЦИЯ РОССИЙСКОГО ФЛОТА НА ЗАТОНУВШИЙ ЛИНКОР «СВЯТОЙ ЕВСТАФИЙ ПЛАКИДА» <u>Ткаченко Ю.Г., Хохлов С.А., Бардашов М.Н.</u> .....	715
ПОДХОД К МОРСКОМУ КУЛЬТУРНОМУ НАСЛЕДИЮ ОСТРОВА КИПР: РЕАКТИВНЫЙ ИЛИ ПРОАКТИВНЫЙ? <u>Атеш М.А.</u> .....	722
«МОРСКОЙ СБОРНИК» ОБ ИЗУЧЕНИИ МОРСКОГО И ПОДВОДНОГО НАСЛЕДИЯ РОССИИ. К 175-ЛЕТИЮ ГЛАВНОГО МОРСКОГО ЖУРНАЛА <u>Мозговой С.А.</u> .....	728

## **Подводное наследие и водолазные методы. Стендовые доклады**

ПОДВОДНЫЕ НАХОДКИ КАСПИЙСКОЙ ИСТОРИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКОЙ ЭКСПЕДИЦИИ РГО: КОМПЛЕКСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ БРОНЗОВОГО АРТЕФАКТА <u>Навоева Д.М., Михайлова А.В., Фазлуллин С.М.</u> .....	736
--	-----

## **Научно-популярные фильмы**

ЗАТОНУВШИЕ КОРАБЛИ В КАСПИЙСКОМ МОРЕ ИЛИ ОПАСНЫЙ «ДВУХСОТЫЙ» РАЙОН СЕВЕРНОГО КАСПИЯ <u>Мендыбаева Д.Б.</u> .....	740
РОЛЬ МЕДИАКОММУНИКАЦИЙ В РАЗВИТИИ КАРЬЕРЫ УЧЕНОГО И ПРОДВИЖЕНИИ ЛИЧНОГО БРЕНДА НА ПРИМЕРЕ ФИЛЬМА «АРКТИЧЕСКАЯ ОДИССЕЯ» <u>Пупышева Н.В.</u> .....	744

## **Приложение**.....

СОДЕРЖАНИЕ ТОМА II (IV) .....	748
СОДЕРЖАНИЕ ТОМА III (IV).....	753
СОДЕРЖАНИЕ ТОМА IV (IV) .....	759

# Том II (IV) / Volume II (IV)

## Оглавление / Contents

### Программа конференции / Conference programme

### Тезисы / Abstracts

#### Океанология. Устные доклады

ОСОБЕННОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ СПЕКТРОВ ВЕТРОВОГО ВОЛНЕНИЯ В ЧЕРНОМ И АЗОВСКОМ МОРЯХ ПО ДАННЫМ 2020 Г. <u>Рыбалко А.Д., Мысленков С.А., Архипкин В.С.</u> .....	17
КВАЗИИНЕРЦИОННЫЕ ВНУТРЕННИЕ ВОЛНЫ, НАБЛЮДАЕМЫЕ В УСЛОВИЯХ ЗИМНЕЙ И ЛЕТНЕЙ СТРАТИФИКАЦИИ <u>Химченко Е.Е., Островский А.Г.</u> .....	24
СОБСТВЕННЫЕ КОЛЕБАНИЯ УРОВНЯ КАСПИЙСКОГО МОРЯ <u>Медведев И.П., Широборова А.И.</u> .....	28
АВТОНОМНЫЙ ПОДВОДНЫЙ ПРИВЯЗНОЙ ЗОНД-ПРОФИЛОГРАФ «ВИНЧИ»: ДОРАБОТКА И ИСПЫТАНИЯ <u>Швоев Д.А., Островский А.Г., Кочетов А.Ю., Зацепин А.Г.</u> .....	33
ГЕНЕЗИС И ГИДРОФИЗИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ВОД ЯДРА ХОЛОДНОГО ПРОМЕЖУТОЧНОГО СЛОЯ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ В 2006 ГОДУ <u>Лобчук О.И., Буканова Т.В., Чубаренко И.П.</u> .....	37
ГИДРОАКУСТИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ МОНИТОРИНГА МОРСКОЙ СРЕДЫ <u>Минаев Д.Д.</u> .....	42
ИЗМЕНЕНИЕ ОБЪЕМА СОДЕРЖАНИЯ АТЛАНТИЧЕСКИХ ВОД В БАРЕНЦЕВОМ МОРЕ ЗА ПОСЛЕДНИЕ 100 ЛЕТ <u>Намятов А.А.</u> .....	46
СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ И МЕТАЛЛОИДОВ В ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДАХ АТЛАНТИЧЕСКОГО ОКЕАНА <u>Чужикова-Проскурнина О.Д., Проскурнин В.Ю., Мирзоева Н.Ю.</u> .....	54
РЕЗУЛЬТАТЫ ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ЮГО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ КАРСКОГО МОРЯ (В 89 РЕЙСЕ НА НИС «АКАДЕМИК МСТИСЛАВ КЕЛДЫШ») <u>Лукьянова О.Н., Чульцова А.Л., Зубаревич В.Л., Амбросимов А.К., Щука А. С.</u> .....	60
СТРУКТУРА ВОД НА РАЗРЕЗЕ ПО 60° С. Ш. В СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКЕ: ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ИХ МЕЖГОДОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ <u>Артамонова К.В., Лукьянова О.Н.</u> .....	66
ГЛОБАЛЬНЫЕ ДАЛЬНИЕ СВЯЗИ И ДИНАМИКА ЭЛЬ-НИНЬО – ЮЖНОГО КОЛЕБАНИЯ В МОДЕЛЯХ СМIP6 <u>Серых И.В., Сонечкин Д.М.</u> .....	70
ЭКСПЕДИЦИОННЫЕ ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ЗАЛИВЕ ПРЮДС В ПЕРИОД 68-Й СЕЗОННОЙ РАЭ <u>Кашин С.В., Антипов Н.Н., Молчанов М.С.</u> .....	77
РАСПРОСТРАНЕНИЕ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ЦИРКУМПОЛЯРНЫХ ГЛУБИННЫХ ВОД НА ШЕЛЬФЕ МОРЯ МОУСОНА ПО ДАННЫМ ОКЕАНОГРАФИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ 67-ОЙ РАЭ <u>Федотова А.А., Кашин С.В.</u> .....	84
ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ И ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД В ТРОПИЧЕСКОЙ АТЛАНТИКЕ <u>Крашенинникова С.Б., Артамонова К.В., Демидов А.Н., Бабич С.А., Гиппиус Ф.Н., Бабич М.С.</u> .....	87
ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ ГИДРОЛОГО-ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ В РАЙОНЕ РАЗЛОМОВ ВИМА, РОМАНШ И ЧЕЙН (АТЛАНТИЧЕСКИЙ ОКЕАН) <u>Гиппиус Ф.Н., Демидов А.Н., Артамонова К.В., Крашенинникова С.Б.</u> .....	90
СТРУКТУРА ВОД ГВИАНСКОЙ КОТЛОВИНЫ ПО НОВЕЙШИМ ЭКСПЕДИЦИОННЫМ ДАННЫМ <u>Демидов А.Н., Артамонова К.В.</u> .....	95
ПОСЛЕДСТВИЯ "ВОЛНЫ ТЕПЛА" 2016-2019 гг. В БЕРИНГОВОМ МОРЕ ДЛЯ РЫБНЫХ ПРОМЫСЛОВ <u>Зуенко Ю.И., Басюк Е.О., САВИН А.Б.</u> .....	100
ВЛИЯНИЕ СРОКОВ ОЧИЩЕНИЯ ОТО ЛЬДА И НАЧАЛА НАГРЕВА АКВАТОРИИ НА "ЦВЕТЕНИЕ" ФИТОПЛАНКТОНА В БЕРИНГОВОМ МОРЕ <u>Кивва К.К., Сумкина А.А.</u> .....	108

ЛАГРАНЖЕВ АНАЛИЗ ЦИРКУЛЯЦИИ ВОД В КУРИЛЬСКОЙ КОТЛОВИНЕ ОХОТСКОГО МОРЯ НА ОСНОВЕ ПОЛЯ СКОРОСТИ ПО СПУТНИКОВОЙ АЛЬТИМЕТРИИ <u>Будянский М.В.</u> , Удалов А.А., Пранц С.В. ....	113
ВЛИЯНИЕ ПОДВОДНОГО ХРЕБТА НА ПЕРЕМЕЩЕНИЕ АНТИЦИКЛОНИЧЕСКИХ ВИХРЕЙ НАД НАКЛОННЫМ ДНОМ ВО ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ЖИДКОСТИ <u>Елкин Д.Н.</u> , Зацепин А.Г. ....	119
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ ВНУТРЕННИХ ВОЛН В АРКТИКЕ В РАМКАХ ПРОГРАММЫ «ПЛАВУЧИЙ УНИВЕРСИТЕТ» <u>Козлов И.Е.</u> , Копышов И.О., Фрей Д.И., Зимин А.В., Свергун Е.И., Морозов Е.Г., Медведев И.П., Ширыборова А.И., Сильвестрова К.П., Соловьев Д.М., Плотников Е.В., Гайский П.В., Осадчиев А.А., Степанова Н.Б. ....	127
ОЦЕНКА МНОГОЛЕТНИХ ИЗМЕНЕНИЙ ГРАНИЦ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВОДНЫХ МАСС НОРВЕЖСКОГО МОРЯ В XXI ВЕКЕ ПО ДАННЫМ ПЛОЩАДНЫХ СЪЕМОК <u>Сентябов Е.В.</u> ....	130
АДВЕКТИВНЫЙ ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОС ЧЕРЕЗ СЕВЕРО-ЕВРОПЕЙСКИЙ БАССЕЙН <u>Соколов А.А.</u> , Иванов В.В. ....	135
ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ МЕЖГОДОВЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ВОЗРАСТНОЙ СТРУКТУРЫ ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА БАРЕНЦЕВА МОРЯ В ПЕРИОД ЕГО МАКСИМАЛЬНОГО НАРАСТАНИЯ <u>Егорова Е.С.</u> , Лис Н.А., Миронов Е.У. ....	142
АНОМАЛЬНОЕ РАСПРОСТРАНЕНИЕ ПЛЮМА РЕКИ ЛЕНА В ЛЕТНЕ-ОСЕННИЙ ПЕРИОД В 2019 ГОДУ <u>Рогожин В.С.</u> , Осадчиев А.А., Коновалова О.П., Калениченко В.О., Кирюшина М.В., Шабалин Н.В. ....	149
НЕОРГАНИЧЕСКИЕ МАРКЕРЫ ЭМИССИИ МЕТАНА В ПОРОВЫХ ВОДАХ ШЕЛЬФА МОРЯ ЛАПТЕВЫХ <u>Пургина Д.В.</u> , Моисеева Ю.А., Гусева Н.В., Семилетов И.П. ....	154
АНАЛИЗ ЗАТУХАНИЯ ГРАВИТАЦИОННО-КАПИЛЛЯРНЫХ ВОЛН НА ПОВЕРХНОСТИ ВОДЫ В ПРИСУТСТВИИ ПЛАСТИКОВОГО МУСОРА. ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ <u>Хазанов Г.Е.</u> , Ермаков С.А. ....	160
ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ РАДИОЛОКАЦИОННОГО РАССЕЯНИЯ КА-ДИАПАЗОНА И ЗАТУХАНИЯ ГРАВИТАЦИОННО-КАПИЛЛЯРНЫХ ВОЛН НА ПОВЕРХНОСТИ ВОДЫ, ПОКРЫТОЙ ПОЛИЭТИЛЕНОВОЙ ПЛЕНКОЙ <u>Доброхотов В.А.</u> , Ермаков С.А., Сергиевская И.А. ....	165
ОПЕРАТИВНЫЙ АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ СТРАТИФИЦИРОВАННОЙ ОКЕАНСКОЙ СРЕДЫ <u>Краснодубец Л.А.</u> ....	170
СИЛЫ И ДИНАМИКА БЕРЕГОВОГО ПРИЛИВА <u>Косарев А.В.</u> ....	175
ТЕПЛОВЫЕ ПОТОКИ В МНОГОСЛОЙНОЙ СРЕДЕ ВОДА-ЛЁД-СНЕГ-АТМОСФЕРА НА ПРИМЕРЕ ФИНСКОГО ЗАЛИВА <u>Кравцова К.В.</u> , Подрезова Н.А. ....	181
ПРИМЕНЕНИЕ ПАРАМЕТРА $\Delta 18\text{O}$ В ИССЛЕДОВАНИЯХ МОРСКИХ ЭКОСИСТЕМ НА ПРИМЕРЕ БАРЕНЦЕВА МОРЯ <u>Пастухов И.А.</u> , Намятов А.А. ....	189
МЕЖГОДОВАЯ И ДЕКАДНАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ЛЕДОВИТОСТИ БАРЕНЦЕВА МОРЯ <u>Трофимов А.Г.</u> ....	196
ТОПОГРАФИЧЕСКИЕ ВОЛНЫ КУРИЛО-КАМЧАТСКОГО ЖЕЛОБА <u>Травкин В.С.</u> , Белоненко Т.В. ....	201
ТЕЧЕНИЯ АЗОВСКОГО МОРЯ ПО ДАННЫМ ЭКСПЕДИЦИОННЫХ СЪЕМОК <u>Григоренко К.С.</u> , Олейников Е.П., Фролова А.Д. ....	204
СРЕДНЯЯ СТРУКТУРА И ИЗМЕНЧИВОСТЬ ОКЕАНОГРАФИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ В РЕТРОСПЕКТИВНЫХ ПРОГНОЗАХ ПО МОДЕЛИ ЗЕМНОЙ СИСТЕМЫ INM-CM5 <u>Реснянский Ю.Д.</u> , Зеленько А.А., Струков Б.С., Степанов В.Н., Грищун А.С., Воробьева В.В. ....	207
ОСОБЕННОСТИ ЦИРКУЛЯЦИИ ВОД В ПРИБРЕЖНОЙ ОБЛАСТИ НОВОРОССИЙСК-ГЕЛЕНДЖИК ПО ДАННЫМ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ С СВЕРХВЫСОКИМ ПРОСТРАНСТВЕННЫМ РАЗРЕШЕНИЕМ <u>Григорьев А.В.</u> , Кубряков А.И. ....	212
СТАТИСТИЧЕСКИЕ И СПЕКТРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИЗМЕНЧИВОСТИ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ АЗОВО-ЧЕРНОМОРСКОГО РЕГИОНА И ИХ СВЯЗЬ С НАБЛЮДАЕМЫМ ПОВЫШЕНИЕМ СОЛЕННОСТИ ВОД АЗОВА <u>Морозова М.И.</u> , Григорьев А.В. ....	216
ОЦЕНКА ГЛУБИНЫ ПЕРЕМЕШИВАНИЯ ВЕРХНЕГО СЛОЯ ВОД В АРКТИЧЕСКИХ МОРЯХ <u>Мысленков С.А.</u> , Осадчиев А.А., Адамовская П.О. ....	222
МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА РАЗВИТИЯ ФИТОПЛАНКТОНА В СЕВЕРНОМ ЛЕДОВИТОМ ОКЕАНЕ ПО СПУТНИКОВЫМ НАБЛЮДЕНИЯМ ЗА 2003-2022 ГГ. <u>Мальшева А.С.</u> , Фролова А.В., Морозов Е.А. ....	227
ВЛИЯНИЕ АПВЕЛЛИНГОВ НА ИЗМЕНЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ХЛОРОФИЛЛА «А» В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ БАЛТИКИ В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД 2000-2019 ГГ. <u>Капустина М.В.</u> , Зимин А.В. ....	234



## Океанология. Стеновые доклады

СУБМЕЗОМАСШТАБНЫЕ ВИХРИ В ЛАДОЖСКОМ ОЗЕРЕ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВОЙ РАДИОЛОКАЦИИ В БЕЗЛЕДНЫЙ ПЕРИОД 2019-2022 <u>Атаджанова О.А.</u> , Зимин А.В., Благодатских Е.А., Коник А.А. ....	241
ОСОБЕННОСТИ ПРОЯВЛЕНИЯ ВИХРЕВЫХ СТРУКТУР В ПОЛЯХ ЭЙЛЕРОВЫХ И ЛАГРАНЖЕВЫХ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЛЯ СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ТИХОГО ОКЕАНА <u>Будянский М.В.</u> , Новоселова Е.В., Травкин В.С., Лебедева М.А., Удалов А.А., Белоненко Т.В. ....	246
ИССЛЕДОВАНИЕ ИСТОЧНИКОВ ПОСТУПЛЕНИЯ МИКРОПЛАСТИКА В МОРЯ ЗАПАДНОЙ АРКТИКИ НА ОСНОВЕ АНЛИЗА ВОДНЫХ МАСС <u>Рогачева Ю.Е.</u> , Еремина Т.Р., Ершова А.А. ....	253
МЕЖГОДОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПОЛЯ КОРОТКОПЕРИОДНЫХ ВНУТРЕННИХ ВОЛН НА ТИХООКЕАНСКОЙ АКВАТОРИИ КАМЧАТКИ И СЕВЕРНЫХ КУРИЛ ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ <u>Свергун Е.И.</u> , Коник А.А., Зимин А.В., Атаджанова О.А. ....	260
ИССЛЕДОВАНИЕ ВИХРЕЙ БЕНГЕЛЬСКОГО АПВЕЛЛИНГА МЕТОДАМИ ЛАГРАНЖЕВОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ <u>Ахтямова А.Ф.</u> , Белоненко Т.В., Будянский М.В., Удалов А.А. ....	265
ПЕРЕПИСЬ И СВОЙСТВА МЕЗОМАСШТАБНЫХ ВИХРЕЙ КУРИЛЬСКОЙ КОТЛОВИНЫ ОХОТСКОГО МОРЯ В АЛЬТИМЕТРИЧЕСКУЮ ЭПОХУ <u>Удалов А.А.</u> , Будянский М.В., Пранц С.В. ....	268
СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СИНОПТИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ УРОВНЯ БЕЛОГО МОРЯ ПО ДАННЫМ НАБЛЮДЕНИЙ <u>Кораблина А.Д.</u> , Кондрин А.Т. ....	275
ВЛИЯНИЕ ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ В ЮЖНО-КУРИЛЬСКОМ РАЙОНЕ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОМЫСЛОВЫХ СКОПЛЕНИЙ СКУМБРИИ В 2021-2022 ГГ. <u>Лебедева М.А.</u> , Новиков Ю.В., Самко Е.В., Белоненко Т.В., Будянский М.В. ....	282
ИЗМЕНЧИВОСТЬ ЛЕДОВИТОСТИ СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ СЕВЕРНОГО ЛЕДОВИТОГО ОКЕАНА В 1979-2022 ГГ. <u>Попова В.Г.</u> ....	290
ПРИРОДА ТЕЧЕНИЙ МОРЕЙ И КРУПНЫХ ОЗЕР <u>Щевьев В.А.</u> ....	293
ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ТРЕНДОВ ЗНАЧИТЕЛЬНЫХ ВЫСОТ ВОЛН В КАРСКОМ МОРЕ <u>Круглова Е.Е.</u> , Мысленков С.А. ....	300
ВЛИЯНИЕ АБИОТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МИНТАЯ НА РАННИХ ЭТАПАХ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА НА АКВАТОРИИ ТИХОГО ОКЕАНА, ПРИЛЕГАЮЩЕЙ К ПОЛУОСТРОВУ КАМЧАТКА <u>Коник А.А.</u> , Тепнин О.Б., Зимин А.В., Варкентин А.И., Атаджанова О.А., Софьина Е.В., Романенков Д.А., Свергун Е.И., Саушкина Д.Я., Родикова А.Е. ....	308
ЭВОЛЮЦИЯ БАРОКЛИННЫХ ВИХРЕЙ В ДВУХСЛОЙНОЙ ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ЖИДКОСТИ НАД ГЛАДКИМ, ШЕРОХОВАТЫМ И НАКЛОННЫМ ДНОМ (ЛАБОРАТОРНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ) <u>Елкин Д.Н.</u> , Зацепин А.Г. ....	313
МЕЗОМАСШТАБНЫЕ ВИХРИ АЛЕУТСКОГО ЖЕЛОБА <u>Худякова С.П.</u> , Травкин В.С., Белоненко Т.В. ....	321
ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПОТОКОВ ОКЕАНИЧЕСКОГО ТЕПЛА В ПРОЛИВЕ ФРАМА <u>Демченко А.Ю.</u> , Башмачников И.Л. ....	329
ИССЛЕДОВАНИЕ СВЯЗИ ЭКВАТОРИАЛЬНОГО ТИХООКЕАНСКОГО ТЕРМОКЛИНА С АНОМАЛИЯМИ ПОВЕРХНОСТНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОДЫ В ПЕРИОДЫ ФАЗ ЭЛЬ-НИНЬО <u>Поляков В.Д.</u> , Ушаков К.В. ....	334
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛИ WRF НА ВОСПРОИЗВЕДЕНИЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ КАСПИЙСКОГО МОРЯ <u>Фомин В.В.</u> , Выручалкина Т.Ю. ....	341
АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ УСВОЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ МОРЯ НА ВОСПРОИЗВЕДЕНИЕ МОРСКОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ ОХОТСКОГО И ЯПОНСКОГО МОРЕЙ <u>Фомин В.В.</u> , Панасенкова И.И. ....	346
ИЗМЕНЧИВОСТЬ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ БАЛТИЙСКОГО И БАРЕНЦЕВА МОРЕЙ В 1991-2020 ГГ. <u>Воронкова М.С.</u> , Харина А.И., Хаймина О.В. ....	351
МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАТОКОВ РАСПРЕСНЕННЫХ ВОД ОБЪ-ЕНИСЕЙСКОГО ПЛЮМА В ПРОЛИВЕ ВИЛЬКИЦКОГО В ЗИМНЕ-ВЕСЕННИЙ ПЕРИОД <u>Панасенкова И.И.</u> , Фомин В.В., Осадчиев А.А., Седаков Р.О. ....	357
РЕЗУЛЬТАТЫ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ФИНСКОГО ЗАЛИВА В ИЮНЕ 2023 Г. <u>Дервянко Е.Г.</u> , Харина А.И., Воронкова М.С., Татаренко Ю.А., Хаймина О.В. ....	363
ИССЛЕДОВАНИЕ МЕЖГОДОВОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЛИВА БЪЕРКЕЗУНД В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД <u>Украинцева А.К.</u> , Романов И.А., Коба А.А., Пономарев А.А., Татаренко Ю.А. ....	369
ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЧИВОСТИ ЦИРКУЛЯЦИИ КАСПИЙСКОГО МОРЯ С УЧЕТОМ ЕГО УРОВНЯ И ПЛОЩАДИ <u>Корщенко Е.А.</u> , Фомин В.В., Панасенкова И.И., Выручалкина Т.Ю. ....	374

ОСНОВНЫЕ ЧЕРТЫ ИЗМЕНЧИВОСТИ ТЕПЛООБМЕНА ПОВЕРХНОСТИ БАРЕНЦЕВА МОРЯ <u>Сумкина А.А., Кивва К.К., Иванов В.В., Смирнов А.В.</u> .....	379
ВЗВЕШЕННОЕ ВЕЩЕСТВО В КУРШСКОМ ЗАЛИВЕ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ В ИЮЛЕ 2023 ГОДА <u>Кузнецов П.А., Бубнова Е.С., Ефимова К.А.</u> .....	382
ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ЗИМНИХ ЗАПРИПАЙНЫХ ПОЛЫНЕЙ В ЮЖНОЙ И ЮГО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТЯХ КАРСКОГО МОРЯ В 2018-2023ГГ. <u>Ткачева Е.С., Иванов В.В.</u> .....	386
РЕЗУЛЬТАТЫ ГИДРОХИМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ВОД АМУРСКОГО ЗАЛИВА <u>Зайцева П.Д., Еремина Т.Р.</u> .....	391
КЛИМАТИЧЕСКАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПОТОКОВ ВОДЫ, ТЕПЛА И СОЛИ, ПРОХОДЯЩИХ ЧЕРЕЗ ЧУКОТСКОЕ МОРЕ <u>Филипсон В.А., Гордеева С.М.</u> .....	398
СРЕДНЯЯ МНОГОЛЕТНЯЯ ОЦЕНКА ПОТОКОВ ВОДЫ, ТЕПЛА И СОЛИ ЧЕРЕЗ БЕРИНГОВ ПРОЛИВ <u>Игнатьев Д.Е., Гордеева С.М.</u> .....	404
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРОГНОСТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ НУСОМ С НАТУРНЫМИ ДАННЫМИ <u>Косов И.П., Игнатьев Д.Е., Гордеева С.М.</u> .....	409
МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОХОТСКОГО МОРЯ У ПОБЕРЕЖЬЯ ОСТРОВА САХАЛИН <u>Жданова Е.Ю., Новоселова Е.В., Сухих Н.А.</u> .....	415
ПЛОТНОСТНАЯ СТРАТИФИКАЦИЯ ВОД В ГРЕНЛАНДСКОМ МОРЕ <u>Нагахаватта С. Нипуника, Подрезова Н.А.</u> .....	422
ПРОЯВЛЕНИЕ ГИДРОТЕРМАЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ НА ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ СТАНЦИЯХ В ТРОПИЧЕСКОЙ ЧАСТИ АТЛАНТИКИ <u>Самборская Я.Т., Демидов А.Н.</u> .....	426
МНОГОЛЕТНИЕ КОЛЕБАНИЯ УРОВНЯ ЧЕРНОГО МОРЯ <u>Пилик Д.И., Архипкин В.С., Медведев И.П., Кубряков А.А.</u> .....	434
ОСОБЕННОСТИ КАРБОНАТНОЙ СИСТЕМЫ ЮЖНОЙ ЧАСТИ КУРШСКОГО ЗАЛИВА В ИЮЛЕ 2023 Г. <u>Ганбарова Г.А., Фомина В.П., Муратова А.А., Полухин А.А.</u> .....	443
ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПАРАМЕТРОВ АТЛАНТИЧЕСКИХ ВОД МЕЖДУ АРХ. ШПИЦБЕРГЕН И ЗЕМЛЯ ФРАНЦА-ИОСИФА <u>Швед В.А., Иванов В.В.</u> .....	448
ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ МОРЯ ЛАПТЕВЫХ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ Р. ЛЕНА <u>Моисеева Ю.А., Пургина Д.В.</u> .....	455
ОСОБЕННОСТИ ПРИЛИВНЫХ ТЕЧЕНИЙ В КУРИЛЬСКИХ ПРОЛИВАХ ПО ДАННЫМ МОДЕЛИРОВАНИЯ <u>Ильин В.И., Архипкин В.С.</u> .....	460
ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ВЕТРОВОГО АПВЕЛЛИНГА В ЕНИСЕЙСКОМ ЗАЛИВЕ ПО ДАННЫМ ДЗЗ <u>Рогожин В.С., Осадчиев А.А.</u> .....	468
ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГОЛУБОЙ И ГЕЛЕНДЖИКСКОЙ БУХТ ЧЁРНОГО МОРЯ В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД <u>Мироненков П.К., Опарин С.А., Самборский Т.В.</u> .....	472
ГИДРОЛОГО-ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ РОССИЙСКОЙ ЧАСТИ КУРШСКОГО ЗАЛИВА БАЛТИЙСКОГО МОРЯ В ИЮЛЕ 2023 ГОДА <u>Буинцева Е.А., Заболотникова Е.Е., Кузнецов П.А., Бубнова Е.С.</u> .....	478
ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ОКРАШЕННОГО РАСТВОРЕННОГО ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В КАРСКОМ МОРЕ <u>Коваленко И.И., Крылов И.Н., Булохов А.В., Дроздова А.Н., Лабутин Т.А.</u> .....	482
ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛЕЙ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЗВУКА В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ ЧЕРНОГО МОРЯ НА ОСНОВЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ, ЗАРЕГИСТРИРОВАННЫХ В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД ВРЕМЕНИ <u>Назаренко Ю.В., Сидоров Д.Д., Петников В.Г., Луньков А.А.</u> .....	487
АНАЛИЗ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВЗВЕШЕННЫХ ВЕЩЕСТВ В ПРОЛИВЕ БЬЁРКЕЗУНД НА ОСНОВЕ СПУТНИКОВЫХ СНИМКОВ SENTINEL-2 И ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ДАННЫХ ЗА ИЮНЬ 2023 ГОД <u>Адамовская П.О., Татаренко Ю.А., Фролова Н.С.</u> .....	493
ВЕРОЯТНОСТЬ ВЫБОРА ОСНОВНЫХ МАРШРУТОВ ПЛАВАНИЯ В ЮГО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ КАРСКОГО МОРЯ И ИХ МЕЖГОДОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ <u>Котельников В.Д., Алексеева Т.А., Федяков В.Е., Брынзюк А.Ю.</u> .....	498
ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПАРАМЕТРОВ КАРБОНАТНОЙ СИСТЕМЫ ВОД НА КАРБОНОВОМ ПОЛИГОНЕ «ГЕЛЕНДЖИК» В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД <u>Варварова А.О., Полухин А.А., Бердникова Е.К., Мухаметов С.С., Борисенко Г.В., Пронина Ю.О.</u> .....	503
КАРБОНАТНАЯ СИСТЕМА ПЕНЖИНСКОЙ ГУБЫ И ПРИЛЕГАЮЩЕЙ АКВАТОРИИ ОХОТСКОГО МОРЯ (ЗАЛИВ ШЕЛИХОВА) В ЛЕТНИЙ СЕЗОН <u>Байгубеков К.Р., Семкин П.Ю.</u> .....	508
БИОГЕННЫЕ ВЕЩЕСТВА И ОРГАНИЧЕСКИЙ УГЛЕРОД В ПЕНЖИНСКОЙ ГУБЕ И ПРИЛЕГАЮЩЕЙ АКВАТОРИИ ОХОТСКОГО МОРЯ В ИЮЛЕ 2023 Г. <u>Петрова А.А., Семкин П.Ю.</u> .....	513

ВИХРЕВЫЕ СТРУКТУРЫ, ТРАССИРУЕМЫЕ ЛЬДОМ В РАЙОНАХ РАБОТ НИС «ДАЛЬНИЕ ЗЕЛЕНЦЫ» В ИЮЛЕ 2023 Г. <u>Благодатских Е.А., Зимин А.В., Козлов И.Е., Новиков Б.А.</u> .....	517
ОЦЕНКА ЦУНАМИОПАСНОСТИ МОРЯ ЛАПТЕВЫХ <u>Медведев И.П., Цуканова Е.С., Крылов А.А.</u> .....	523
ГЕНЕРАЦИЯ ТОНКОЙ СТРУКТУРЫ ИНТЕНСИВНЫМИ ВНУТРЕННИМИ ВОЛНАМИ В ПРОЛИВЕ КАРСКИЕ ВОРОТА <u>Анкундинов Н.О., Копышов И.О., Козлов И.Е., Zubov A.Г., Коржуев В.А., Павлов М.И., Новиков Б.А., Свергун Е.И., Зимин А.В.</u> .....	526
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВНУТРЕННИХ ВОЛН ПО ДАННЫМ МИКРОСТРУКТУРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ <u>Коржуев В.А., Козлов И.Е. Zubov A.Г., Павлов М.И., Анкундинов Н.О.</u> .....	528
ТОЛЩИНА ПЕРЕМЕШАННОГО ВЕРХНЕГО СЛОЯ В ЖЁЛОБЕ СВЯТОЙ АННЫ И ПРИЛЕГАЮЩИХ АКВАТОРИЯХ В СЕНТЯБРЕ 2023 ГОДА <u>Адамовская П.О., Осадчиев А.А., Фрей Д.И.</u> .....	531
ТЕРМОХАЛИННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ БАРЕНЦЕВОМОРСКОЙ ВЕТВИ АТЛАНТИЧЕСКИХ ВОД В ЖЕЛОБЕ СВЯТОЙ АННЫ И ПРИЛЕГАЮЩИХ АКВАТОРИЯХ В СЕНТЯБРЕ 2023 ГОДА <u>Забудкина З.В., Осадчиев А.А., Фрей Д.И.</u> .....	535
ТЕРМОХАЛИННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ В ЖЕЛОБЕ СВЯТОЙ АННЫ И ПРИЛЕГАЮЩИХ АКВАТОРИЯХ В СЕНТЯБРЕ 2023 ГОДА <u>Савин А.С., Осадчиев А.А., Фрей Д.И.</u> .....	539
СРАВНЕНИЕ НАТУРНЫХ ТЕРМОХАЛИННЫХ ДАННЫХ И ДАННЫХ ОКЕАНИЧЕСКОГО РЕАНАЛИЗА GLORYS12 В ЖЕЛОБЕ СВЯТОЙ АННЫ И ПРИЛЕГАЮЩИХ АКВАТОРИЯХ В СЕНТЯБРЕ 2023 ГОДА <u>Малеев Е.А., Фрей Д.И., Осадчиев А.А.</u> .....	544
ТЕРМОХАЛИННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ФРАМОВСКОЙ ВЕТВИ АТЛАНТИЧЕСКИХ ВОД В ЖЕЛОБЕ СВЯТОЙ АННЫ И ПРИЛЕГАЮЩИХ АКВАТОРИЯХ В СЕНТЯБРЕ 2023 ГОДА <u>Ахтямова А.Ф., Осадчиев А.А., Фрей Д.И.</u> .....	549
СУТОЧНАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ВЕРТИКАЛЬНОЙ ТЕРМОХАЛИННОЙ СТРУКТУРЫ МОРЯ В УСЛОВИЯХ ШТОРМА В РАЙОНЕ ОСТРОВА Б. ОРАНКСКИЙ В СЕНТЯБРЕ 2023 ГОДА <u>Мороз А.А., Фрей Д.И., Осадчиев А.А.</u> .....	554
ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МЕТАНА В АКВАТОРИИ ЮГО-ВОСТОЧНОГО ПОБЕРЕЖЬЯ ПОЛУОСТРОВА КАМЧАТКА <u>Корнеева А.О., Яцук А.В., Бовсун М.А., Швалов Д.А., Медведева А.А., Малицкий С.И., Новиков О.С.</u> .....	558
АТМОХИМИЧЕСКИЕ И ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ПОПУТНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ НА ЮГО-ВОСТОЧНОМ ПОБЕРЕЖЬЕ ПОЛУОСТРОВА КАМЧАТКА (ЗА ПЕРИОД С 19 ПО 31 АВГУСТА В ХОДЕ РЕЙСА №23/4 НИС «ПРОФЕССОР МУЛЬТАНОВСКИЙ», АВГУСТ-СЕНТЯБРЬ 2023 Г.) <u>Медведева А.А., Яцук А.В., Бовсун М.А., Швалов Д.А., Корнеева А.О., Новиков О.С., Малицкий С.И.,</u> .....	564
ВЛИЯНИЕ ЕСТЕСТВЕННОЙ ОСВЕЩЕННОСТИ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ ФЛУОРЕСЦЕНЦИИ, РЕГИСТРИРУЕМОЙ ПОГРУЖНЫМ ДАТЧИКОМ В ВЕРХНЕМ ПЕРЕМЕШАННОМ СЛОЕ В ПРИБРЕЖНОЙ АКВАТОРИИ КАМЧАТКИ <u>Давыдова Д.Г., Моисеева Н.А., Чурилова Т.Я., Скороход Е.Ю., Самойлов М.А., Саушева А.А.</u> .....	570
ОЦЕНКА БИООПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВОДЫ ЮЖНОЙ ЧАСТИ КАМЧАТКИ <u>Самойлов М.А., Чурилова Т.Я., Моисеева Н.А., Скороход Е.Ю., Давыдова Д.Г., Саушева А.А.</u> .....	575
АНАЛИЗ МЕЖГОДОВОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ТЕМПЕРАТУРНЫХ УСЛОВИЙ В ОСНОВНЫХ ПРОМЫСЛОВЫХ РАЙОНАХ МАРОККО И МАВРИТАНИИ НА БАЗЕ СПУТНИКОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ <u>Барканова Т.Б., Ванюшин Г.П., Кружалов М.Ю.</u> .....	581
О НИЗКИХ КОНЦЕНТРАЦИЯХ РАСТВОРЕННОГО КИСЛОРОДА В ВЕРХНЕМ СЛОЕ ЧЕРНОГО МОРЯ В ВЕСЕННИЙ ПЕРИОД <u>Валле А.А.</u> .....	589
ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ И ГИДРООПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК В СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ ВЕСНОЙ 2021 Г. <u>Бабич М.С., Бабич С.А., Крашенинников Б.Н.</u> .....	591
АППРОКСИМАЦИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТОЛЩИНЫ ЛЬДА В СЕВЕРНОМ ЛЕДОВИТОМ ОКЕАНЕ <u>Бусев В.В., Чанцев В.Ю., Клячкин С.В.</u> .....	594
ИССЛЕДОВАНИЕ ТРАЕКТОРИИ АНТАРКТИЧЕСКОГО АЙСБЕРГА D28 <u>Крыжановская В.Э., Подрезова Н.А.</u> .....	599
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ ВКЛАД МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ, ИЗМЕНЕНИЙ ПЛОТНОСТИ ВОДЫ И СОСТАВЛЯЮЩИХ ВОДНОГО БАЛАНСА В МЕЖГОДОВУЮ ИЗМЕНЧИВОСТЬ СЕЗОННЫХ КОЛЕБАНИЙ УРОВНЯ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ <u>Виноградов М.В., Захарчук Е.А., Тихонова Н.А., Сухачев В.Н.</u> .....	603
АНОМАЛИИ pH В ВЕРХНЕМ СЛОЕ ОТКРЫТОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ И РОЛЬ ВОСТОЧНО-АТЛАНТИЧЕСКОГО КОЛЕБАНИЯ <u>Гребнева Е.А.</u> .....	609
<b>Приложение</b> .....	614
СОДЕРЖАНИЕ ТОМА I (IV) .....	615
СОДЕРЖАНИЕ ТОМА III (IV) .....	622
СОДЕРЖАНИЕ ТОМА IV (IV) .....	628

# Том IV (IV) / Volume IV (IV)

## Оглавление / Contents

### Программа конференции / Conference Programme

### Тезисы / Abstracts

#### Морская геология. Устные доклады

ПОТОК ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА НА ДНО В АРКТИЧЕСКИХ МОРЯХ РОССИИ: СОПОСТАВЛЕНИЕ СРЕДНЕГОДОВЫХ РАСЧЕТНЫХ И ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ СЕДИМЕНТАЦИОННЫХ ЛОВУШЕК <u>Новигатский А.Н.</u> , Кловиткин А.А., Кравчишина М.Д., Политова Н.В., Филиппов А.С., Шевченко В.П. ....	17
ГАЗОГИДРАТНЫЕ ПРОВИНЦИИ НА ШЕЛЬФЕ И СКЛОНЕ ОСТРОВА САХАЛИН <u>Сырбу Н.С.</u> , Холмогоров А.О. ....	23
ХАРАКТЕРНЫЕ ВРЕМЕНА ФОРМИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА РЕАКЦИИ ПОДДОННЫХ ГАЗОВЫХ ГИДРАТОВ НА МГНОВЕННОЕ ВЫПАХИВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ДНА ПРИ ДВИЖЕНИИ АЙСБЕРГА В СЕВЕРНЫХ МОРЯХ <u>Суетнова Е.И.</u> .....	29
ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССОВ МИГРАЦИИ ЖИДКИХ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ФЛЮИДОВ В ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ ОСАДОЧНОГО РАЗРЕЗА СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ КАРСКОГО МОРЯ <u>Сигачева Л.Ю.</u> , Видищева О.Н., Полудеткина Е.Н., Калмыков А.Г., Ахманов Г.Г. ....	31
ПЕРСПЕКТИВЫ ГАЗОГИДРАТНОСТИ БАРЕНЦЕВА МОРЯ <u>Матвеева Т.В.</u> , Щур А.А., Чазов А.О. ....	35
ОСОБЕННОСТИ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ОСАДОЧНОГО МАТЕРИАЛА НА ЛЕДНИКОВЫХ И ВНЕЛЕДНИКОВЫХ КОНТИНЕНТАЛЬНЫХ ОКРАИНАХ АРКТИКИ <u>Друщич В.А.</u> .....	39
ЛИТОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ЮГО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ КАРСКОГО МОРЯ <u>Сухих Е.А.</u> , Ананьев Р.А., Мороз Е.А. ....	47
РАЗЛОМЫ МОРЯ ЛАПТЕВЫХ И СВИДЕТЕЛЬСТВА ИХ СОВРЕМЕННОЙ АКТИВНОСТИ <u>Рукавишников Д.Д.</u> , Баранов Б.В., Дозорова К.А., Цуканов Н.В., Крылов А.А. ....	55
ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ РАЗРЕЗА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ КОМПЛЕКСНОЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ НА ПЛОЩАДИ ВБЛИЗИ О-ВА УЕДИНЕНИЯ (КАРСКОЕ МОРЕ) <u>Буланова И.А.</u> , Терёхина Я.Е., Понимаскин А.И., Колобакин А.А. ....	60
ПРИМЕНЕНИЕ МУЛЬТИЧАСТОТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ СТРАТИГРАФИЧЕСКОГО БУРЕНИЯ (НА ПРИМЕРЕ ПОДНЯТИЯ ДЕ-ЛОНГА, ВОСТОЧНО-СИБИРСКОЕ МОРЕ) <u>Хлебникова О.А.</u> , Замотина З.С., Понимаскин А.И., Терёхина Я.Е., Токарев М.Ю., Махова О.С., Колобакин А.А. ....	66
ЭВОЛЮЦИЯ УСЛОВИЙ СЕДИМЕНТАЦИИ И ПАЛЕОГЕОГРАФИЯ ПРИБРЕЖНЫХ РАЙОНОВ ВОСТОЧНО-СИБИРСКОГО МОРЯ В ПОЗДНЕМ НЕОПЛЕЙСТОЦЕНЕ-ГОЛОЦЕНЕ <u>Рябчук Д.В.</u> , Талденкова Е.Е., Сергеев А.Ю., Буданов Л.М., Жамойда В.А., Неевин И.А., Прищепенко Д.В., Носевич Е.С., Пушина З.В., Григорьев А.Г., Токарев М.Ю., Баширова Л.Д., Пономаренко Е.П. ....	72
ЛИТОСТРАТИГРАФИЯ ЧЕТВЕРТИЧНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ СЕВЕРО-КАРСКОГО ШЕЛЬФА И СРАВНЕНИЕ ЕЕ С БЛИЗЛЕЖАЩИМИ РЕГИОНАМИ <u>Рыбалко А.Е.</u> , Токарев М.Ю., Полудеткина Е.Н., Пирогова А.С., Потемка А.К., Аксенов А.О., Кудинов А.А., Бирюк М.А., Терехина Я.Е., Замотина З.С. ....	78
ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ ПИНГОПОДОБНЫХ ФОРМ МЕЛКОВОДНОЙ ЧАСТИ ПЕЧОРСКОГО МОРЯ <u>Кохан А.В.</u> , Мороз Е.А., Денисова А.П., Сухих Е.А., Еременко Е.А. ....	82
ОБНАРУЖЕНИЕ ПОДВОДНОГО РУСЛА ПРА-ПЕЧОРЫ НА ОСНОВЕ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ДАННЫХ СТАНДАРТНОЙ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ 3D <u>Соловьева М.А.</u> , Терёхина Я.Е., Хлебникова О.А., Горбачев С.В., Нурмухамедов Т.В. ....	87
ОСОБЕННОСТИ ГЕОМОРФОЛОГИИ ДНА ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ФИНСКОГО ЗАЛИВА И ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ МНОГОЛУЧЕВОГО ЭХОЛОТИРОВАНИЯ И НЕПРЕРЫВНОГО СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКОГО ПРОФИЛИРОВАНИЯ <u>Сергеев А.Ю.</u> , Буданов Л.М., Жамойда В.А., Ковалева О.А., Рябчук Д.В., Дорохов Д.В. ....	91
ПРАКТИКА И ТРЕБОВАНИЯ К ИЗУЧЕНИЮ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ОПАСНОСТЕЙ ПРИ ИЗЫСКАНИЯХ НА ШЕЛЬФЕ <u>Локтев А.С.</u> , Рыбалко А.Е. ....	99

НОВЫЕ ДАННЫЕ О СТРОЕНИИ ЧЕТВЕРТИЧНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ КАНДАЛАКШСКОГО ЗАЛИВА <u>Рыбалко А.Е.</u> , Токарев М.Ю., Кудинов А.А., Бирюк М.А., Корост С.Р., Репкина Т.Ю., Терехина Я.Е., Беляев П.Ю., Потемка А.К., Алешин М.И., Дронь О.В. ....	104
НОВЫЕ ДАННЫЕ О ПЕРЕХОДЕ ОТ ПОЗДНЕГО НЕОПЛЕЙСТОЦЕНА К ГОЛОЦЕНУ НА КАНДАЛАКШСКОМ И ТЕРСКОМ БЕРЕГАХ БЕЛОГО МОРЯ <u>Зарецкая Н.Е.</u> , Баранов Д.В., Писцова М.А., Хайтов В.М., Рыбалко А.Е. ....	110
РЕЗУЛЬТАТЫ ГИДРО- И НАЛЕДНЫХ МАГНИТОМЕТРИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В КАНДАЛАКШСКОМ ЗАЛИВЕ БЕЛОГО МОРЯ <u>Лыгин И.В.</u> , Ивашкина О.О., Кузнецов К.М., Токарев М.Ю. ....	115
ТЕЧЕНИЯ В ЧЕРНОЙ ГУБЕ КАНДАЛАКШСКОГО ЗАЛИВА <u>Иванова И.Н.</u> , Будников А.А., Левонян К.А., Сергеев А.С. ....	121
РИТМЫ ПРИБРЕЖНЫХ ЭОЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ НА ПОБЕРЕЖЬЕ БЕЛОГО МОРЯ В ГОЛОЦЕНЕ <u>Репкина Т.Ю.</u> , Леонтьев П.А., Кублицкий Ю.А., Орлов А.В., Вахрамеева Е.А., Лосюк Г.Н., Якимова К.С., Комагорова М.А., Крехов А.К., Гуринов А.Л., Вяткин Е.Д., Луговой Н.Н., Шилова О.С. ....	126
НОВЫЕ СВИДЕТЕЛЬСТВА ГРЯЗЕВУЛКАНИЧЕСКОЙ ПРИРОДЫ ГИДРАТОНОСНОЙ СТРУКТУРЫ «МГУ» (ОЗЕРО БАЙКАЛ) <u>Немченко Н.В.</u> , Соловьёва М.А., Видищева О.Н., Уголькова Е.А., Кудавев А.А., Исаходжаев Ф.Б., Голощапов Г.А., Ахманов Г.Г. ....	134
ГЕОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ НЕФТЕ- ГАЗОГЕНЕРАЦИИ БАЙКАЛЬСКОЙ РИФТОВОЙ ЗОНЫ <u>Рязанцева К.Ю.</u> , Большакова М.А., Ахманов Г.Г., Видищева О.Н., Деленгов М.Т. ....	138
ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ОЗЕРА БАЙКАЛ <u>Видищева О.Н.</u> , Богданов А.А., Рязанцева К.Ю., Ахманов Г.Г., Абля Э.А., Калмыков А.Г. ....	144
РОЛЬ ТЕКТОНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ФОРМИРОВАНИИ ГАЗОВЫХ ГИДРАТОВ НА ОЗЕРЕ БАЙКАЛ <u>Соловьёва М.А.</u> , Видищева О.Н., Ахманов Г.Г., Мащини А., Хлыстов О.М. ....	148
МОРСКАЯ ГЕОЛОГИЯ В ЭКСПЕДИЦИИ «СЕВЕРНЫЙ ПОЛЮС-41» <u>Попова Е.А.</u> , Богин В.А., Малышев С.А., Ованесян Г.И. ....	153
СТРОЕНИЕ И ЭВОЛЮЦИЯ КРЫМСКО-КАВКАЗСКОГО ШЕЛЬФА ЧЕРНОГО МОРЯ В ПЛЕЙСТОЦЕНЕ - ГОЛОЦЕНЕ ПО ДАННЫМ СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКОГО ПРОФИЛИРОВАНИЯ <u>Хортов А.В.</u> , Есин Н.И., Пронин А.А. ....	158
ПРОЯВЛЕНИЯ ОСАДОЧНОГО КРИПА НА СКЛОНАХ КОТЛОВИНЫ ЧЕРНОГО МОРЯ <u>Миронюк С.Г.</u> , Росляков А.Г. ....	164
ПАЛЕОСЕЙСМОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И ЛИТОДИНАМИКА ПОБЕРЕЖЬЯ О. ИТУРУП (КУРИЛЬСКИЕ ОСТРОВА) <u>Хомчановский А.Л.</u> , Батанов Ф.И. ....	171
ПОДВОДНЫЕ ВУЛКАНЫ ВБЛИЗИ ОСТРОВА СИМУШИР (КУРИЛЬСКАЯ ОСТРОВНАЯ ДУГА) <u>Рашидов В.А.</u> , Блох Ю.И., Бондаренко В.И., Долгаль А.С., Новикова П.Н., Петрова В.В., Пилипенко О.В., Трусов А.А. ....	177
ОСАДОЧНОЕ ЗАПОЛНЕНИЕ ТРАНСФОРМНОЙ ЗОНЫ ЧАРЛИ-ГИББС <u>Дорохова Е.В.</u> , Пономаренко Е.П., Пугачева Т.Л., Баширова Л.Д., Соколов С.Ю. ....	183
РАЗНООБРАЗИЕ СТРОЕНИЯ И РАЗРУШЕНИЕ ВУЛКАНИЧЕСКИХ ПОСТРОЕК В СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ АТЛАНТИКИ <u>Мазарович А.О.</u> ....	192
КАРТИРОВАНИЕ ДАЙКОВОГО КОМПЛЕКСА БАРЕНЦЕВА И КАРСКОГО МОРЕЙ ПО МАГНИТНОМУ ПОЛЮ <u>Лыгин И.В.</u> , Кузнецов К.М., Арутюнян Д.А., Соколова Т.Б. ....	195
ТЕКТОНИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ МЕГАВАЛА НАЛИВКИНА, КАРСКОЕ МОРЕ <u>Кишанков А.В.</u> , Полудеткина Е.Н., Басова Е.Д., Кирсанова А.А., Токарев М.Ю. ....	201
МИНЕРАЛОГИЯ И СОСТАВ МИКРОФОССИЛИЙ ЧЕТВЕРТИЧНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ДОЛИНЫ ТРАНСФОРМНОГО РАЗЛОМА ВИМА, КАК ДОКАЗАТЕЛЬСТВО ЛАТЕРАЛЬНОГО ПЕРЕНОСА ОСАДОЧНОГО МАТЕРИАЛА <u>Борисов Д.Г.</u> , Мурдмаа И.О., Дара О.М., Лыкова М.А., Иванова Е.В. ....	204
РАЗВИТИЕ ПОДВИЖЕК КУПОЛОВ ДРЕВНЕГО БАРЕНЦЕВО-КАРСКОГО ЛЕДНИКОВОГО ЩИТА <u>Кашдан А.И.</u> , Шейнкман В.С. ....	207
СОВРЕМЕННАЯ ИЗУЧЕННОСТЬ КРИОЛИТОЗОНЫ ШЕЛЬФА ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ <u>Гаврилов А.В.</u> , Малахова В.В., Пижанкова Е.И., Попова А.А. ....	212
МОРФОЛИТОГЕНЕЗ И ОБРАЗОВАНИЕ ПОВТОРНО-ЖИЛЬНЫХ ЛЬДОВ НА ШЕЛЬФЕ АРКТИЧЕСКИХ МОРЕЙ (ПО КОСМИЧЕСКИМ ДАННЫМ) <u>Гаврилов А.В.</u> , Пижанкова Е.И. ....	219
ОСОБЕННОСТИ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ И ВЕЩЕСТВЕННОГО СОСТАВА ГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ ПОЛЕЙ КОРАЛЛОВОЕ И МОЛОДЁЖНОЕ (СРЕДИННО-АТЛАНТИЧЕСКИЙ ХРЕБЕТ) <u>Мусатов А.Е.</u> , Козлов С.А., Маковиз А.М. ....	224
ПРОБЛЕМЫ ИЗУЧЕНИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЖЕЛЕЗОМАРГАНЦЕВЫХ КОНКРЕЦИЙ В ЗОНЕ КЛАРИОН-КЛИШПЕРТОН ТИХОГО ОКЕАНА В ПРЕДДВЕРИИ ИХ ПРОМЫШЛЕННОЙ РАЗРАБОТКИ <u>Захаров М.С.</u> , Кондратенко А.В. ....	231
МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРИКАВКАЗСКИХ ПОДВОДНЫХ КАНЬОНОВ ЧЕРНОГО МОРЯ <u>Глазырин Е.А.</u> ....	237

## Морская геология. Стеновые доклады

РЕКОНСТРУКЦИЯ УСЛОВИЙ ОСАДКОНАКОПЛЕНИЯ В СРЕДНЕМ-ПОЗДНЕМ ГОЛОЦЕНЕ В ЮГО-ВОСТОЧНОЙ БАЛТИКЕ НА ОСНОВЕ ЛИТОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИХ АНАЛИЗОВ <u>Ласкина Д.Н., Дорохова Е.В.</u> .....	242
МОРФОДИНАМИКА БЕРЕГОВ ОСТРОВА КУНАШИР (ЮЖНЫЕ КУРИЛЬСКИЕ ОСТРОВА) <u>Кузнецов М.А.</u> .....	248
РЕКОНСТРУКЦИЯ УСЛОВИЙ ОСАДКОНАКОПЛЕНИЯ В ВОСТОЧНОЙ И ЮЖНОЙ ЧАСТЯХ КУРШСКОГО ЗАЛИВА В ГОЛОЦЕНЕ <u>Чернова И.Г., Моданова Е.В., Румянцева Н.А., Ладыгина А.А., Пономаренко Е.П., Кулешова Л.А.</u> .....	253
ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ (КТ) ПРИ ИЗУЧЕНИИ МОРСКИХ ОСАДКОВ (НА ПРИМЕРЕ ВЕРХНЕЧЕТВЕРТИЧНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ КАНДАЛАКШСКОГО ЗАЛИВА БЕЛОГО МОРЯ) <u>Косоватова Т.А., Корост С.Р.</u> .....	261
ФОРМЫ НАХОЖДЕНИЯ МЕТАЛЛОВ ВО ВЗВЕСИ ПРИУСТЬЕВОЙ ЗОНЫ СЕВЕРНОЙ ДВИНЫ: СЕЗОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ <u>Коченкова А.И., Стародымова Д.П., Лохов А.С.</u> .....	268
ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ДИНАМИКИ БЕРЕГОВ ЗАПАДНОГО ЯМАЛА <u>Кажукало Г.А., Новикова А.В., Мысленков С.А., Шабанова Н.Н., Белова Н.Г., Огородов С.А.</u> .....	273
КОРРЕЛЯЦИЯ СЕЙСМОСТРАТИГРАФИЧЕСКИХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ ЮЖНОЙ ЧАСТИ ВОСТОЧНО-СИБИРСКОГО МОРЯ <u>Чекулаев А.В., Рябчук Д.В., Буданов Л.М.</u> .....	278
ГЕОТЕРМИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ ЕВРАЗИЙСКОЙ ОКРАИНЫ СЕВЕРНОГО ЛЕДОВИТОГО ОКЕАНА ДЛЯ РАСЧЕТА УСЛОВИЙ СТАБИЛЬНОСТИ ГАЗОВЫХ ГИДРАТОВ <u>Смирнов Ю.Ю., Бочкарев А.В., Матвеева Т.В.</u> .....	286
СОЗДАНИЕ БАЗЫ ДАННЫХ ЭНДОГЕННЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ОПАСНОСТЕЙ МОРЕЙ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ <u>Крылов А.А., Новиков М.А., Рукавишников Д.Д.</u> .....	290
ОСНОВНЫЕ ЧЕРТЫ ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ ДНА ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ОБСКОЙ ГУБЫ КАРСКОГО МОРЯ <u>Ермолов А.А., Кажукало Г.А., Огородов С.А.</u> .....	293
СОСТАВ СНЕЖНОГО ПОКРОВА В ЗИМНИЙ СЕЗОН НА МЫСЕ ЧЕЛЮСКИНА ПО ДАННЫМ БОЛЬШОЙ АРКТИЧЕСКОЙ ЭКСПЕДИЦИИ 2022-2023 ГОДЫ <u>Еремеев А.Д., Родикова В.Г., Новигатский А.Н., Ткачева Е.С., Саввичев А.С., Шевченко В.П.</u> .....	295
УСЛОВИЯ НАКОПЛЕНИЯ ОТЛОЖЕНИЙ РАЗЛИЧНЫХ ФРАКЦИЙ НА ЭРОЗИОННОМ ПЛЯЖЕ (ПОБЕРЕЖЬЕ КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ) <u>Казаков А., Данченков А.Р.</u> .....	301
ОСАДОЧНЫЕ ВОЛНЫ НА ПЛАТО САНТА-КАТАРИНА: МОРФОЛОГИЯ И МЕХАНИЗМЫ ФОРМИРОВАНИЯ <u>Попов М.С., Борисов Д.Г.</u> .....	304
РЕГИОНАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ГАЗОГЕОХИМИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ <u>Александрова А.Г., Семенов П.Б., Александрова Д.В.</u> .....	312
ЭВОЛЮЦИЯ ТРАНСФОРМНОГО РАЗЛОМА ЭНДРЮ-БЕЙН (ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ФИЗИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ) <u>Боголюбский В.А., Дубинин Е.П., Грохольский А.Л.</u> .....	316
ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИРОДНЫХ ГАЗОВ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ПРИЛЕГАЮЩИХ АКВАТОРИЙ ЮЖНОЙ ЧАСТИ ПОЛУОСТРОВА КАМЧАТКА <u>Малицкий С.И., Ялук А.В., Бовсун М.А., Швалов Д.А., Корнеева А.О., Новиков О.С., Медведева А.А.</u> .....	321
ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МЕТАНА В АКВАТОРИИ ЮГО-ЗАПАДНОГО ПОБЕРЕЖЬЯ ПОЛУОСТРОВА КАМЧАТКА <u>Новиков О.С., Ялук А.В., Швалов Д.А., Бовсун М.А., Корнеева А.О., Медведева А.А., Малицкий С.И.</u> .....	326

## Морские ландшафты. Устные доклады

ЛАНДШАФТНО-БИОНОМИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ И КОСМИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ СЕЗОННОЙ И МНОГОЛЕТНЕЙ ДИНАМИКИ CHL-A ФИТОПЛАНКТОНА СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ЯПОНСКОГО МОРЯ <u>Ракигин Т.Д.</u> .....	334
ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ДОННЫХ ЛАНДШАФТОВ В ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ В 2023 Г. <u>Дорохов Д.В., Дорохова Е.В., Дудков И.Ю.</u> .....	342
НОВЫЕ ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОДВОДНОГО БЕРЕГОВОГО СКЛОНА САМБИЙСКОГО П-ОВА В ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ ПО ДАННЫМ МНОГОЛУЧЕВОЙ ЭХОЛОТНОЙ СЪЕМКИ В 2021-2022 ГГ. <u>Дудков И.Ю., Дорохов Д.В., Кондрашов А.А.</u> .....	347
КОМПЛЕКСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НИЛЬМЕНСКО-ЧЕРНОРЕЧЕНСКОЙ ПРИУСТЬЕВОЙ МЕСТНОСТИ КАНДАЛАКШСКОГО ЗАЛИВА БЕЛОГО МОРЯ <u>Токарев М.Ю., Фрих-Хар А.Ю., Корост С.Р., Полудеткина Е.Н., Рыбалко А.Е., Терехина Я.Е.</u> .....	353
МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА ПОДВОДНЫХ ЛАНДШАФТОВ БУХТЫ ЛАСПИ (Г. СЕВАСТОПОЛЬ) <u>Панкеева Т.В., Миронова Н.В.</u> .....	359



ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В РАЙОНЕ МОРСКОГО ГАЗОВОГО ТЕРМИНАЛА КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ <u>Меркурьева В.М., Дорохов Д.В., Дорохова Е.В., Наумов И.А.</u> .....	363
НОВЫЕ ДАННЫЕ ПО ФОРМИРОВАНИЮ ДЮН НА ПОДВОДНОМ БЕРЕГОВОМ СКЛОНЕ КУРШСКОЙ КОСЫ <u>Орлов Е.К., Дорохов Д.В.</u> .....	367
ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ КОТЛОВИН ВЫДУВАНИЯ НА ПРИМЕРЕ БАЛТИЙСКОЙ КОСЫ <u>Задоя Л.С.</u> .....	370
ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПОЛЕВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ БЕРЕГОВЫХ ТЕРРАС ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА <u>Аксенов А.О., Большианов Д.Ю., Правкин С.А., Лебедев Г.Б.</u> .....	372
ФЕСТОННЫЕ ФОРМЫ РЕЛЬЕФА ЛАГУННОГО БЕРЕГА КУРШСКОЙ КОСЫ <u>Михневич Г.С., Ефимова К.А.</u> .....	375

## Морские ландшафты. Стендовые доклады

ФОРМИРОВАНИЕ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА О. АНЗЕР (СОЛОВЕЦКИЙ АРХИПЕЛАГ, БЕЛОЕ МОРЕ) В ПОЗДНЕМ ГОЛОЦЕНЕ <u>Левкова Д.Н., Сапелко Т.В., Кузнецов Д.Д., Леонтьев П.А., Субетто Д.А.</u> .....	381
--	-----

## Гидрографические и геофизические исследования на акваториях. Устные доклады

ПУТИ АВТОМАТИЗАЦИЯ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА АКВАТОРИЯХ <u>Ильинский Д.А., Коган Л.И., Рогинский К.А., Хортов А.В.</u> .....	390
КАК ПОСТРОИТЬ СОВРЕМЕННУЮ ПЛАТФОРМУ УПРАВЛЕНИЯ АВТОМАТИЧЕСКИМ НЕОБИТАЕМЫМ ПОДВОДНЫМ ЗОНДОМ-ПРОФИЛОГРАФОМ? <u>Кочетов О.Ю., Волков С.В., Островский А.Г.</u> .....	398
АПРОБАЦИЯ СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКОГО МЕТОДА МОНИТОРИНГА ПАРАМЕТРОВ ЛЕДОВОГО ПОКРОВА В АРКТИКЕ <u>Преснов Д.А., Вакарчук Р.Н., Жостков Р.А., Овсяченко А.Н., Прокопович И.В., Тимофеева А.Б., Шуруп А.С.</u> .....	404
О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГЛОБАЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ ГРАВИТАЦИОННОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ В АРКТИКЕ <u>Михайлов П.С., Конешнов В.Н.</u> .....	411
РЕЗУЛЬТАТЫ СЕЙСМИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ПРЕДЕЛЬНОМ МЕЛКОВОДЬЕ В КАНДАЛАКШСКОМ ЗАЛИВЕ БЕЛОГО МОРЯ <u>Белов М.В., Потемка А.К., Токарев М.Ю.</u> .....	416
ПРИМЕНЕНИЕ ПАССИВНОЙ ГИДРОЛОКАЦИИ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ БЕНТОСНЫХ ОРГАНИЗМОВ, ИЗЛУЧАЮЩИХ В ПРОЦЕССЕ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ АКУСТИЧЕСКИЕ СИГНАЛЫ <u>Бибиков Н.Г., Попов О.Е., Корецкий М.И., Кенигсбергер Г.В., Михеев В.И.</u> .....	419
АТРИБУТИВНЫЙ АНАЛИЗ МАТЕРИАЛОВ МОВ ОГТ 2D ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ГИДРАТО- И ГАЗООБУСЛОВЛЕННЫХ АНОМАЛИЙ НА ШЕЛЬФЕ И КОНТИНЕНТАЛЬНОМ СКЛОНЕ МОРЯ ЛАПТЕВЫХ <u>Чазов А.О., Матвеева Т.В.</u> .....	424
ПРИМЕНЕНИЕ СВЕРТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ВЫДЕЛЕНИЯ ЛИНЕЙНЫХ АНОМАЛИЙ МАГНИТНОГО ПОЛЯ БАРЕНЦЕВО-КАРСКОГО РЕГИОНА <u>Шклярук А.Д., Кузнецов К.М., Лыгин И.В., Арутюнян Д.А.</u> .....	431
ТЕХНОЛОГИИ АНАЛИЗА 3D СЕЙСМИЧЕСКИХ ДАННЫХ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО РАЗРЕЗА НА МЕЛКОВОДНЫХ УЧАСТКАХ АРКТИЧЕСКОГО ШЕЛЬФА <u>Терехина Я.Е., Токарев М.Ю., Понимаскин А.И., Соловьёва М.А., Хлебникова О.А., Горбачев С.В.</u> .....	438
СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА ПУЗЫРЬКОВЫХ МЕТАНОВЫХ ГАЗОВЫДЕЛЕНИЙ И ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ В БУХТЕ ЛАСПИ (КРЫМ) <u>Будников А.А., Иванова И.Н., Хурчак А.И., Малахова Т.В.</u> .....	441
К ВОПРОСУ О РАЗРЕШАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ <u>Токарев М.Ю., Токарев А.М., Понимаскин А.И., Яковенко А.Д.</u> .....	448
РЕЗУЛЬТАТЫ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ДОННЫХ ОСАДКОВ КАНДАЛАКШСКОГО ЗАЛИВА БЕЛОГО МОРЯ <u>Дернова А.С., Пирогова А.С., Ошкин А.Н.</u> .....	456
РЕЗУЛЬТАТЫ МУЛЬТИЧАСТОТНОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ СЕВЕРО-КАРСКОЙ АКВАТОРИИ <u>Трубко С.С., Терехина Я.Е.</u> .....	464
МЕТОДИКА ОБРАБОТКИ ДАННЫХ МУЛЬТИЧАСТОТНЫХ СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ НИЛЬМИНСКО-ЧЕРНОРЕЧЕНСКОЙ ПРИУСТЬЕВОЙ МЕСТНОСТИ КАНДАЛАКШСКОГО ЗАЛИВА БЕЛОГО МОРЯ <u>Дедова Т.А., Белов М.В.</u> .....	469

АНАЛИЗ КОМПЛЕКСА ЧЕТВЕРТИЧНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ В КАРСКОМ МОРЕ НА ТЕРРАСЕ ГЕРКУЛЕСА ПО ДАННЫМ АКУСТИЧЕСКОГО ПРОФИЛИРОВАНИЯ <u>Бабушкина К.В.</u> , Старовойтов А.В. ....	475
ЧАСТОТНО-ЗАВИСИМЫЕ ЭФФЕКТЫ В СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЯХ <u>Яковенко А.Д.</u> , Токарев М.Ю. ....	482
<b>Приложение</b> .....	487
СОДЕРЖАНИЕ ТОМА I (IV) .....	488
СОДЕРЖАНИЕ ТОМА II (IV) .....	495
СОДЕРЖАНИЕ ТОМА III (IV).....	500