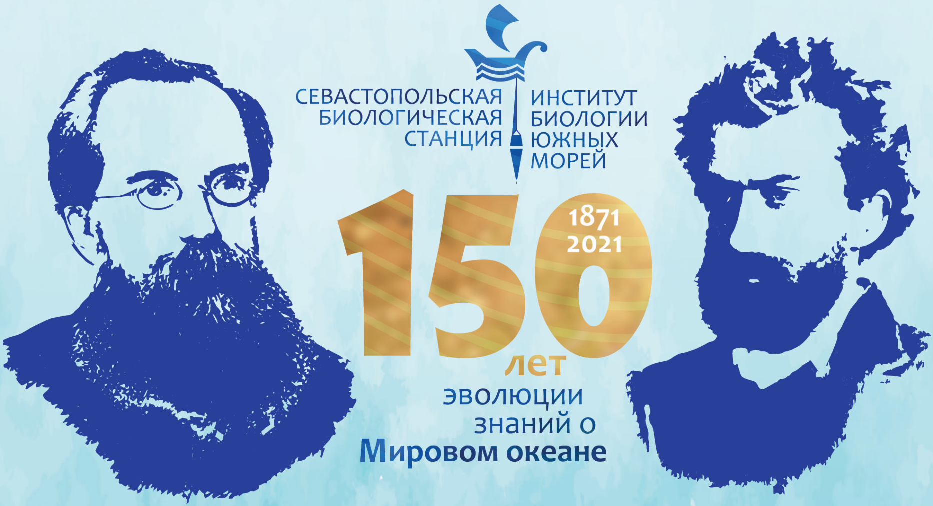
Федеральный исследовательский центр

Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН

Материалы XII Всероссийской научно-практической конференции молодых учёных с международным участием по проблемам водных экосистем

ПОНТ ЭВКСИНСКИЙ – 2021



20–24 сентября 2021 года

г. Севастополь

A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS

PONTUS EUXINUS-2021

XII All-Russian scientific and applied conference for young scientists on the water systems problems, dedicated to the 150-th anniversary of the Sevastopol Biological Station – A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS

Materials of conference

Sevastopol, 20–24 September, 2021

Sevastopol
IBSS
2021

Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН

ПОНТ ЭВКСИНСКИЙ – 2021

XII Всероссийская научно-практическая конференция молодых учёных с международным участием по проблемам водных экосистем, посвященная 150-летию Севастопольской биологической станции – ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН»

Материалы конференции

Севастополь, 20–24 сентября 2021 г.

Севастополь
ФИЦ ИнБЮМ
2021

УДК 574(063)
ББК 28.08.3я4
П 56

П 56 **Понт Эвксинский – 2021** : материалы XII Всероссийской научно-практической конференции для молодых учёных по проблемам водных экосистем, посвященной 150-летию Севастопольской биологической станции – ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», г. Севастополь, 20–24 сентября 2021 г. – Севастополь, 2021. – 93 с.

ISBN 978-5-6044865-8-0; DOI 10.21072/978-5-6044865-8-0

Сборник включает материалы докладов молодых ученых России и Республики Абхазия, раскрывающих различные аспекты современной гидробиологии. В публикациях авторов освещаются результаты научных исследований в области динамики численности и генетической дифференцировки гидробионтов, особенностей их жизненного цикла, представлены работы по влиянию абиотических и антропогенных факторов окружающей среды на физиологический статус объектов марикультуры. В ряде работ детально описаны современные гидробиологические методы исследования, такие как метабаркодинг, «фрейм» и «рейк-метод» обнаружения пляжного мусора, NGS-секвенирование, спутниковый мониторинг. Кроме этого, в сборнике рассмотрены особенности функционирования прибрежных экосистем.

Сборник рассчитан на молодых специалистов в области морской и пресноводной гидробиологии, гидроэкологии, биотехнологии и аквакультуры, морской экологии и зоологии.

УДК 574(063)
ББК 28.08.3я4

Pont Evksinskiy – 2021 : materials of XII All-Russian scientific and applied conference for young scientists on the water systems problems, dedicated to the 150 th anniversary of the Sevastopol Biological Station – A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, 20–24 September, 2021. – Sevastopol, 2021. – 93 p.

The book includes materials of young scientists from Russia and the Republic of Abkhazia, revealing various aspects of modern marine and freshwater biology. Abstracts highlight the results of scientific research in the field of population dynamics and genetic differentiation of aquatic organisms, the features of their life cycle. The book present works on the influence of abiotic and anthropogenic environmental factors on the physiological status of aquaculture species. A number of works describes the capabilities of modern research methods applied in marine and freshwater biological studies, such as metabarcoding, "frame" and "rake method" for detecting beach debris, NGS sequencing, and satellite monitoring. In addition, the book reveals the features of the functioning of coastal ecosystems.

The book is valuable for young scientists in the field of marine and freshwater biology, water ecology, biotechnology, aquaculture, marine ecology and zoology.

Материалы опубликованы с сохранением авторской редакции

Издается по решению ученого совета Института биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН (протокол № 10 от 01.09.2021)

ISBN 978-5-6044865-8-0

ОРГАНИЗАТОРЫ

Совет молодых ученых Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН»
пр. Нахимова, 2, г. Севастополь, 299011, Россия, smus@imbr-ras.ru

ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ

Председатель программного комитета: *Егоров Виктор Николаевич* д. б. н., профессор, главный научный сотрудник отдела радиационной и химической биологии, академик РАН, научный руководитель ФИЦ ИнБЮМ

Члены программного комитета:

Довгаль И. В., д. б. н., главный научный сотрудник, руководитель лаборатории проблем идентификации видов

Солдатов А. А., д. б. н., профессор, главный научный сотрудник, руководитель отдела физиологии животных и биохимии

Дмитриева Е. В., к. б. н., ведущий научный сотрудник, руководитель отдела экологической паразитологии видов

Малахова Л. В., к. б. н., ведущий научный сотрудник отдела радиационной и химической биологии

Андреева А. Ю., к. б. н., старший научный сотрудник отдела физиологии животных и биохимии

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

Председатель оргкомитета: *Горбунов Роман Вячеславович*, к. г. н., директор ФИЦ ИНБЮМ

Сопредседатель оргкомитета: *Скуратовская Екатерина Николаевна*, к. б. н., ведущий научный сотрудник отдела ихтиологии, заместитель директора ФИЦ ИНБЮМ, куратор СМУ ФИЦ ИНБЮМ

Заместитель председателя оргкомитета: *Кладченко Екатерина Сергеевна*, младший научный сотрудник отдела физиологии животных и биохимии, председатель СМУ ФИЦ ИНБЮМ

Секретарь конференции: *Кухарева Татьяна Александровна*, к. б. н., научный сотрудник отдела физиологии животных и биохимии

Члены организационного комитета

Абибулаева А. Ш., м. н. с.
Баяндина Ю. С., м. н. с.
Белогурова Р. Е., м. н. с.
Водясова Е. А., м. н. с.
Ковалева М. А., м. н. с.
Лобко В. В., инж. 1 категории
Малахова Т. В., к. б. н., с. н. с.
Мурашова А. И. вед. инж.
Прохорова Д. А., м. н. с.
Рычкова В. Н., вед. инж.
Сахонь Е. Г., м. н. с.
Челебиева Э. С., к. б. н., н. с.

ПРИ ФИНАНСОВОЙ ПОДДЕРЖКЕ

Профсоюз ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН»

ЗАО «Евроген» Москва, 117997, ул. Миклухо-Маклая 16/10, корпус 15, www.evrogen.ru

Терентьева Олеся Николаевна

Прохоров Никита Сергеевич

БИОРАЗНООБРАЗИЕ ВОДНЫХ ОРГАНИЗМОВ И ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ

ПРИБРЕЖНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ

БИОРАЗНООБРАЗИЕ ВОДНЫХ ОРГАНИЗМОВ И ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ

ПЕРВАЯ НАХОДКА СИДЯЧИХ ПЕРИТРИХ *VORTICELLA PYRIFORME* STILLER, 1939 И *ZOOTHAMNIUM SINENSE* SONG, 1991 (CILIOPHORA, PERITRICHIA) В ЧЕРНОМ МОРЕ

Абибулаева А. Ш.

ФИЦ «Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН», г. Севастополь

Ключевые слова: Vorticella, Zoothamnium, Cladophora, Cystoseira, перитрихи, Бухта Круглая, Черное море

Организмы эпифитона могут достигать большого обилия и играть важную роль в функционировании различных водных экосистем. Изучение фауны сидячих перитрих, обитающих на макрофитах, представляет большой экологический интерес: эта группа инфузорий имеет очень широкое распространение и проявляет большое разнообразие адаптивных признаков, что дает ей возможность приспосабливаться к жизни на многих видах макрофитов.

Однако сведения о сидячих инфузориях, обитающих на морских водорослях и высших растениях Черного моря, весьма скудны, в основном они представлены в списках в обзорных статьях Гассовского и Константиненко, или в отдельных публикациях Довгаля, Павловской, Шадрина, Сергеевой и др.

Во время изучения видового состава эпифитонных инфузорий в бухте Круглая на макрофитах *Cystoseira crinita* (Desf.) Bory и *Cladophora sericea* (Hudson) Kützing, 1843 были обнаружены два вида подкласса Peritrichia (*Vorticella pyriforme* Stiller, 1939; *Zoothamnium sinense* Song, 1991), которые отсутствуют в перечисленных выше списках кругоресничных инфузорий и, соответственно, являются новыми для Черного моря.

С целью изучения таксономического разнообразия инфузорий эпифитона и выявления особенностей изменения их обилия осенью 2020 года выполнены сборы талломов водорослей *Cystoseira crinita* (Desf.) Bory и *Cladophora sericea* (Hudson) Kützing, 1843 в бухте Круглой (Черное море). Бухта Круглая отличается биологическим и ландшафтным разнообразием, обилием уникальных местообитаний донной растительности, где представлены фитоценозы как морских трав, так и водорослей. Как известно, биоценозы зарослей макрофитов состоят из зарослеобразующих водорослей или морских трав, эпифитонных растений, бактерий, беспозвоночных и рыб [2].

Сбор макроводорослей производился ручным методом и путем соскобов на глубине от 0,1 до 2 метров. Пробы были отобраны в трех точках бухты Круглой в условиях одинаковой солености (18‰), температуры воздуха (29ºC), температуры воды (24ºC). Затем фрагменты таллома водорослей помещались в емкость с морской водой с места сбора и доставлялись в лабораторию.

Фото обнаруженных видов были получены с помощью цифровой камеры для микроскопических исследований ToupCam, промеры выполнены с использованием программы Toup View 3.7.

Идентификация инфузорий проводилась по Warren [3], Ji et al. [4]. Систематическое положение таксонов дано по Lynn (2008) и приведено ниже.

1. *Vorticella pyriforme* Stiller, 1939

Phylum: Ciliophora Doflein, 1901
Subphylum: Intramacronucleata Lynn, 1996
Class: Oligohymenophorea de Puytorac et al., 1974
Subclass: Peritrichia Stein, 1859
Order: Sessilina Kahl, 1933
Family: Vorticellidae Ehrenberg, 1838
Genus: *Vorticella* Linnaeus, 1767
Synonyms: *V. intermissa* Nenninger, 1948

2. *Zoothamnium sinense* Song, 1991

Genus: *Zoothamnium* Bory de St. Vincent, 1826
Synonyms: *Zoothamnium commune* sensu Song,1991
Z. truncatum Song, 1986 (primary homonym)

Госзадание 121040500247-0 «Фундаментальные исследования популяционной биологии морских животных, их морфологического и генетического разнообразия».

Список литературы

1. Протасов А. А. Жизнь в гидросфере. Очерки по общей гидробиологии. Киев : Академпериодика, 2011. 704 с.
2. Миронова Н. В., Панкеева Т. В. Пространственно-временные изменения макрофитобентоса бухты Круглая (Черное море) // Юг России: экология, развитие. 2020. Т. 15, № 2. С. 125–139. https://doi.org/10.18470/1992-1098-2020-2-125-139
3. Warren A. A revision of the genus *Vorticella* (Ciliophora: Peritrichida) // Bulletin of the British Museum (Natural History), Zoology. 1986. Vol. 50, iss. 1. P. 1–57.
4. Ji D., Song W., Warren A. Redescriptions of Three Marine Peritrichous Ciliates, *Zoothamnium alternans* Claparède et Lachmann, 1859, *Z. sinense* Song, 1991 and *Z. commune* Kahl, 1933 (Ciliophora, Peritrichia), from North China // Acta Protozoologica. 2006. Vol. 45. P. 27–39.

ВАРИАБЕЛЬНОСТЬ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ БЫЧКА-КРУГЛЯКА *NEOGOBIUS MELANOSTOMUS* (PALLAS, 1814) (ACTINOPTERYGII, GOBIIDAE) АЗОВО-ЧЕРНОМОРСКОГО БАССЕЙНА

Белогурова Р. Е.

ФИЦ «Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН», г. Севастополь

Ключевые слова: бычок-кругляк Neogobius melanostomus, Азово-Черноморский бассейн, пластические и меристические признаки, изменчивость, популяция

Экологические условия водных объектов и акваторий у Крымского полуострова разнообразны. В среднем соленость Черного моря составляет 17–18‰, Азовского – 10–11‰. Антропогенное воздействие на некоторые районы Азово-Черноморского бассейна за последние полвека вызвали изменения как в гидрохимических характеристиках, так и в составе рыбного населения некоторых районов. Так, на ихтиофауну Каркинитского залива и внутренних водоемов Крыма долгое время оказывал влияние Северо-Крымский канал, в результате работы которого в данных районах регистрировались представители днепровской ихтиофауны [1,2].

При различных экологических условиях, например, гидрохимическом режиме или скорости течения, у рыб одного вида, обитающих в таких условиях, формируются вариации признаков, исследуя вариабельность которых, можно оценить масштабы адаптации вида к экологическим условиям. Учитывая, что бычок-кругляк активно осваивает новые акватории и способен образовывать морфологически отличающиеся локальные группировки в пределах ареала в зависимости от условий окружающей среды, была поставлена цель работы – оценить изменчивость бычка-кругляка из различных акваторий Азово-Черноморского бассейна по пластическим и меристическим признакам.

Материал для работы – фиксированные 4% раствором формальдегида пробы рыб, которые были получены в ходе экспедиционных исследований отдела планктона ФГБУН ИМБИ (в настоящее время – ФИЦ ИнБЮМ) с 2009 по 2020 годы. Районы исследования – несколько акваторий Черного моря: северо-западное и юго-западное побережья Крымского полуострова (Каркинитский залив (3 пробы), лиман Донузлав (1 проба), Стрелецкая бухта Севастополя (1 проба)), а также река Салгир (внутренний водоем центрального района Крымского полуострова, 1 проба) и Казантипский залив Азовского моря (1 проба). Изучали 35 пластических и 6 меристических признаков. Для оценки различий для выборок с небольшим количеством экземпляров использован критерий Манна-Уитни при уровне значимости $p \leq 0{,}05$, реализованного в пакете Statisitca 10.0. Применены методы одномерного и многомерного статистического анализа (дискриминантный и кластерный анализы).

По результатам сравнения с применением непараметрического критерия Манна-Уитни, индексы пластических признаков бычка-кругляка из 7 районов Азово-Черноморского бассейна достоверно различались между собой. По всем пластическим признакам (24 на теле и 12 на голове) отличия наблюдаются между бычками из бухты Стрелецкой и остальными районами. Вероятно, это связано с более крупными размерами бычка-кругляка из этой акватории. Отличия по наименьшему количеству признаков зафиксированы между бычками из Каркинитского залива (бухты Ярылгачская, Бакальская и лиман Самарчик) ввиду географической близости указанных акваторий. Также отмечены отличия по большинству изучаемых признаков между бычками из трех участков Каркинитского залива и остальными районами. Степень сходства бычка-кругляка из семи районов Азово-Черноморского бассейна отражает дендрограмма, построенная с помощью кластерного анализа, осуществленного по показателям дивергенции Кульбака-Лейблера (D) в разных вариантах объединения признаков. Гидрохимические характеристики исследуемых акваторий определяют характер кластеризации: отдельную группировку при уровне дивергенции D=220 образуют выборки бычков из морских районов, к этой группе примыкает выборка рыб из пресного водоема (реки Салгир).

В обобщенном виде разделение выборок бычка-кругляка из исследованных районов Азово-Черноморского бассейна по всему комплексу пластических признаков наглядно демонстрируют результаты дискриминантного анализа. Были получены 99% правильных классификаций особей бычка-кругляка по районам.

Исследуемые признаки у бычков из 7 районов Азово-Черноморского бассейна образуют облака точек в пространстве двух корней дискриминирующих функций. По результатам дискриминантного анализа популяция бычка-кругляка в Азово-Черноморском бассейне дифференцирована на три группы, одну из которых образуют рыбы из района западного побережья Крымского полуострова (Каркинитский залив и озеро Донузлав) и района Севастополя (бухта Стрелецкая), вторую – бычки из реки Салгир, третью – бычки из Казантипского залива (Азовское море).

Таким образом, согласно проведенным исследованиям, в популяционной структуре бычка-кругляка Азово-Черноморского бассейна выявлена неоднородность. Популяция бычка-кругляка дифференцирована минимум на три группировки, одну из которых образуют рыбы из района западного побережья Крымского полуострова (Каркинитский залив и озеро Донузлав) и района Севастополя (бухта Стрелецкая), вторую – бычки из реки Салгир, третью – бычки из Казантипского залива (Азовское море). Выявленная неоднородность может быть вызвана несколькими причинами. Во-первых, поскольку бычки из разных местообитаний статистически значимо отличаются по средним значениям индексов признаков, это можно объяснить разными трофическими и экологическими условиями в тех или иных акваториях, а также разной плотностью особей. Т.е. различия в размерах особей из разных местообитаний представляют собой проявление модификационной изменчивости. Однако представляется более вероятным, что подобные различия связаны с историей формирования рыбного населения в исследуемых районах. Популяция бычка-кругляка во внутренних водоемах Крымского полуострова (в частности, реке Салгир) была сформирована из рыб днепровского фаунистического комплекса в период работы Северо-Крымского канала, что определило морфологическую обособленность выборки из этого района.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ ИнБЮМ по теме 121040500247-0 «Фундаментальные исследования популяционной биологии морских животных, их морфологического и генетического разнообразия».

Список литературы

1. Карпова Е. П. Болтачев А. Р. Днепровская ихтиофауна в гидросистеме Северо-Крымского канала // Сучасні проблеми теоретичної і практичної іхтіології : матеріали V міжнар. іхтіол. наук.-практ. конф. Чернівці : Книги-XXI, 2012. С. 101–104.
2. Belogurova R. E., Karpova E. P., Ablyazov E. R. Long-Term Changes in the Fish Fauna of the Karkinitsky Gulf of the Black Sea // Russian Journal of Marine Biology. 2020. Vol. 46, no. 6. P. 452-460. https://doi.org/10.1134/S1063074020060036

МОРФОЛОГИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ ХИЩНОГО ГЕТЕРОТРОФНОГО ЖГУТИКОНОСЦА ИЗ СОЛЕНОГО ОЗЕРА ДЖЕОДО (КОРЕЯ)

Беляев А. О.[1,2], Тихоненков Д. В.[1]

[1]Институт биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина РАН, п. Борок
[2]Пензенский государственный университет, г. Пенза

Ключевые слова: гетеротрофные жгутиконосцы, протисты, морфология, сканирующая электронная микроскопия

Гетеротрофные жгутиконосцы – группа одноклеточных организмов, принадлежащих к множеству филогенетически удаленных линий эукариот и играющая существенную роль в функционировании водных экосистем [1,2]. Изучение видового разнообразия одноклеточных эукариот и гетеротрофных жгутиконосцев в частности, является актуальной фундаментальной задачей. Несмотря на то, что каждый год описываются новые таксоны, доля известных видов в общем разнообразии одноклеточных, видимо, чрезвычайно мала [3].

Нами был найден и выделен в клональную культуру эукариотрофный жгутиконосец (клон Jim-2) из прибрежной зоны Японского моря о. Джеодо (Корея). Форма и размер клеток варьируют в зависимости от насыщения жертвой. Данный протист был культивирован на соленой среде Шмальца - Пратта, с использованием бактериотрофного жгутиконосца *Procryptobia sorokini* Zhukov 1975 в качестве пищи. Размер клеток клона Jim-2: длина 3,9–7,1 мкм, ширина 2,8–5,9 мкм. Сытые клетки имеют матрешковидную форму. В нижней части хорошо различима пищеварительная вакуоль. Голодные клетки существенно уступают в размерах сытым. Их форма серповидная, с отчетливым заострением на заднем конце. Жгутики гетероконтны, акронематичны, не покрыты мастигонемами. Их длина 4,5–7,2 и 7,8–12,8 мкм. Ближе к середине переднего и у проксимальной части заднего жгутика отмечены своеобразные складки. Жгутики выходят из самостоятельных жгутиковых карманов, разделенных валиком и ориентированных в бок. Вентральная бороздка различима лишь при наблюдении за питанием клеток в световой микроскоп и не прослеживается на препаратах СЭМ. Деление продольное. Без наличия цист в жизненном цикле. Клетки плавают в толще воды за счет быстрого биения жгутиков, вертятся вокруг своей продольной оси. Часто, клетки оседают на субстрате. При этом сытые клетки продолжают крутиться, а голодные судорожно дергаются, оставаясь в покое непродолжительное время. Пищевое поведение представляет собой захват эукариотической жертвы при помощи шипа в дистальной части клетки, где, видимо, находятся стрекательные органеллы. При этом, задний жгутик крепится к субстрату, а передний обвивается вокруг тела хищника или жертвы. В итоге, жертва округляется и принимает форму шара, после чего хищник поглощает ее через вентральную бороздку. Размер жертвы может превышать размер хищника в 2-3 раза. При этом клетка Jim-2 может поглотить лишь часть клетки жертвы, оставив при этом цитоплазматичекий пузырек недоеденной *P. sorokini*.

Особенности морфологии клеток клона Jim-2 представляют собой набор уникальных черт. Складки на обоих жгутиках схожи с некоторыми представителями Discoba и Malawimonadidae. А особенности пищевого поведения и способа поглощения эукариотической жертвы схожи с представителями группы хищных жгутиконосцев Colponemidia [4]. При этом, своеобразный шип в дистальной части клетки является оригинальной структурой. Все перечисленные морфологические особенности требуют дальнейшего ультраструктурного изучения, для установления гомологичных признаков строения клетки с уже известными представителями различных групп одноклеточных эукариот. А планируемое секвенирование гена 18s рРНК позволит установить филогенетическое положение данного клона на древе эукариот, в совокупности с ультраструктурными данными.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-34-70049.

Список литературы

1. Arndt H., Dietriech D., Auer B., Cleven E.-J., Grafenhan T. Functional diversity of heterotrophic flagellates in aquatic ecosystems. In: The flagellates: Unity, diversity and evolution / Eds : B. S. C. Leadbeater, J. C. Green. London ; New York : Taylor and Francis, 2000. P. 240–268.
2. Tikhonenkov D. V. Predatory flagellates – the new recently discovered deep branches of the eukaryotic tree and their evolutionary and ecological significance // Protistology. 2020. Vol. 14, iss. 1. P. 15–22. http://doi.org/10.21685/1680-0826-2020-14-1-2
3. Pesant, S., Not, F., Picheral, M., Kandels-Lewis, S., Le Bescot, N., Gorsky, G., Iudicone, D., Karsenti, E., Speich, S., Troublé, R., Dimier, C., Searson, S. Open science

resources for the discovery and analysis of Tara Oceans data // Scientific Data. 2015. Vol. 2. Art. no. 150023 (16 p.). http://doi.org/10.1038/sdata.2015.23
4. Tikhonenkov D.V., Janouškovec J., Mylnikov A. P., Mikhailov K. V., Simdyanov T. G., Aleoshin V. V, et al. Description of *Colponema vietnamica* sp.n. and *Acavomonas peruviana* n. gen. n. sp., Two New Alveolate Phyla (Colponemidia nom. nov. and Acavomonidia nom. nov.) and Their Contributions to Reconstructing the Ancestral State of Alveolates and Eukaryotes // PLoS ONE. 2014. Vol. 9, iss. 4. Art. no. e95467. http://doi.org/10.1371/journal.pone.0095467

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ЧАСТИЦ МИКРОПЛАСТИКА НА БРЮХОНОГИХ МОЛЛЮСКОВ ОЗ. БАЙКАЛ

Бирицкая С. А., Долинская Е. М., Теплых М. А., Бухаева Л. Б., Ермолаева Я. К., Пушница В. А., Кузнецова И. В., Охолина А. И., Карнаухов Д. Ю., Зилов Е. А.

Иркутский государственный университет, г. Иркутск

Ключевые слова: микропластик, озеро Байкал, брюхоногие моллюски

К микропластику относятся частицы разных типов пластика, размером не превышающие 5 мм [1]. Проблема загрязнения вод микропластиком характерна как для морских, так и для пресноводных экосистем, причем с каждым годом уровень загрязнения только растет. Озеро Байкал является одним из самых чистых источников пресной воды, но и оно подвержено данному типу загрязнения [1]. Для изучения последствий загрязнения микропластиком вод озера Байкал нами был начат проект по изучению влияния частиц микропластика на брюхоногих моллюсков оз. Байкал. Брюхоногие моллюски в озере Байкал занимают субдоминантную по численности и доминантную по биомассе позицию среди бентосных организмов. Всего в озере обитает около 150 видов брюхоногих моллюсков, 79% из которых – эндемики [2]. Наша цель заключалась в проведении лабораторных экспериментов для изучения влияния частиц микропластика на байкальских брюхоногих моллюсков.

Для исследования нами был поставлен эксперимент, основанный на ранее проверенной методике [3]. Для эксперимента были взяты 20 моллюсков вида *Radix auricularia* (Linnaeus, 1758) и два типа флуоресцентного микропластика – фрагменты полистирола и волокна полиэстера. Моллюсков разделили на две группы: 10 моллюсков питались смесью с фрагментами микропластика, другие 10 – с волокнами. Каждый моллюск был помещен в отдельный аквариум. Эксперимент был проведен следующим образом: была приготовлена смесь из водорослей, желатина и микропластика, которую нанесли на предметное стекло (для имитации биопленки, которой моллюски питаются в естественной среде обитания), этой смесью моллюсков кормили один раз, а затем в течение пяти дней готовились препараты с экскрементами моллюсков. Экскременты каждый раз были отобраны перед сменой воды: в 15:00 и 17:00 в первый день; в 9:00, 11:00, 13:00, 15:00 и 17:00 во второй, третий и четвертый дни; и в 15:00 в пятый день эксперимента.

Таким образом, препараты должны были быть сделаны 18 раз для каждого из 20 моллюсков, а всего было бы получено 360 препаратов с экскрементами моллюсков (180 от эксперимента с фрагментами микропластика и 180 от эксперимента с волокнами микропластика). Но по итогу препараты в эксперименте с фрагментами микропластика были сделаны 73 раза, а в эксперименте с волокнами микропластика 71 раз. Это связано с тем, что за весь период экспериментов моллюсков кормили всего один раз, что повлияло на количество экскрементов. Каждый из полученных препаратов был сфотографирован на цифровую камеру под УФ-фонариком для визуализации полученных результатов.

По результатам эксперимента можно сделать выводы о том, что микропластик может поглощаться моллюсками вместе с пищей, а также выводиться из организма с фекалиями. Частицы микропластика наблюдались уже в первых сделанных препаратах, на второй день их количество было максимальным, а далее с каждым днем уменьшалось. Визуально было оценено не только наличие микропластика, но и степень его флуоресценции, где 3 – сильная флуоресценция, 2 – средняя флуоресценция, 1 – слабая флуоресценция, 0 – флуоресценция отсутствует. В результате в 12 из 73 случаев для эксперимента с фрагментами микропластика флуоресценция была оценена как сильная, в 25 случаях как средняя, в 24 случаях как слабая, в 12 флуоресценция отсутствовала. В эксперименте с волокнами микропластика сильная флуоресценция наблюдалась всего 2 раза, средняя 7 раз, слабая 13 раз, и в 49 случаях флуоресценция отсутствовала. Такое различие в полученных данных может объясняться тем, что волокна микропластика хуже проходят через пищеварительную систему моллюска, задерживаясь в нем, поэтому их количество в экскрементах заметно меньше, чем количество фрагментов микропластика. Для более точных выводов требуется проведение дополнительных лабораторных экспериментов.

Работа поддержана проектом Минобрнауки России № FZZE-2020-0026.

Список литературы:

1. Бирицкая С. А., Долинская Е. М., Теплых М. А., Ермолаева Я. К., Пушница В. А., Бухаева Л. Б., Кузнецова И. В., Охолина А. И., Карнаухов Д. Ю., Зилов Е. А. Загрязнения вод микропластиком над литоральной зоной в южной котловине озера Байкал // Байкальский зоологический журнал. 2020. вып. 2 (28). С. 29–32.
2. Байкаловедение = Baicalogy : [в 2 кн. / О. Т. Русинек, В. В. Тахтеев, Т. В. Ходжер и др.] ; отв. ред. О. Т. Русинек ; [Рос. Академия. наук, Сиб. отд-ние, Иркут. науч. центр, институт земной коры и др.]. Новосибирск : Наука, 2012. 664 с.
3. Ehlers S. M., Maxein J., Koop J. H. E. Low-cost microplastic visualization in feeding experiments using an ultraviolet light-emitting flashlight // Ecological Research. 2020. Vol. 35, iss. 1. P. 265–273. https://doi.org/10.1111/1440-1703.12080

ОСНОВНЫЕ КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЗООБЕНТОСА НА РАЗРЕЗЕ Г. МАХАЧКАЛА – М. САГЫНДЫК

Блинкова О. В., Попова Е. В., Кострыкина Т. А.

Волжско-Каспийский филиал ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии» («Каспийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства»), г. Астрахань

Ключевые слова: зообентос, численность, биомасса, исследований, г. Махачкала – м. Сагындык

Уникальная донная фауна Каспия, сформированная в условиях длительной изоляции, в основном из морских видов состоит на 46 % из эндемиков Каспия, а еще 20 % видов встречаются только в Понто-Каспийском регионе [1].

Отбор проб зообентоса происходил по определенной сетке станций летом 2016-2020 гг. на разрезе г. Махачкала – м. Сагындык, за это время было собрано, обработано и проанализировано материала с 35 станций. Сбор, камеральную обработку и анализ материалов исследований проводили по стандартным методикам [2–3]. Для определения видов организмов использовали определитель [4].

Видовой состав зообентоса в многолетнем ряду наблюдений (2016-2020 гг.) был представлен тремя таксономическими группами Vermes, Crustacea, Bivalvia, которые в свою очередь включали 47 таксономических единиц. Наибольшее число видов было зарегистрировано в группе Crustacea (34). Индекс видового разнообразия Шеннона – Уивера (H_N) составил 3,16 бит/экз.

Наибольшее таксономическое разнообразие (33) зообентоса наблюдалось в 2019-2020 гг., наименьшее в 2016 и 2017 г. (по 28 видов) за счет уменьшения видового разнообразия беспозвоночных ракообразных и моллюсков.

На протяжение всего периода исследований широкое распространение из червей получили в основном: Oligochaeta (97,1 %), *Manayunkia caspica* (80 %), среди ракообразных можно отметить кумовых - *Pseudocuma cercaroides* (60 %), гаммарид - *Amathillina cristata* (60 %), *Dikerogammarus haemobaphes* (74,3 %), *Gammarus pauxillus* (80 %), корофиид - *Corophium chelicorne* (91,4 %), *Corophium nobile* (74,3 %), *Corophium mucronatum* (74,3 %) и усоногих ракообразных *Balanus improvisus* (82,8 %). Встречаемость двустворчатых моллюсков не превышала 20% от общего количества проб.

Общая численность и биомасса зообентоса за весь период исследований на акватории разреза г. Махачкала – м. Сагындык составила 5,38 тыс. экз.$\cdot$м$^{-2}$ и 31,42 г$\cdot$м$^{-2}$, численность колебалась в пределах от 2,08 (2015 г.) до 7,82 тыс. экз.$\cdot$м$^{-2}$ (2016 г.), биомасса – от 9,64 (2019 г.) до 77,49 г$\cdot$м$^{-2}$ (2016 г.).

При формировании численности в среднемноголетнем аспекте значительный вклад внесли беспозвоночные ракообразные (78,7 %), без учета усоногих ракообразных, главным образом *Gammarus pauxillus (*31,5 %), *Corophium chelicorne* (20 %), это обусловлено соответствующими биотопическими условиями – илистый грунт, мелкобитая ракуша. Субдоминировали по численности черви Oligochaeta (7 %), *Manayunkia caspica* (7 %). Основу средней биомассы определяли представители как «мягкого» бентоса - корофииды *Corophium chelicorne* (17,2 %) так и «жесткого» бентоса – усоногие раки *Balanus improvisus* (34,5 %), двустворчатые моллюски *Dreissena rostriformis* (7,1 %) и *Didacna parallella* (11,7 %).

В среднемноголетней динамике наиболее продуктивна западная часть Среднего Каспия 6,45 тыс. экз.$\cdot$м$^{-2}$ и 42,05 г$\cdot$м$^{-2}$. Основу численности и биомассы донной фауны формировали ракообразные 80 % и 67 % соответственно, преимущественно, за счет морских желудей и корофиид. Показатели зообентоса восточной части составили 4,56 тыс. экз.$\cdot$м$^{-2}$ и 23,44 г$\cdot$м$^{-2}$.

Таким образом, показатели численности и биомассы зообентоса характеризовались высокими значениями, величина которых составила 5,38 тыс. экз.$\cdot$м$^{-2}$, в т.ч. кормовой – 5,09 тыс. экз.$\cdot$м$^{-2}$ и биомасс – 31,42 г$\cdot$м$^{-2}$, в т.ч. кормовой 13,71 г$\cdot$м$^{-2}$.

Список литературы:

1. Зенкевич Л. А. Биология морей СССР. Москва : Изд-во АН СССР, 1963. 739 с.
2. Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов. Москва : Наука, 1975. 240 с.
3. Методические указания к изучению бентоса южных морей СССР / под ред. Н. Н. Романовой. Москва : ВНИРО, 1983. 14 с.

4. Бирштейн Я. А., Виноградова Л. Г. Атлас беспозвоночных Каспийского моря. Москва : Пищевая промышленность, 1968. 430 с.

ВНЕШНЯЯ МОРФОЛОГИЯ, УЛЬТРАСТРУКТУРА И ФИЛОГЕНЕТИЧЕСКОЕ ПОЛОЖЕНИЕ НОВОГО ВИДА HETEROLOBOSEA ИЗ ПРЕСНОГО ВОДОЁМА

Бородина А. С.[1,2], Тихоненков Д. В.[1]

[1]Институт биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина РАН, п. Борок
[2]Воронежский государственный университет, г. Воронеж

Ключевые слова: гетеролобозные амебы, протисты, морфология, молекулярная филогения

Heterolobosea – это группа протистов, принадлежащих к Discoba [1]. Хотя данная группа включает около 140 видов в 35 родах [2], границы ее истинного разнообразия продолжают расширяться, о чем свидетельствуют открытия значительного числа новых родов в течение последнего десятилетия [3, 4]. Члены Heterolobosea, как правило, являются амебофлагеллятами, которые чередуют амебную и жгутиковую стадии в течение жизненного цикла [2].

Мы выделили и изучили новый клон Va-1, который является представителем семейства Vahlkampfiidae и происходит из образца, взятого с литорали небольшого пруда близ поселка Борок (Ярославская область, Россия). Нами было проведено исследование внешней морфологии найденного организма с использованием методов световой микроскопии. Для изучаемых амеб характерно наличие хорошо различимых гиалиновых псевдоподий, которые образуются в процессе эруптивного движения и составляют 15–25% длины клеток и более. Эруптивные псевдоподии могут образовываться в направлении движения или субапикально. Длина подвижной клетки составляет 13–28 мкм (в среднем 17,9±0,5 мкм, n=50), ширина 9–12 мкм (в среднем 10,4±0,5 мкм, n=50). Соотношение длина:ширина составляет 4,3 в подвижных клетках и 1,7 в слабоподвижных клетках. Были обнаружены мелкие цитоплазматические гранулы, пищевые вакуоли и одна большая сократительная вакуоль в задней части. Последняя образуется в результате слияния 5–7 небольших вакуолей. У некоторых клеток были обнаружены несколько тонких уроидальных филаментов, которые иногда разветвлялись. Одиночное ядро диаметром 1,5–2,0 мкм находится за гиалиновой псевдоподией. Ядро округлое, но может подвергаться деформации во время движения клетки. Слегка подвижные клетки образуют псевдоподии по контуру клетки. Клетка может быстро менять направление движения на 180°. Сферические цисты диаметром 5–7 мкм (в среднем 6,3±0,2 мкм, n=30) с хорошо различимой стенкой. Циста имеет только одно центральное ядро. Поры и пробки в цистах не обнаружены. Цисты могут образовывать скопления по 2–7 единиц. Максимальная температура выживания составляет 36 °C. Оптимальная температура роста неизвестна.

Были проведены электронно-микроскопические исследования нового клона. На сканирующих электронных микрофотографиях видны уроидальные филаменты, иногда с аморфным материалом. Псевдоподии образуются на переднем конце клетки. Поверхность клеток не покрыта гранулами или чешуйками. Пробки в цистах не обнаружены. Клетка покрыта плазмалеммой и слабо развитым волокнистым слоем гликокаликса. Пищеварительная вакуоль содержит поглощенные бактерии. Митохондрии имеют дисковидные кристы, которые окружены цистернами эндоплазматического ретикулума. Цисты имеют сферическую форму и заключены внутри оболочки, толщина которой зависит от стадии развития. У взрослых цист оболочка состоит из трех слоев толщиной 100–200 нм.

С использованием методов молекулярной филогении (MrBayes, IQ-tree) было установлено филогенетическое положение обнаруженного клона, что позволило уточнить родственные связи внутри Heterolobosea и расширить видовой состав семейства Vahlkampfiidae.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 18-14-00239, https://rscf.ru/project/18-14-00239/. Авторы выражают благодарность д.б.н. Мыльникову Александру Петровичу.

Список литературы

1. Adl M. S., Bass D., Lane C. E. Revisions to the Classification, Nomenclature, and Diversity of Eukaryotes // Journal of Eukaryotic Microbiology. 2019. Vol. 66, iss. 1. P. 4–119. https://doi.org/10.1111/jeu.12691
2. Pánek T., Simpson A. G. B., Brown M. W., Dyer B. D. Heterolobosea. In: Archibald J., Simpson A., Slamovits C. (eds) Handbook of the Protists. Cham, Switzerland : Springer, 2017. P. 1005–1046. https://doi.org/10.1007/978-3-319-28149-0_10
3. Park J. S., De Jonckheere J. F., Simpson A. G. B. Characterization of Selenaion koniopes n. gen., n. sp., an amoeba that represents a new major lineage within Heterolobosea, isolated from the Wieliczka salt mine // Journal of Eukaryotic Microbiology. 2012. Vol. 59, iss. 6. P. 601–613. https://doi.org/10.1111/j.1550-7408.2012.00641.x
4. Walochnik J., Mulec J. Free-living Amoebae in Carbonate Precipitating Microhabitats of Karst Caves and a New Vahlkampfiid Amoeba, Allovahlkampfia spelaea gen. nov., sp. nov. // Acta Protozoologica. 2009. Vol. 48, iss. 1. P. 25–33.

МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА ПРОМЫСЛА И РАЗМЕРНО-ВОЗРАСТНОЙ СТРУКТУРЫ УЛОВОВ ХАМСЫ (*ENGRAULIS ENCRASICOLUS* LINNAEUS) ЗИМУЮЩЕЙ У БЕРЕГОВ АБХАЗИИ

Гамахария П. Д.

Институт Экологии АНА, научный сотрудник, г. Сухум, Абхазия

Ключевые слова: черноморский (кавказский) анчоус, азовский (крымский) анчоус, промысел, вылов, размерно-возрастная структура

В период проведения исследований объемы вылова хамсы варьировали от 39261,6 до 41463,0 т, в предыдущие годы они были значительно ниже. Величина среднего многолетнего улова составляет 36836,4 т. Промысел начинался в начале-конце декабря и заканчивался в конце марта – начале апреля (с 2017 года вылов заканчивался в феврале-марте). Продолжительность путины в среднем не превышала 3 – 3,5 месяца.

На основе многолетних данных четко прослеживается цикличность изменения биомассы хамсы, которая связана как с внутривидовой размерно-возрастной динамикой, а также климатическими изменениями и температурными полями. Влияние климатических изменений и температурных полей нами будет рассмотрено отдельно, в данной статье будут рассмотрены лишь биологические показатели, влияющие на динамику стада хамсы.

Размерный состав уловов хамсы в 2011/2020 гг. был представлен особями длиной 5,6–13,9 см (стандартная длина), возрастной – пятью поколениями (годовыми классами): сеголетками, 2-, 3-, 4-, 5-летками. Размерно-возрастной состав уловов на протяжении этого времени не оставался неизменным: четко выделяется два типа, один из которых представлен 2012/2013 и 2018/2019 промысловыми сезонами, другой – всеми остальными. Для первого типа размерно-возрастной структуры характерно присутствие в составе уловов четырех возрастных (годовых) классов, постоянное доминирование сеголеток – от 35,2 до 73,7 % (среднее 54,5 %), невысокая доля пятилеток с максимумом 5,0 % (2014/2015 гг.), средний возраст хамсы 1,25 года, средняя длина 9,66 см.

Для второго типа размерно-возрастной структуры характерно наличие всего четырех возрастных классов – сеголеток, 2-, 3-, 4-леток, доминирование двухлеток (среднее 49,4 %), средний возраст 1,29, а средняя длина 9,30 см, то есть произошло незначительное изменение состояния популяции. В свою очередь имеют место внутрисезонные изменения структурно-функциональных характеристик хамсы: от зимы к весне закономерно увеличивается доля сеголеток и сокращается доля всех других возрастных классов.

Изменение численности особей младших возрастных групп по месяцам носит закономерный характер. Наблюдаемое же в многолетнем аспекте омоложение хамсы, возможно, отчасти связано также с внутривидовыми структурными изменениями, а именно, с перераспределением в составе промыслового стада численного соотношения представителей «черноморской» и «прибрежной» форм.

Список литературы

1. Зуев Г. В., Бондарев В. А., Мурзин Ю. Л., Новоселова Ю. В. Внутривидовая структурно-функциональная дифференциация зимующей у черноморского побережья Крыма хамсы и ее многолетняя динамика // Современные рыбохозяйственные и экологические проблемы Азово-Черноморского региона : материалы VII междунар. конф., г. Керчь, 20–23 июня 2012 г. Керчь : ЮгНИРО, 2012. С. 51–58.
2. Зуев Г. В., Бондарев В. А., Мурзин Ю. Л., Самотой Ю. В. Многолетняя динамика промысла и размерно-возрастной структуры уловов черноморской (*Engraulis encrasicolus ponticus* Aleks) хамсы в Украине // Морской экологический журнал. 2014. Т. 2, вып. 3. С. 27–34.
3. Правдин И. Ф. Руководство по изучению рыб. Москва : Пищевая пром, ышленномть1966. 375 с.
4. Чугунова Н. И. Руководство по изучению возраста и роста рыб (методическое пособие по биологии). Москва : АН СССР, 1959. 125 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ БЫЧКА-КРУГЛЯКА (*NEOGOBIUS MELANOSTOMUS* (PALLAS. 1814) В НЕРЕСТОВЫЙ ПЕРИОД 2020 ГОДА

Жарынина И. И., Лисовская В. В., Кириченко О. В.

Азово-Черноморский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («АзНИИРХ»), г. Ростов-на-Дону

Ключевые слова: бычок-кругляк, Neogobius melanostomus, содержание липидов, гонадосоматический индекс, физиологическое состояние, нерест, Азовское море

Бычок-кругляк (*Neogobius melanostomus (Pallas. 1814)*) является одним из самых распространенных представителей семейства Бычковые (*Gobiidae*) и наиболее ценным объект промысла в Азовском море. Его доля в уловах бычков в Азовском море достигает 90 %, а среди бычков, прилавливаемых при промысле других видов рыб, — до 80 %.

Бычок-кругляк – солоноватоводная прибрежная донная рыба, держится главным образом вдоль берегов на ракушечно-песчаных грунтах до глубины 10 - 15 м [1]. Нерест бычка-кругляка происходит с конца марта до августа, наиболее интенсивен с конца апреля до начала мая [2]. Начинается он при температуре +10°, а при +15° носит массовый характер. В отличие от других видов бычков, бычок-кругляк нерестится порционно.

Исследования физиологического состояния самок и самцов бычка-кругляка в период нереста, как один из наиболее уязвимых периодов жизненного цикла рыб, позволяет получить представление об адаптационных возможностях популяции в условиях естественных процессов, связанных с изменением солености Азовского моря, а также постоянного повышения антропогенного прессинга.

Целью настоящего исследования являлась оценка физиологических показателей в теле бычка-кругляка в период нереста.

В весенний период были обследованы 20 особей бычка-кругляка в возрасте 1+ и 2+. Морфофизиологические исследования проводились согласно методическим руководствам [3]. У особей измеряли длину, массу тела, определяли пол и стадию зрелости половых продуктов. Возраст рыб определяли по методике Правдина [4] по отолитам, которые выдерживали в течение 10 ч в 10 %-ном растворе аммиака, затем промывали теплой водой и помещали в каплю глицерина. Содержание липидов определяли весовым методом, содержание белка – по методу Кьельдаля.

Гонады самок бычка-кругляка были IV стадии зрелости, гонадосоматический индекс варьировал от 5,5 до 21,9 %. Гонады самцов были III-IV стадии зрелости, гонадосоматический индекс изменялся от 0,6 до 2,5 %. В гонадах самок содержание жира на уровне среднемноголетних величин (от 10,9 % до 18,3 %) и, в среднем, составляло 14,2 %. У самцов среднее содержание жира в гонадах было ниже среднемноголетних величин и составляло 6,6 %.

Количество жира в мышцах самок составляло 1,2 %, самцов – 2,0 %, что является нормой для рыб семейства Бычковые. Среднее содержание жира в печени самок и самцов бычка-кругляка было в пределах нормы (от 31,5 % до 79,2 %) для рыб в исследуемый период и варьировало от 36,6 % до 65,3 %. Содержание белка в мышцах, гонадах и печени самок и самцов находились в пределах нормы для рыб в исследуемый период и соответствовали среднемноголетним величинам.

Результаты анализа физиологического состояния бычка-кругляка свидетельствуют об удовлетворительном состоянии производителей в весенний период.

Выражаем благодарность научному руководителю доктору биологических наук, профессору Денисовой Т. В. и заведующему лабораторией молекулярной генетики, физиологии и болезней рыб, кандидат биологических наук, доцент Бугаеву Л. А. за ценные советы при планировании исследования и рекомендации по оформлению статьи.

Список литературы

1. Кузьминова Н. С., Ковыршина Т. Б., Тертичный С. П. Популяционные характеристики бычка-кругляка в Азовском море в 2011 - 2012 гг. // Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Тернопіль : ТНПУ, 2013. Вип. 2 (55). С. 78–84.

2. Световидов А. И. Рыбы Черного моря. Ленинград : Наука, 1964. 550 с.
3. ГОСТ 7636–85 Рыба, морские млекопитающие, морские беспозвоночные и продукты их переработки. Методы анализа.
4. Правдин И. Ф. Руководство по изучению рыб. Москва : Пищевая промышленность, 1966. 376 с.

СФАГНОБИОНТНЫЕ РАКОВИННЫЕ АМЕБЫ УСМАНСКОГО БОРА

Загумённая О. Н.

Институт биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина РАН, п. Борок

Ключевые слова: Protista, Testacea, протисты, раковинные амебы, сфагнобионты, электронная микроскопия, световая микроскопия, морфология, Усманский бор, Клюквенное-1

Раковинные амебы (Testacea) – полифилетическая группа простейших, объединяющая филозных тестаций клады Rhizaria, входящую в супергруппу TSAR, и лобозных тестаций, принадлежащих супергруппе Amoebazoa, входящую в домен Amorphea [1]. Тестации являются доминирующими протистами и наиболее важными потребителями микроорганизмов в экосистемах сфагновых болот и торфянников. Они играют большую роль в круговороте элементов в наземных экосистемах, как ключевой компонент «микробной петли» [2].

По типу организации тестации представляют собой ползающую амебу, заключенную в наружное скелетное образование (раковинку), устойчивую к разложению, что позволяет их использовать в качестве экологических и палеоэкологических индикаторов [3]. Раковинные амебы чувствительны к степени увлажнения и кислотности и реагируют на локальные изменения условий среды, что делает их незаменимым объектом исследования для биомониторинга и экотоксикологии [3;4].

Нами исследовались морфология, видовой состав и количественное обилие раковинных амеб на 1 г субстрата, выделенных из семи типов микроландшафтов сфагнового болота Клюквенное-1 Усманского бора (БУНЦ «Веневитиново»), с разным гидрологическим режимом (по уровню обводненности, pH), таких как мох сфагнум, мочажины, слой перегнивших остатков, обводненные части болота и промежуточные между перечисленными микроландшафтами пространства. Исследования проводились с использованием световой (фазовый контраст, дифференциально-интерференционный контраст) и сканирующей электронной микроскопии.

Получено 663 СЭМ-снимка. Впервые дана характеристика видового богатства раковинных амеб сфагновых болот Усманского бора. Нами было выявлено 75 видов тестаций из 22 родов и 11 семейств. Для сфагновых болот Усманского бора впервые указано 66 видов, 21 вид из которых является редким.

По количеству видов и плотности самыми обильными оказались сообщества тестаций, населяющих слой перегнивших остатков (1600 экз•г). Самым малочисленным (280 экз.•г) было сообщество тестаций, населяющих сфагнум. Вместе с тем, только здесь обнаружены такие виды тестаций, как *Assulina quadratum* van Oye, 1958, *Assulina collaris* Kufferath,1932, *Euglypfa strigosa glabra* Wailes, 1898. Три вида тестаций *Corythion dubium* Taranek, 1871, *Euglypha laevis* (Ehrenberg, 1845) Perty, 1849 и *Trinema lineare* Penard, 1890 оказались «убиквистами», были обнаружены во всех семи типах исследуемых сообществ. Наиболее полным по видовому составу из выявленных семейств амеб в сфагновых болотах оказалось семейство эуглифид (*Euglyphidae* Wallich, 1864), являющееся центральным звеном эволюции филозных амеб. Плотность тестаций в микросообществах оказалась дифференцированной, наиболее высокая плотность выявлена у вида *Arcella gibbosa* Penard, 1890 – 160–180 экз.·г, самая низкая плотность выявлена у *Assulina quadratum* van Oye, 1958 – 10 экз.·г.

Автор искренне признателен д.б.н., главн. науч. сотр. Д. В. Тихоненкову (ИБВВ РАН) за оказанные консультации и д.б.н. главн. науч. сотр. А. П. Мыльникову, а также, своему научному руководителю д.б.н., проф. Л. Н. Хицовой за научно-методическое руководство и внимание к работе.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ (проект № 20-04-00583А) и в рамках государственного задания (№ темы АААА-А18-118012690098-5).

Список литературы

1. Adl S. M. et al. Revisions to the classification, nomenclature, and diversity of eukaryotes // Journal of Eukaryotic Microbiology. 2019. Vol. 66, iss. 1. C. 4-119. https://doi.org/10.1111/jeu.12691
2. Tran H. Q., Tran V. T. H., Tikhonenkov D. V. Freshwater testate amoebae from waterbodies of North Vietnam with the finding of indicator species // Limnology. 2021. Vol. 22, no. 1. P. 151-160. https://doi.org/10.1007/s10201-020-00642-y
3. Бобров А. А., Чармен Д., Уорнер Б. Экология раковинных амеб олиготрофных болот (особенности экологии политипических и полиморфных видов) // Известия РАН. Серия биологическая. 2002. № 6. С. 738-751.
4. Мазей Ю. А., Цыганов А. Н. Пресноводные раковинные амебы. Москва : Тов-во науч. изд. КМК, 2006. 305 с.

ЦЕНТРОХЕЛИДНЫЕ СОЛНЕЧНИКИ АЗИИ (НА ПРИМЕРЕ РЯДА РЕГИОНОВ РОССИИ, ВЬЕТНАМА, ЮЖНОЙ КОРЕИ И ДРУГИХ СТРАН)

Загумённый Д. Г., Прокина К. И., Тихоненков Д. В.

Институт биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина РАН, п. Борок

Ключевые слова: Protista, Centroplasthelida, центрохелидные солнечники, 18S рРНК, видовое разнообразие, покровные элементы, Монголия, Казахстан, оз. Байкал, оз. Телецкое

Центрохелидные солнечники – монофилетическая группа свободноживущих гетеротрофных протистов размером обычно до 100 мкм, имеющих радиальную симметрию. Из центра организации микротрубочек (ЦОМТ), расположенного в центре клетки, во все стороны расходятся аксонемы. Выходя за пределы клетки, они образуют лучи-аксоподии, на мембране которых расположены экструсомы – кинетоцисты, предназначенные для ловли добычи. Центрохелиды вместе с гаптофитами входят в супергруппу Haptista в домене Diaphoretickes. Несмотря на родство с гаптофитами, солнечники – беспластидные организмы. Покровы большинства представителей, как и у некоторых других групп простейших, представлены кремнеземными чешуйками. Чешуйки имеют разнообразное морфологическое строение, что позволяет идентифицировать видовую принадлежность. Молекулярно-филогенетические данные по гену 18S рРНК хорошо скоррелированы с данными морфологии покровных элементов.

Центрохелидные солнечники являются убиквистами, они приспособились к обитанию в разных средах обитания различных регионов мира. Солнечники населяют пресные, солоноватоводные, морские и гипергалинные местообитания, встречаются во всех экотопических группировках простейших. Нередки находки солнечников в почвенных биотопах. Благодаря наличию цист и способности к пережиданию неблагоприятных условий их можно обнаружить практически повсеместно. Однако, несмотря на это, значение этой группы организмов все еще недостаточно исследовано, видовое разнообразие по некоторым оценкам изучено только на 10% [1]. Для многих регионов мира не имеется сведений о центрохелидах. Специальные работы, посвященные изучению солнечников крайне фрагментарны. Так, в Азиатском регионе имеются сведения о солнечниках только из Шри-Ланки, Малайзии Японии [2], запада Монголии, Индии [3] и России [4]. Нами была поставлена задача расширить географию исследований и изучить различные типы биотопов ранее не исследованных регионов используя современные методы.

Нами был исследован ряд водоемов и водотоков на территории 7 стран Азии. Получены первые морфологически подтвержденные данные о центрохелидах Казахстана, Китая, Южной Кореи, Вьетнама, Мальдив. Также изучены биотопы Байкальского региона России и северной Монголии, Телецкого озера Алтая, р. Иртыш и вечной мерзлоты Якутии. Исследование проводилось с использованием методов как световой (ФКМ, ДИК) так и электронной микроскопии (ТЭМ, СЭМ), а также методов молекулярной филогенетики. Всего обнаружено 40 видов центрохелид, 9 из которых новые для науки. Морфология изученных клеток и их покровов подробно изучена, составлены морфологические описания. Для 12 центрохелид получены клональные культуры. У 11 видов выделена тотальная ДНК, секвенирован ген 18S рРНК, построены филогенетические деревья и проанализированы родственные отношения внутри Centroplasthelida. По результатам работы морфологически охарактеризованы 8 клад центрохелид, которые до этого исследования были представлены лишь природными сиквенсами. Показана полифилия рода *Choanocystis*.

Авторы выражают благодарность Т. Н. Ерёминой; Е. В. Аксёненко и В. А. Синициной (ВГУ); Ю. Г. Удоденко и В. С. Вишнякову (ИБВВ РАН); С. В. Губину и А. В. Лупачеву (ИФХиБПП РАН); Hoan Q. Tran (Российско-Вьетнамский Тропический центр); J. S. Park, и S. H. Jhin (Kyungpook National Unviersity, Республика Корея) за помощь в отборе проб.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 18-14-00239, https://rscf.ru/project/18-14-00239/.

Список литературы

1. Cavalier-Smith T., von der Heyden S. Molecular phylogeny, scale evolution and taxonomy of centrohelid heliozoa // Molecular Phylogenetics and Evolution. 2007. Vol. 44, iss. 3. P. 1186–1203. https://doi.org/10.1016/j.ympev.2007.04.019
2. Dürrschmidt M. An electron microscopical study of freshwater Heliozoa (genus *Acanthocystis*, Centrohelidia) from Chile, New Zealand, Malaysia and Sri-Lanka II // Archiv für Protistenkunde. 1987. Vol. 133, iss. 1-2. P. 21–48. https://doi.org/10.1016/S0003-9365(87)80038-6
3. Wujek D. E., Saha L. C. Freshwater scaled heterotrophic flagellates and Heliozoa from India including a description of a new species of Choanocystis // Journal of Bombay Natural History Society. 2006. Vol. 103. P. 71–81.

4. Plotnikov A.O., Gerasimova E.A. Heliozoa (Centrohelea, Haptista, Hacrobia) of saline and brackish water bodies and watercourses of Russia. // Inland Water Biology. 2017. Vol. 10. P. 121–129. https://doi.org/10.1134/S1995082917020109

МОРФОФИЗИОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ТАРАНИ (*RUTILUS RUTILUS HECKELII (NORDMANN, 1840))* ИЗ ВЕСЕЛОВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА В НАГУЛЬНЫЙ ПЕРИОД 2020 ГОДА

Кириченко О. В.[1,2], Лисовская В. В.[1,2], Жарынина И. И.[1,2], Бугаев Л. А.[1], Войкина А. В.[1]

[1]Азово-Черноморский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («АзНИИРХ»), г. Ростов-на-Дону
[2]Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону

Ключевые слова: Rutilus rutilus heckeli, тарань, Веселовское водохранилище, физиологическое состояние, липиды, белок, гонадосоматический индекс

Тарань (*Rutilus rutilus heckeli*) является ценной полупроходной рыбой, объектом любительского и спортивного рыболовства. Необходимость отслеживания физиологического состояния этого вида рыб обусловлена снижением эффективности естественного нереста рыб в Веселовском водохранилище, во многом происходящее из-за ухудшения биоэкологических условий на нерестилищах [1].

Целью работы являлось изучение морфофизиологического состояния тарани в нагульный период 2020 года в Веселовском водохранилище. Физиологическое состояние было исследовано у 31 особи тарани в мае 2020 года и 30 - в сентябре 2020 года. Выборка тарани была представлена в возрасте 3–6 лет в мае и 4–7 лет в сентябре.

Отбор биоматериала для физиологических исследований проводили в соответствии с общепринятыми методами [2, 3] Содержание липидов в тканях определяли весовым методом, содержание белка - по ГОСТ 7636-85 [4].

Гонады самок и самцов в мае были II стадии зрелости, в сентябре – III–IV у самок и III у самцов. В сентябре, по сравнению с летним периодом, значительно увеличилась масса гонад, значения гонадосоматического индекса варьировали от 0,32–1,12 % в мае до 2,67–6,74 % в сентябре у самок, у самцов – от 0,28–0,93 % до 0,85–1,15 % соответственно.

Активность питания была средней, при визуальной оценке по пятибальной шкале наполненность трех отделов желудочно-кишечного тракта составляла 1–3 балла в мае и 1–4 в сентябре.

Показатель упитанности у рыб снижался с возрастом - у младшевозрастных в среднем он составлял 2,70–2,71 в мае и 2,5 в сентябре, у рыб в возрасте старше 4 лет изменялся от 2,44–2,49 в мае до 1,98 в сентябре. Содержание висцерального жира по сравнению с летним периодом увеличилось с 2–3 баллов и оценивалось в 3–5 баллов.

Количество жира в мышцах самок и самцов тарани всех возрастных групп в мае было невысоким и варьировало от 3,2 до 3,9 % у самок и от 2,8 до 3,1 % у самцов, находясь в пределах оптимальных значений (2–4 % на сухую массу). В сентябре этот показатель не достиг оптимальных значений для осеннего нагула (6–7 %) и варьировал от 2,4 до 6,9 % у самок и от 2,2 до 4,0 % у самцов.

В период осеннего нагула происходит увеличение размеров ооцитов и запасание в них питательных веществ (формирование жировой капли). Содержание общих липидов в гонадах не только самок, но и самцов тарани в этот период достигало высоких значений и значительно варьировало, у самок значения этого показателя изменялись от 10 до 44,5 % на сухую массу (CV=60,1 %), у самцов - от 16,6 до 51,3 % (CV=72,3 %).

Обследованные рыбы старших возрастных групп в мае характеризовались более высокими значениями индекса печени и содержания жира в ней по сравнению с младшевозрастными особями. Так, у трехлетних самок индекс печени составлял 0,89 %, а содержание в ней жира 37,6 %, а у пяти-шестилетних особей 1,63 % и 51,3 % соответственно ($p<0,001$). Такие различия в содержании трофических веществ могут быть связаны не только с возрастными особенностями обмена веществ у рыб, но и разной интенсивностью их питания в нагульный период. В сентябре индексы печени (1,22-1,47 %) и содержание жира в этом органе у рыб всех обследованных возрастов (39,6-56,7 %) увеличились незначительно и были в пределах нормы для осеннего периода.

Содержание белка в мышцах рыб в мае находилось в пределах оптимальных значений (94–181 мг.г) и незначительно увеличивалось с возрастом рыб – 139–152 мг.г у самок и 145–165 мг.г у самцов. В сентябре содержание белка в мышцах находилось в пределах оптимальных значений (107–192 мг.г) и незначительно отрицательно коррелировало с содержание жира в них ($r=0,3$). Различий по содержанию белка и липидов в тканях у рыб разного возраста не отмечено.

В целом физиологическое состояние всех исследованных групп с учётом сравнения полученных в 2020 г данных со среднемноголетними значениями можно охарактеризовать как удовлетворительное.

Список литературы

1. Дудкин С. И., Саенко Е. М. Формирование рыбохозяйственной заповедной зоны «Балка Куцая» в Веселовском водохранилище как мера по сохранению биоразнообразия // Труды АзНИИРХ. Сборник научных трудов. Р-н-Д, 2015. С. 99–105.
2. Физиолого-биохимические и генетические исследования ихтиофауны Азово-Черноморского бассейна : методическое руководство. Ростов-на-Дону : Эверест, 2005. 100 с.
3. Методы рыбохозяйственных и природоохранных исследований в Азово-Черноморском бассейне. Краснодар, 2005.
4. ГОСТ 7636-85. Рыба, морские млекопитающие, морские беспозвоночные и продукты их переработки. Методы анализа.

ОЦЕНКА АДАПТИВНОГО ПОТЕНЦИАЛА ТИХООКЕАНСКОЙ УСТРИЦЫ *CRASSOSTREA GIGAS* (THUNBERG, 1793) В УСЛОВИЯХ КРАТКОСРОЧНОЙ РАНЖИРОВАННОЙ ГИПОКСИИ

Кладченко Е. С., Андреева А. Ю., Кухарева Т. А.

ФИЦ «Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН», г. Севастополь

Ключевые слова: гипоксия, гемоциты, активные формы кислорода, иммунитет

Гипоксия продолжительностью до 24 часов может негативно влиять на функциональное состояние гидробионтов. Обратимость последствий зависит от уровня дефицита кислорода и толерантности вида к данному стрессовому фактору. В особенности влиянию гипоксии подвержены бентосные и малоподвижные виды гидробионтов, в том числе и двустворчатые моллюски [1]. Для коммерчески выращиваемых видов моллюсков очень важно четкое понимание границ адаптивного потенциала к стрессовым факторам среды. Функциональное состояние организма двустворчатого моллюска обычно оценивают по изменениям морфофункциональных параметров гемоцитов при помощи комбинации методов световой микроскопии и проточной цитометрии.

Цель настоящей работы – исследовать влияние краткосрочной гипоксии различной степени на морфофункциональные характеристики клеток гемолимфы у двустворчатого моллюска *C. gigas.*

Устриц (*C. gigas*, массой 8,6±0,3 г, высота створки 25,4±1,1 мм) получили с устрично-мидийной фермы (соленое озеро Донузлав, Крым). Для адаптации к лабораторным условиям и снятия стресса после транспортировки устриц содержали в течение недели в емкостях с проточной морской водой (содержание кислорода – 7,1 мг/л; температура 22 ºС, соленость 19,5 ‰). В течение периода акклиматизации и моллюсков кормили смесью микроводорослей (5–10 мл смеси на каждые 50 литров аквариумной воды, концентрация клеток $2 \cdot 10^6$ на мл). Контрольную группу устриц содержали при концентрации кислорода 7,1 мг/л. Гипоксию *in vivo* создавали путем продувания морской воды газообразным азотом до достижения концентрации растворенного кислорода 30% и 3% от контрольного уровня. После достижения желаемого уровня гипоксического воздействия моллюсков содержали в воде с дефицитом кислорода в течение суток. По окончании 24ч воздействия гипоксии проводили отбор гемолимфы. Для оценки морфометрических характеристик из части клеток готовили мазки и окрашивали по методу Паппенгейма. На каждом мазке анализировали не менее 1000 клеток. У каждого гемоцита измеряли наибольший диаметр ядра и клетки (без учета псевдоподий). Ядерно-плазматическое отношение рассчитывали как отношение диаметра ядра к диаметру клетки. Функциональные характеристики гемоцитов анализировали методом проточной цитометрии (цитометр Beckman Coulter FC500) при помощи программы Flowing Software 5.2. Для оценки содержания ДНК, уровня смертности клеток и их способности к спонтанной продукции активных форм кислорода (АФК) суспензию клеток окрашивали красителями SYBR Green I (Sigma Aldrich), йодистым пропидием PI (Sigma Aldrich) и 2-7-дихлорфлуоресцеин-диацетатом DCF-DA (Sigma Aldrich), соответственно. Пробоподготовку для анализа гемоцитов методом проточной цитометрии проводили по методике, описанной нами ранее [2].

Достоверность различий между группами оценивали в программе Statistica 8.0 с использованием дисперсионного анализа ANOVA. Результаты представлены в виде $\overline{x}$±SE.

Инкубация устриц в условиях 3% насыщения кислородом в течение суток привела к снижению относительного числа гиалиноцитов и гранулоцитов, а так же к увеличению числа агранулоцитов. У группы устриц, содержащейся при 30% насыщении кислорода, зафиксировано увеличение числа гранулярных клеток. Известно, что в результате гипоксического воздействия, у двустворчатых моллюсков изменяются соотношение типов гемоцитов [3]. Такие изменение обычно объясняются усилением пролиферативной активности или увеличением уровня смертности клеток. Маловероятно, что краткосрочный эксперимент мог повлиять на пролиферативную активность клеток. С другой стороны, уровень смертности гемоцитов во всех исследуемых группах оставался на уровне контроля и не превышал 2% от общего числа клеток. Вместе с тем мертвые или аппоптотические клетки могут быть удалены из гемолимфы путем фагоцитоза.

Инкубация устриц в условиях 30% насыщения кислорода привела к усилению спонтанной продукции активных форм кислорода. Продукция АФК агранулоцитов увеличилась в среднем на 20%, а гранулоцитов более чем на 90%. Изменение в продукции АФК гиалиноцитов статистически не значимо. Экспозиция при 3% насыщении кислорода ингибировала продукцию АФК гемоцитов устрицы. Полученный в настоящей работе эффект согласуется с литературными данными (Song et al., 2010).

Таким образом, увеличение числа гранулярных клеток при 30% насыщения кислорода, может свидетельствовать о развитии компенсаторной реакции гемоцитов *C. gigas* в условиях неглубокой гипоксической нагрузки. Кроме этого, суточная экспозиция устриц при 30% насыщении кислорода привела к реорганизации дыхательной цепи митохондрий гемоцитов и усилению продукции АФК. Инкубация устриц при 3% насыщении кислорода привела к изменению соотношения типов гемоцитов и подавлению способности гемоцитов индуцировать окислительный взрыв.

Работа выполнена при поддержке президентского гранта в рамках научного проекта № N МК-609.2020.4.

Список литературы

1. Khan F. U., Hu M., Kong H., Shang Y., Wang T., Wang X., Xu R., Lu W., Wang Y. Ocean acidification, hypoxia and warming impair digestive parameters of marine mussels // Chemosphere. 2020. Vol. 256. Art. no. 127096 (8 p.). https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127096
2. Andreyeva A. Y., Kladchenko E. S., Vyalova O. Y., Kukhareva T. A. Functional Characterization of the Pacific Oyster, Crassostrea gigas (Bivalvia: Ostreidae), Hemocytes Under Normoxia and Short-Term Hypoxia // Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. 2021. Vol. 21, iss 3. P. 125–133. http://doi.org/10.4194/1303-2712-v21_3_03
3. Song L., Wang L., Qiu L., Zhang H. Bivalve immunity. In: Invertebrate immunity / Ed. K. Söderhäll. New York : Springer Science+Business Media, LLC, 2010. Chap. 3. P. 44–65. (Advances in Experimental Medicine and Biology ; vol. 708).

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СООБЩЕСТВ МАКРОЗООБЕНТОСА СО СКАЛ ВУЛКАНИЧЕСКОГО (РАЙОН КАРАДАГА) И ОСАДОЧНОГО (РАЙОН ТАРХАНКУТА) ПРОИСХОЖДЕНИЯ

Ковалева М. А.

ФИЦ «Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН», г. Севастополь

Ключевые слова: обрастания, сходство, доминирование, разнообразие, Mytilaster lineatus

Для Крымского побережья Черного моря характерно большое разнообразие ландшафтов, в том числе скальных субстратов вулканического и осадочного происхождения, отличающиеся плотностью и минералогическим составом. Ранее нами были проведены исследования макрозообентоса, обитающего на вулканических породах Карадага [1] и на известняках полуострова Тарханкут [2]. Цель данной работы – сравнение качественного и количественного состава макрозообентоса скал вулканического и осадочного происхождения и оценка влияния свойств субстрата на распространение и количественные характеристики доминирующего вида.

Материал, методика, а также таблицы с видовым составом, численностью, биомассой и встречаемостью каждого вида мы приводили в предыдущих работах [1, 2]. Для определения сходства фаун в двух сравниваемых списках использовался индекс Сёренсена и Жаккара. Анализ структурных особенностей сообществ проводили, используя индексный подход [3].

В сообществе на скалах Карадага идентифицировано 87 видов беспозвоночных (неидентифицированные таксоны рассматривали как один вид) из основных таксономических категорий: Polychaeta (26 видов), Mollusca (16), Crustacea (35) [1]. На скалах Тарханкута обнаружено – 79 видов: Polychaeta (20), Mollusca (18), Pantopoda (1) и Crustacea (31) [2].

Высокие значения индексов свидетельствуют о значительном сходстве видового состава сообществ в исследуемых биотопах. Коэффициенты общности Сёренсена и сходства Жаккара для всего сообщества равны 0,7 и 0,54 соответственно. Из 50 общих видов 16 составили полихеты, 12 – моллюски, 22 – раки.

Средние численность и биомасса макрозообентоса на скалах у акватории Карадага составили 15 848±250 экз.$\cdot$м$^{-2}$ и 2991±47 г$\cdot$м$^{-2}$, Тарханкута – 8610±117 экз.$\cdot$м$^{-2}$ и 585±14 г$\cdot$м$^{-2}$ соответственно [1, 2]. Плотность полихет и ракообразных на Карадаге была выше, чем на Тарханкуте приблизительно в 1,5 раза, моллюсков – в 2. Биомасса бентоса на вулканических скалах также преобладала над таковой на скалах известнякового происхождения: у полихет – в 2 раза, моллюсков – в 4, ракообразных – в 5.

Значительный вклад в количественное развитие бентоса в обоих районах внес двустворчатый моллюск *Mytilaster lineatus* (Gmelin, 1791). На скалах Карадага его численность и биомасса составили 75 и 57 % от численности и биомассы всего макрозообентоса, на скалах Тарханкута – 51 и 95 % соответственно. В обоих районах нами было выделено сообщество *M. lineatus* [1, 2].

Количественные показатели митилястера из обоих биотопов отличались. Сравнительный анализ по глубинам (0, 1 и 2 м) показал, что на скалах вулканического происхождения плотность и биомасса этого моллюска на всех исследуемых глубинах значительно превышали таковые на известковых скалах. Средние количественные значения митилястера для глубины 0–2 м составили 11830±845 экз.$\cdot$м$^{-2}$ и 1700±121 г$\cdot$м$^{-2}$ на скалах вулканического происхождения и 4353±415 экз.$\cdot$м$^{-2}$ и 552±56 г$\cdot$м$^{-2}$ на известняках соответственно. Таким образом, в районе Карадага численность митилястера была в 2,8 раза выше, чем в районе Тарханкута, а биомасса – в 3. Такую существенную разницу в количественных показателях этого моллюска можно объяснить присутствием на вулканических скалах мидии (численность и биомасса – 335±190 экз.$\cdot$м$^{-2}$ и 1270±785 г$\cdot$м$^{-2}$ соответственно [1]). Известно [4], что мидия положительно влияет на развитие митилястера: она служит дополнительным субстратом для личинок этого вида, в её присутствии возрастают темпы роста и плотность *M. lineatus*. На скалах Тарханкута мидия практически отсутствовала (27±11 экз.$\cdot$м$^{-2}$ и 6,8±5,1 г$\cdot$м$^{-2}$ [2]). Причиной подобного распределения мидии являются свойства, заселяемого ею субстрата: вулканические породы твёрдые и относительно гладкие, известняки – пористые и шероховатые. Мидии формируют устойчивые поселения в основном на вулканических породах, поверхность которых способствует особям этого вида образовывать плотные щетки. Таким образом, митилястер может образовывать полноценные поселения на обоих исследованных субстратах, но количественное развитие этого моллюска будет намного выше в присутствии мидии, которая, в свою очередь, предпочитает плотный субстрат со сравнительно ровной поверхностью.

По результатам применённого индексного подхода можно констатировать, что разнообразие и выравненность сообщества на скалах Карадага ниже таковых на Тарханкуте, а доминирование выше. Это можно объяснить тем, что исследованный район на Карадаге отличался бóльшей протяженностью и разнообразием микробиотопов, на Тарханкуте же он был более однотипный.

Таким образом, анализ полученных результатов позволяет предположить, что на скалах в исследуемых районах обитает одно сообщество – сообщество *M. lineatus*, модифицированное под влиянием локальных особенностей, которые, прежде всего, связаны с качеством субстрата, а также орографией береговой линии, гидрологическими характеристиками акваторий и, возможно, несколько различными внешними условиями обитания макрозообентоса.

Работа выполнена в рамках Государственного задания ФГБУН ФИЦ ИнБЮМ «Закономерности формирования и антропогенная трансформация биоразнообразия и биоресурсов Азово-Черноморского бассейна и других районов Мирового океана», номер гос. регистрации 121030100028-0.

Список литературы

1. Болтачева Н. А., Ковалева М. А., Макаров М. В., Бондаренко Л. В. Многолетние изменения макрофауны скал в зоне верхней сублиторали у Карадага (Чёрное море) // 100 лет Карадагской научной станции им. Т. И. Вяземского : сб. науч. тр. / ред. А. В. Гаевская, А. Л. Морозова. Симферополь, 2015. С. 530–548.
2. Ковалева М. А., Болтачева Н. А., Макаров М. В., Бондаренко Л. В. Макрозообентос скал верхней сублиторали Тарханкутского полуострова (Крым, Чёрное море) // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел биологический. 2016. Т. 121. Вып. 135. С. 32–45.
3. Одум Ю. Экология. Москва : Мир, 1986. 376 с.
4. Валовая Н. А. Формирование поселений черноморских мидий и митилястера в связи с особенностями биотопа : дис. … канд. биол. наук : 03.00.17 / Валовая Наталья Александровна. Севастополь, 1981. 114 с.

МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГЕМОЦИТОВ *ANADARA KAGOSHIMENSIS* (TOKUNAGA, 1906) В УСЛОВИЯХ ГИПООСМОТИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ

Кухарева Т. А., Рычкова В. Н., Кладченко Е. С., Андреева А. Ю.

Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН, г. Севастополь

Ключевые слова: гипоосмотическая нагрузка, соленость, гемоциты, морфометрия, Anadara kagoshimensis

Одним из массовых видов моллюсков, населяющих Черное и Азовское моря, является *Anadara kagoshimensis* (Tokunaga, 1906) (далее анадара). В данных регионах преобладают низкие значения солености морской воды, которые иногда достигают 5-12 ‰ [1]. Успешное освоение анадарой этих акваторий связано с ее эвригалинностью – способностью адаптироваться к условиям с низкой или высокой соленостью водной среды [2]. Вместе с тем, физиологические особенности, лежащие в основе данных адаптаций, в настоящее время изучены слабо. Часто оценку физиологического статуса моллюсков проводят по состоянию клеток гемолимфы – гемоцитов. Целью настоящей работы было изучить в условиях эксперимента влияние гипоосмотической нагрузки на морфометрические характеристики гемоцитов анадары.

Особей *A. kagoshimensis* собирали в октябре 2019 в прибрежной акватории г. Севастополь. Исследовано 30 экземпляров массой 17.6±1.9 г и высотой створки 30.5±1.0 мм. Контрольная группа содержалась при солености 19.6 ‰, две опытные группы при 14.8 ‰ и 8.8 ‰, соответственно. Гемолимфу для анализа отбирали стерильным шприцом из экстрапаллиальной полости, затем трижды отмывали в морской воде и готовили мазки, которые просматривались под световым микроскопом. Длина большой и малой оси клетки и ядра измерялась по фотографиям в программе ImageJ 1.44 p. Затем морфометрические характеристики гемоцитов рассчитывались по формулам [3].

В ходе эксперимента было установлено, что гипоосмотическая нагрузка оказала влияние на размерные характеристики гемоцитов анадары. Длина большой и малой оси клеток в условиях низкой солености равномерно возрастала: с 16,15±0,11 мкм при нормальных условиях до 16,18±0,09 мкм при уровне солености 14,8 ‰ и до 17,13±0,13 мкм при солености 8.8 ‰ – для большой оси, с 13,33±0,08 мкм до 13,78±0,08 мкм и до 14,21±0,09 мкм – для малой оси, соответственно.

Одновременно возрастал и объем клетки: с 445,03±6,58 мкм^3 при нормальных условиях до 471,44±6,52 мкм^3 при уровне солености 14,8 ‰ и до 529,37±8,38 мкм^3 при солености 8.8 ‰. Площадь поверхности клетки также возрастала с 686,96±10,12 мкм^2 до 703,61±9,57 мкм^2 и до 804,23±12,86 мкм^2, соответственно.

Объем ядра у гемоцитов возрастал главным образом при солености до 14,8 ‰ (с 36,25±0,62 мкм^3 до 52,19±1,2 мкм^3), а при дальнейшем снижении солености до 8.8 ‰ несколько уменьшался (47,26±0,79 мкм^3).

Расчеты показали, что ядерно-плазменное отношение у гемоцитов было максимальным при солености 14.8 ‰ и составило 0,111±0,002. Удельная поверхность клеток при той же солености была минимальной – 1,496±0,003 мкм$^{-1}$.

Таким образом, гипоосмотеческая нагрузка влияла главным образом на объем и площадь поверхности гемоцитов, вызывая их равномерный рост по мере снижения солености. По-видимому, это связано с изменением осмолярности внутренних сред у моллюсков, которое происходит при гипо- и гиперосмотической нагрузке, что ранее было отмечено для других видов двустворчатых [4].

Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ ИнБЮМ по Теме № 0556-2021-0003 «Функциональные, метаболические и токсикологические аспекты существования гидробионтов и их популяций в биотопах с различным физико-химическим режимом».

Список литературы

1. Чихачев А. С., Фроленко Л. Н., Реков Ю. И. Новый вселенец в Азовское море // Рыбное хозяйство. 1994. № 3. С. 40–45.

2. Куропаткин А. П., Шишкин, В. М., Бурлачко, Д. С., Карманов, В. Г., Жукова, С. В., Подмарева, Т. И., Лутынская, Л. А. Современные и перспективные изменения солености Азовского моря // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2015. № 11. С. 7–16.

3. Ташкэ К. Введение в количественную цитологическую морфологию. Бухарест : Изд-во Академии Респ. Румынии, 1980. 291 с.

4. Bregante M., Carpaneto A., Piazza V., Sbrana F., Vassalli M., Faimali M., Gambale F. Osmoregulated chloride currents in Hemocytes from *Mytilus galloprovincialis* // PloS One. 2016. Vol. 11, no. 12. Art. no. e0167972 (18 p.). https://doi.org/10.1371/journal.pone.0167972

ХАРАКТЕРИСТИКА ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ПИЛЕНГАСА *PLANILIZA HAEMATOCHEILA* (TEMMINCK & SCHLEGEL, 1845) АЗОВСКОГО МОРЯ В ВЕСЕННИЙ ПЕРИОД 2020 ГОДА

Лисовская В. В.[1,2], Кириченко О. В.[1,2]

[1]Азово-Черноморский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («АзНИИРХ»), г. Ростов-на-Дону
[2] Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону

Ключевые слова: пиленгас, Азовское море, физиологическое состояние, резервные вещества, общий белок, содержание липидов

Пиленгас – крупный детритофаг, успешно акклиматизированный в Азово-Черноморском бассейне. За относительно короткий период времени пиленгас не только натурализовался в условиях нового ареала, но и стал важным промысловым объектом [1].

Интерес к данному виду рыб как к объекту искусственного воспроизводства и товарной аквакультуры обусловлен образовавшейся, благодаря экологической пластичности вида, самовоспроизводящейся популяцией в Азовском море.

Цель работы заключалась в оценке функционального состояния пиленгаса в весенний период 2020 года.

В весенний период 2020 г была обследована выборка пиленгаса, выловленного в Таганрогском заливе. Выборка была представлена особями в возрасте 4-5 лет. Морфофизиологические исследования проводились согласно методическим руководствам [2]. В качестве показателей продуктивности использовали размерно-массовые характеристики рыб, состояние репродуктивной системы самцов и самок, важные для генерации и определения численности следующих поколений. Адекватность роста и увеличения биомассы рыб косвенно определяли по величинам содержания белка и липидов в мышцах и печени. Содержание липидов определяли весовым методом, содержание белка – по методу Кьельдаля [3].

Гонады самок и самцов были IV стадии зрелости. Патологии развития яичников и семенников у производителей обоего пола не было отмечено.

По показателям длины и массы тела самки (средние значения: длина тела – 40,3 см, масса – 1208,6 г) превосходят самцов (длина – 38,5 см; масса – 1061,5 г), при этом коэффициент упитанности не имеет достоверных различий, что свидетельствует о гармоничном развитие данных рыб. Коэффициент упитанности (1,29 у самок и 1,39 у самцов) по сравнению с многолетними данными был низким.

Содержание белка в мышцах и печени у обследованных особей пиленгаса были в пределах нормы для рыб в исследуемый период, но ниже среднемноголетних величин 42,8 %. У самок содержание белка в мышцах составляло 84 мг·г, в печени – 90 мг·г; у самцов составляло 90 мг·г и 88 мг·г соответственно.

Среднее содержание общих липидов в мышцах самцов составляло 3,2 %, в печени – 20,6 %; у самок содержание жира 2,1 % и 19,9 % соответственно. Полученные результаты ниже значений, характерных для многолетних наблюдений в исследуемый период (среднемноголетние значения 38,0 %). Индекс печени самок достоверно выше индекса печени самцов (2,9 % и 1,5 % соответственно), данные показатели находятся в пределах физиологической нормы и свидетельствуют о нормальном физиологическом развитии исследуемых особей.

Таким образом, состояние здоровья пиленгаса в весенний период можно охарактеризовать как удовлетворительное.

Выражаем благодарность научному руководителю доктору биологических наук, профессору Денисовой Т.В. и заведующему лабораторией молекулярной генетики, *физиологии и болезней рыб Бугаеву Л.А. за ценные советы при планировании исследования и рекомендации по оформлению тезиса.*

Работа выполнялась в рамках государственного задания ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии» № 076-00005-20-02 от 14.02.2020г.

Список литературы

1. Пряхин Ю.В. Азовская популяция пиленгаса: вопросы биологии, поведение и организация рационального промысла : автореф. дис. … канд. биол. наук : 03.00.10. Ростов-на-Дону, 2001. 22 с.
2. Физиолого-биохимические и генетические исследования ихтиофауны Азово-Черноморского бассейна : метод. руководство. Ростов-на-Дону : Эверест, 2005. 100 с.
3. ГОСТ 7636–85. Рыба, морские млекопитающие, морские беспозвоночные и продукты их переработки. Методы анализа.

ЭТОЛОГО-АКУСТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЕЛЬФИНОВ ЧЕРНОГО МОРЯ

Логоминова И. В.[1,2], Агафонов А. В.[1,2]

[1]Карадагская научная станция им. Т.И. Вяземского – природный заповедник РАН – филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН», г. Феодосия, пгт. Курортное
[2]ФГБУН Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва

Ключевые слова: Черноморская афалина (Tursiops truncatus ponticus Barabash, 1940), черноморская белобочка (Delphinus delphis ponticus Barabasch-Nikiforov, 1935), «свист-автограф»

Дельфины (Delphinidae), как и другие представители отряда китообразных (Cetacea), являются высокоспециализированными млекопитающими, идеально приспособившимися к жизни в водной среде. Дельфины являются, как правило, консументами III - IV порядков, занимая вершины соответствующих пищевых цепей. Интерес к изучению этих животных значительно вырос в середине XX века; многочисленные исследования были посвящены всем аспектам их жизнедеятельности. Для большинства видов дельфинов характерна интенсивная подводная акустическая сигнализация. К настоящему времени наиболее полно описан вокальный репертуар афалин (*Tursiops truncatus* Montagu, 1821). Представителями данного вида продуцируются три основные категории сигналов: серии импульсов, использующиеся для эхолокации; модулированные импульсно-тональные сигналы; тональные сигналы (свисты). Подобные категории сигналов свойственны и представителям большинства других видов дельфинов. В середине 60-х годов XX века Д. и М. Колдуэллами было установлено, что доминирующим в репертуаре каждой афалины является свистовой сигнал с уникальной формой частотного контура, названный «свистом-автографом» (signature whistle) [1]. «Автограф» является «ядром» этой системы, и в таком аспекте его можно рассматривать как своеобразный «акустический маркер» особи, позволяющий значительно повысить точность учета численности и миграций представителей данного вида [2]. С 1970-х гг. наблюдается угнетение популяции черноморской белобочки и черноморской афалины, что связано с последствиями интенсивного промысла черноморских дельфинов (окончательно прекращен в 1983 г.), эпизоотиями, гибелью в рыболовных сетях, деградацией окружающей среды, истощением кормовой базы. Актуальная информация о современном состоянии популяции черноморской афалины и черноморской белобочки отсутствует.

С 2014 г. нами проводятся круглогодичные этолого-акустические исследования черноморских дельфинов в акваториях крымского побережья. В данной работе мы проанализировали собранные акустические материалы, полученные в ходе наблюдения за афалинами и белобочками в акваториях юго - восточного, южного, юго-западного и западного побережья Крыма. Наблюдения осуществлялись как с берега, так и с моря (выходы на моторной лодке). Для сбора акустических данных использовался стандартный гидроакустический тракт, состоявший из гидрофона, предварительного усилителя, кабеля и наземного усилителя – коммутатора. Обработка акустических сигналов проводилась при помощи программы Adobe Audition 1.5 при следующих установочных параметрах: размер блока быстрого преобразования Фурье 256 – 1024 точек, весовая функция Хемминга, программа позволяет визуализировать обрабатываемые сигналы в спектральном или волновом виде и производить точные замеры их частотно-временных параметров.

Анализируя результаты проведенных наблюдений, можно предположить, что в настоящее время представители вида черноморской белобочки, в поисках рыбы стали осваивать прибрежную часть акваторий. Было отмечено, что для более продуктивной охоты и поиска новых мест концентрации рыбы, животные вынуждены разделяться на мелкие группы (включая даже особей-одиночек). Численный состав таких групп обычно состоит из двух - трех самок и двух - трех детенышей соответственно; встречаются также отдельные пары, состоящие из самки и детеныша. Отдельные пары и группы белобочек могут кооперироваться для совместной охоты и отдыха. В качестве одного из способов добычи пищи, наблюдается тенденция следования за тралами рыболовецких сейнеров - это в особенности характерно для самок с детенышами. При обработке акустических записей выделено три категории акустических сигналов у белобочек, свойственных и другим видам зубатых китообразных: 1) локационные щелчки; 2) импульсно-тональные сигналы; 2) тональные или свистовые сигналы.

При сравнении данных визуальных и акустических наблюдений за афалинами, можно заключить, что минимальными единицами сообщества афалин являются отдельные пары близкородственных животных (возможно – самки с детенышами); такие пары афалин рассматриваются нами как «ядра» групп, совокупность которых представляет собой основу популяции. Численный состав групп варьирует от двух до десяти особей, четкой границы между группами нет, отдельные особи и пары дельфинов, могут в различных поведенческих ситуациях переходить из группы в группу. Частота ассоциирования разных особей в группы, формирующихся вокруг тех или иных «ядер» может существенно различаться. В исследуемых акваториях юго-восточного Крыма существуют две пространственно-временные группировки афалин: одну из них можно условно назвать «резидентной», а другую – «транзитной». Структура исследуемого сообщества афалин представляется значительно более динамичной структурой во времени и менее ограниченной пространственными границами обитания.

Проведенные наблюдения показали, что в настоящее время возрастающая антропогенная нагрузка оказывает весьма негативное воздействие на нормальную жизнедеятельность сообществ афалин и белобочек. Для снижения антропогенного воздействия на популяции дельфинов и дальнейшего их сохранения необходимо осуществить регулирование законодательства в сфере рыболовства (введение ограничения рыболовства в местах преимущественного обитания дельфинов) и в сфере туризма.

Список литературы

1. Caldwell M. C., Caldwell D. K. Individualized whistle contours in bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) // Nature. 1965. Vol. 207. P. 214–219. https://doi.org/10.1038/207434a0

2. Агафонов А. В., Логоминова И. В., Панова Е. М. Две системы акустических коммуникативных сигналов афалин (*Tursiops truncatus* Montagu, 1821): характеристики, структура, функции. Симферополь : Ариал, 2018. 164 с.

МАКРОЗООБЕНТОС ПОДВОДНЫХ ЛУГОВ ЗОСТЕРЫ ТАМАНСКОГО ЗАЛИВА АЗОВСКОГО МОРЯ

Любимов И. В., Колючкина Г. А., Беляев Н. А., Мокиевский В. О.

Институт Океанологии им. П. П. Ширшова, г. Москва

Ключевые слова: гидробиология, экология, донные сообщества, биология океана, Чёрное море, функциональный анализ

Несмотря на широкую изученность сообществ макрозообентоса Азово-Черноморского бассейна, закономерности распределения придонных сообществ, остаётся актуальной. Многими авторами отмечено, что разные факторы, определяющие структуру сообществ, имеют значение для определённых масштабов пространства [1,2]. Особенный интерес с точки зрения масштабов, в которых работают отдельные факторы представляют собой сообщества с ярко выраженным эдификаторным видом. В настоящей работе было проведено исследование закономерностей пространственной организации сообщества бентосной фауны Таманского залива в биоценозе морской травы *Zostera marina L.* и факторов их определяющих в нескольких пространственных масштабах.

Отбор проб макрозообентоса проводили в прибрежной зоне Таманского залива (2,7-3,0 м) Азовского моря в июле 2009 г. с использованием метода треугольных полигонов с изменением масштаба взятия образцов. Для этого использовали ручной трубчатый пробоотборник с площадью захвата 0,0095 м^2 (трёхкратная повторность на пробу), последующей промывкой через сито (d=0,5 мм) и фиксацией 4% раствором формальдегида в морской воде (3 повторности на станцию). Подземные побеги и корни вида-эдификатора (*Z. marina*) отделяли и после высушивания (до постоянного веса при 80 °C) взвешивали с точностью 0,001 г. В каждой пробе определяли численность и биомассу (воздушно-сухой вес) макрозообентоса (в настоящее время обработаны группы Mollusca, Tunicata, Nemertea, Phoronidae, Plathelminthes, Crustacea) с точностью до 0,001 г. Статистическую обработку проводили попробно в программе Primer v.6.1, Statistica 12.5 и пакете R ade4. Для функционального анализа использовали стандартный набор функций и их модальностей [3].

Анализ содержания органического углерода ($C_{орг}$) на полигонах показал, что первый полигон имеет намного меньшие значения этого параметра (0,38±0,2 %) при низком разбросе данных, а полигоны 2 и 3 по содержанию органического углерода отказались сходными (1,19±0,63 % на полигоне 2 и 1,48±0,56 % на полигоне 3). На полигонах отличался и гранулометрический состав грунта: для 2 и 3 полигонов характерным грунтом является слабозаиленный песок с большим количеством ракуши, для полигона 1 – заиленный песок практически без ракуши. Это может быть связано с более интенсивной гидродинамикой в районе полигона 1, расположенном на косе Тузла близ промоины, где отмечались сильные течения [4].

В 2009 г. число видов макрозообентоса в Таманском заливе в поясе зостеры на полигонах 2 и 3 составляло от 6 до 11 на станцию (всего 14). Всего было отмечено 13 видов и крупных таксонов макрозообентоса. Суммарная численность макрозообентоса на станции составляла от 520 экз/м^2 на станции 29 до 2470 экз/м^2 на станции 10, биомасса – от 1,37 г/м^2 на станции 29 до 66,94 г/м^2 на станции 16. Ординация станций методом многомерного шкалирования показала, что по биомассе станции группировались вне зависимости от глубины и района, что подтверждается анализом Permanova (P(perm)>>0,001). По биомассе и численности было выделено 3 сообщества с доминантами: *Mytilus galloprovincialis*, *Mytilaster lineatus* и *Abra segmentum*. Анализ стандартизированных биомасс таксонов макрозообентоса методом DistLM показал корреляцию лишь с гранулометрическим составом, содержание Сорг оказывала меньшее влияние, а площадь проективного покрытия высших растений не показала достоверной связи с имеющимися данными. Сообщества *M. galloprovincialis*, *M. lineatus* и *A. segmentum* встречались только на грунтах, где преобладала пелитовая фракция на песках с ракушью. Анализ функциональной структуры сообществ Таманского залива по биомассе (стандартизированной и трансформированной) показал, что первые две оси объясняли 84,76 % изменчивости данных. Основной разброс данных на ординации был отмечен по оси 1. Ординация станций по этой оси определялась типом питания (FH – Feeding Habit). Две модальности имели наибольший вес: в левой части графика FH6 (соскабливающие, такие как *Bittium reticulatum* на станциях 10 и 16) и в центральной части FH4 (фильтраторы, такие как двустворчатые моллюски на станциях 33 и 34). Ординация по второй оси была в основном за счёт размеров (S2-размер от 1 до 3 см. Такие размеры встречались на всех станциях, однако на 16, 29 и 34 они преобладали). Корреляционный анализ данных по функциональной структуре с абиотическими факторами показал сильную корреляционную зависимость положения станций по первой оси от массы корней зостеры (R=0,846), что не было показано при таксономическом анализе. Это может быть связано с тем, что при достаточном развитии вида-эдификатора, ассоциированные виды, характеризующиеся вышеуказанными признаками (фильтраторы, соскабливающие) обитают в более благоприятных условиях, чем на станциях с менее развитой зостерой.

Наше исследование показало, что видовая и функциональная структура определялись разными факторами (видовая – гранулометрическим составом грунта, а функциональная – количеством зостеры). Это указывает на то, что в сообществе с эдификаторным видом, организующим вокруг себя среду обитания, существует ограниченное количество биологических ниш, где могут реализовывать свой потенциал разные виды.

Список литературы

1. Butman C. A. Larval settlement of soft-sediment invertebrates: the spatial scales of pattern explained by active habitat selection and the emerging role of hydrodynamical processes // Oceanography and Marine Biology. Annual Review. 1987. Vol. 25. P. 113–165.
2. Thrush S. F. Complex role of predators in structuring soft sediment macrobenthic communities: implications of changes in spatial scale for experimental studies // Australian

Journal of Ecology. 1999. Vol. 24, iss. 4. P. 344–354. https://doi.org/10.1046/j.1442-9993.1999.00981.x
3. Kokarev V. N., Vedenin A. A., Basin A. B., Azovsky A. I. Taxonomic and functional patterns of macrobenthic communities on a high-Arctic shelf: A case study from the Laptev Sea // Journal of Sea Research. 2017. Vol. 129. P. 61–69. https://doi.org/10.1016/j.seares.2017.08.011
4. Ломакин П. Д., Чепыженко А. И., Чепыженко А. А. Динамика вод и взвешенного вещества в районе о. Тузла (Керченский пролив) при устойчивых меридиональных ветрах // Геология и полезные ископаемые мирового океана. 2012. № 2 (28). С. 72–83.

ВИДОВОЙ СОСТАВ И СУТОЧНЫЕ ВЕРТИКАЛЬНЫЕ МИГРАЦИИ КОПЕПОД В СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ЧЁРНОГО МОРЯ

Ляшко Т. В., Алтухов Д. А.

ФИЦ «Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН», г. Севастополь

Ключевые слова: копеподы, Чёрное море, суточные вертикальные миграции

Вертикальное распределение зоопланктона является определяющей особенностью структуры пелагиали подавляющего большинства морских экосистем. Изучение закономерностей вертикального распределения мезозоопланктона признано важнейшей задачей морской гидробиологии. Особую актуальность эти исследования приобретают в настоящее время в связи с серьезной модификацией сообщества зоопланктона и экосистемы Чёрного моря в целом, вызванных потеплением климата и интродукцией чужеродных видов. Особенности вертикального распределения зоопланктона обусловлены влиянием абиотических и биотических факторов и зависят от гидрологической структуры водных масс [1]. При этом одним из важных аспектов вертикального распределения зоопланктона являются вертикальные суточные миграции копепод, обусловленные поисками пищи, с одной стороны, и защитной поведенческой стратегией, направленной на снижение выедания хищниками, с другой стороны [2, 3].

На основе материалов собранных в 114 рейсе НИС «Проф. Водяницкий» проанализирован видовой состав, вертикальное распределение и суточные вертикальные миграции копепод в северо-восточной части Чёрного моря в сентябре 2020 г. Отбор проб производили в 1:00, 5:00, 13:00, 17:00 и 21:00 по местному времени сетью Джеди (площадь входного отверстия 0,1 м^2, размер ячеи 150 мкм). Термоклин в дневное время был отмечен на глубине 11 метров.

Границы отбора проб устанавливали после предварительного зондирования вертикальных профилей температуры и плотности (по значению δ_t = 16,2). Количественную обработку проб зоопланктона проводили в лаборатории порционным методом [4].

Копеподы были представлены следующими видами: *Acartia (Acartiura) clausi* Giesbrecht, 1889; *Centropages ponticus* Karavaev, 1895; *Pseudocalanus elongatus* (Brady, 1865); *Calanus euxinus Hulsemann*, 1991; *Paracalanus parvus parvus* (Claus, 1863); *Oithona similis* Claus, 1866; *Oithona davisae* Ferrari F.D. & Orsi, 1984.

В верхнем перемешанном слое по численности доминировала *A. clausi*: в среднем численность находилась на уровне 1346 экз/м^3. Вторым по численности был *P. parvus* (876 экз/м^3), третьим – *C. ponticus* (574 экз/м^3). Численность *O. davisae* составляла 165 экз/м^3. Были обнаружены единичные экземпляры *O. similis*. Все вышеперечисленные виды не показали суточных изменений численности.

В области термоклина также преобладала *A. clausi*, в среднем численность составляла 241 экз/м^3. В пробах также были обнаружены *O. similis* (161 экз), *P. parvus* (42 экз/м^3) и единичные экземпляры *O. davisae*. В дневное время *P. elongatus* был представлен преимущественно младшими копеподитными стадиями I-III – (в среднем 39 экз/м^3), ночью возрастала численность половозрелых самок и старших копеподитных стадий IV-V (470 экз/м^3). Аналогичная динамика прослеживалась у *C. euxinus*: днем присутствовали единичные экземпляры, тогда как с наступлением ночи численность самок и старших стадий увеличивалась до 109 экз/м^3. Самцы тоже присутствовали, но их численность была незначительной.

Под термоклином (на глубине 34-69 метров) были обнаружены холодолюбивые виды *C. euxinus*, *P. elongatus* и *O. similis*. Основная численность половозрелых особей и старших стадий копеподитов *C. euxinus* приходилась на темное время суток. Так, до рассвета их средняя численность составляла 29 экз/м^3, а днем были обнаружены только единичные особи. *P. elongatus* присутствовал в пробе вечером (численность половозрелых самок и копеподитных стадий IV-V достигала 290 экз/м^3). В дневные часы были обнаружены только отдельные младшие стадии I-III – в среднем 6 особей на метр кубический. В целом, численность *C. euxinus* и *P. elongatus* была неоднородна с течением времени. Днем *P. elongatus* был представлен всего 7 экз/м^3, ночью – 325 экз/м^3. Численность *C. euxinus* в светлое время суток была незначительной, были обнаружены только единичные особи, а ночью незначительно вырастала – до 26 экз/м^3. Малочисленна в течение суток была *O. similis* – 25 экз/м^3. В более глубоком слое (69-111 метров) представители вида *O. similis* также присутствовали в небольшом количестве – около 11 экз/м^3 независимо от времени суток. Численность *C. euxinus* днем была относительно высокой – 105 экз/м^3, ночью она снижалась до 51 экз/м^3. У *P. elongatus* изменения более выражены: днем насчитывалось 121 экз/м^3, ночью – единичные особи (4 экз/м^3).

Таким образом, можно говорить о наличии миграции у видов *C. euxinus* и *P. elongatus*. Копеподы в дневное время суток опускаются в глубинные слои, а ночью поднимаются к термоклину. В представленной работе были рассмотрены и проанализированы суточные миграции копепод. Мы подтвердили ранее известный факт миграции видов *C. euxinus* и *P. elongatus* и оценили динамку суточной миграции с учетом особенностей вертикального распределения, вызванных интродукцией чужеродных видов.

НИР по теме № 121040600178-6 «Структурно-функциональная организация, продуктивность и устойчивость морских пелагических экосистем».

Список литературы

1. Петипа Т. С., Сажина, Л. И., Делало Е. П. Вертикальное распределение зоопланктона в Черном море. // Труды Севастопольской биологической станции. 1963. Т. 16. С. 119–138.
2. Jansson B. O., Kallander C. On the diurnal activity of some littoral peracarid crustaceans in the Baltic Sea // Journal of Experimental Marine Biology and Ecology. 1968. Vol. 2, iss. 1. P. 24–36. https://doi.org/10.1016/0022-0981(68)90011-7
3. Sainte-Marie B., Lamarche G. The diets of six species of the carrion-feeding lysianassid amphipod genus Anonyx and their relation with morphology and swimming behaviour // Sarsia, 1985. Vol. 70, iss. 2-3. P. 119–126. https://doi.org/10.1080/00364827.1985.10420624
4. ICES Zooplankton Methodology manual / Eds. R.P. Haris et al. London : Academic Press, 2000. 684 p. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-327645-2.X5000-2

СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА ФИТОПЛАНКТОНА СЕВАСТОПОЛЬСКОЙ БУХТЫ (ЧЕРНОЕ МОРЕ) В 2011 И 2020 ГГ.

Мансурова И. М., Бабич И. И.

ФИЦ «Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН», г. Севастополь

Ключевые слова: фитопланктон, Севастопольская бухта, биомасса, диатомовые водоросли, динофитовые водоросли

Проведены ежемесячные исследования видового состава и размерной структуры фитопланктонного сообщества Севастопольской бухты в 2011 и 2020 гг., определен сезонный ход биомассы фитопланктона и концентрации хлорофилла *а*.

В 2011 г.сезонный ход биомассы фитопланктона имел два максимума, близкие по амплитуде, – в конце весны–летом и в начале зимы. Характер сезонной динамики концентрации хлорофилла *а* был практически такой же. Однако пик в теплое время года был в 3 раза меньше, чем зимой. В мае максимум биомассы сопровождался температурой воды 15,2 °C, в это время доля диатомовых, динофитовых и гаптофитовых водорослей в общей биомассе была одинакова (по 30 %). Представитель последних *Emiliania huxleyi* (Lohmann) W.W.Hay&H.P.Mohler, 1967 вносил наибольший вклад в биомассу среди всех видов (28 %), диатомовая *Chaetoceros curvisetus* Cleve, 1889 – 20 %. В июне и июле при температуре воды 21 и 24 °C отмечены по-прежнему высокие значения суммарной биомассы, близкие к майским, вклад диатомовых был 34 и 45 %, динофитовых – 50 и 43% соответственно. Средневзвешенный объем в июне для первой группы водорослей составил 540, для второй – 3000 мкм^3, доминирующими видами были *Thalassionema nitzschioides* (Grunow) Mereschkowsky, 1902 и *Prorocentrum micans* Ehrenberg, 1834. В середине лета средневзвешенный объем клеток диатомовых был в 2 раза меньше, чем в июне, а динофитовых – в 1,5 раза меньше. По биомассе преобладали *Cyclotella caspia* Grunow, 1878, *T. nitzschioides* и *Glenodinium paululum* Lindemann, 1928.

Максимумы биомассы и концентрации хлорофилла *а* в декабре наблюдались при температуре воды 10,4 °C. Диатомовые водоросли практически полностью формировали биомассу фитопланктона, доминирующим видом была *Cerataulina pelagica* (Cleve) Hendey, 1937 (89 %), при этом средневзвешенный объем диатомовых достигал 11000 мкм^3.

В 2020 г. сезонный ход биомассы имел вид двувершинной кривой с максимумами в начале лета и начале осени, которые сопровождались температурой воды 20 и 24 °C. Сезонный ход хлорофилла *а* имел три пика – в феврале, конце мая и сентябре. В феврале в фитопланктоне доминировал диатомовый вид *C. curvisetus*. В дальнейшем кривые сезонного хода хлорофилла *а* и биомассы фитопланктона были близки по форме. Почти 60 % общей биомассы в летнем пике составляли диатомовые водоросли, остальную часть – динофитовые. Средневзвешенный объем диатомовых был 1500 мкм^3, динофитовых – почти в 2 раза больше. Доминирующими видами в фитопланктоне являлись *C. curvisetus* и *Thalassiosira excentrica* Karsten, 1905. Гаптофитовые водоросли в течение всего года не давали более 3 % биомассы.

Осенний максимум был в 1,5 раза больше по амплитуде, чем летний. В это время отмечено интенсивное развитие крупной диатомовой водоросли *Pseudosolenia calcar-avis* (Schultze) B.G.Sundström, 1986, благодаря чему диатомовые составляли 95 % от общей биомассы, а их средневзвешенный объем достигал 10000 мкм^3.

Таким образом, в исследованные годы кривая сезонного хода биомассы фитопланктона имела два максимума – летний и зимний либо осенний, и, как правило, совпадала с сезонным ходом концентрации хлорофилла *a*. Летний пик, как правило, был представлен мелкими диатомовыми и крупными динофитовыми видами. Кокколитофорида *E. huxleyi*, отмеченная как один из доминирующих видов в мае 2011 г., давала очень слабый вклад в биомассу в 2020 г. Пик биомассы во второй половине года практически полностью формировался одним видом крупных диатомовых, в 2011 г. в холодное время года – *C. pelagica*, в 2020 г. в теплое время года–*P. calcar-avis*.

Работа выполнена в рамках темы госзадания № 121041400077-1 «Функциональные, метаболические и токсикологические аспекты существования гидробионтов и их популяций в биотопах с различным физико-химическим режимом», и по проекту РФФИ № 20-45-920002 «Стратегии адаптации фитопланктона и его потребление микрозоопланктоном под влиянием климатических изменений и антропогенной нагрузки на прибрежные экосистемы Черного моря (район Севастополя)».

ГЕНЕТИЧЕСКАЯ ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ МОНОГЕНЕЙ ОСЁДЛЫХ РЫБ НА ПРИМЕРЕ *GYRODACTYLUS SPHINX*

Прохорова Д. А., Водясова Е. А., Дмитриева Е. В.

ФИЦ «Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского РАН», г. Севастополь

Ключевые слова: Gyrodactylus, Черное море, филогения, ITS

Представители рода *Gyrodactylus* von Nordmann широко распространены, но не смотря на тщательное изучение, таксономия этого рода до конца не разрешена, а процессы видообразования и расселения остаются актуальной темой. Для корректной таксономии необходимо проводить сопоставление данных по молекулярным маркерам с данными о палеогеографических событиях и распространении видов хозяинов.

В Черно-Азовском регионе найдено 16 видов рода *Gyrodactylus* и из них только 4 вида паразитирует на оседлых рыбах – это *Gyrodactylus bubyri* Osmanov, 1965*, Gyrodactylus leopardinus* Dmitrieva & Skidan, 2005*, Gyrodactylus proterorhini* Ergens, 1967 *и Gyrodactylus sphinx* Dmitrieva & Gerasev, 2000. Для всех остальных гиродактилюсов хозяева являются мигрирующими, и соответственно, существование потока генов между бассейнами для них более вероятно. Целью работы является изучение возможного влияния географической изоляции на генетическую дифференциацию паразитов оседлых рыб. В качестве изучаемого объекта выбрана моногенея *G. sphinx* от *Aidablennius sphinx* Valenciennes, 1836 и *Salaria Pava* Risso, 1810 из Черного моря и от *Salaria basilisca* Valenciennes, 1836, из Средиземного моря [1].

При морфологическом исследовании была выявлена зависимость морфометрии от хозяев и мест сбора, однако четкая дифференциация между образцами не была подтверждена и диапазоны всех измерений перекрывались. В то же время, молекулярно-генетический анализ демонстрирует существование двух преобладающих гаплотипов с высоким уровнем дифференциации. Вероятно, первый гаплотип является основателем, поскольку характерен как для Средиземноморского региона, так и для Черноморского, второй представлен только в Чёрном море. Зависимость гаплотипов от рыб-хозяев не наблюдается.

Было предложено две гипотезы, объясняющие такую сильную дивергенцию. Первая предполагает, что эти две клады стоит рассматривать как один вид, который в силу изоляции бассейнов, а также особенностей оседлой жизни хозяев, имеет сложную генетическую внутривидовую структуру. Вторая гипотеза предполагает, что это криптические виды. В пользу этого предположения свидетельствуют исследования [2,3], где было показано, что для гиродактилидов генетическая изменчивость в 1% уже позволяет говорить о новом виде. Поэтому наиболее распространенная особь из Черного и Средиземного морей была описана как *Gyrodactylus gerasevi n. sp*., тогда как генетический кластер, объединяющий только особей из двух районов Крыма, был признан *G. sphinx*. Оба вида относятся к *G. orecchiae*–species group.

Работа выполнена в рамках темы № 121030100028-0 гос. задания ФИЦ ИнБЮМ.

Список литературы

1. Dmitrieva E., Piras M.C., Garippa G., Merella P. New host and locality records for Gyrodactylus Sphinx (Platyhelmintes: Monogenea) // Современные проблемы теоретической и морской паразитологии : сборник научных статей / под ред.: К. В. Галактионова, А. В. Гаевской. Севастополь : Изд-ль Бондаренко Н. Ю., 2016. С. 139–142.
2. Huyse T., Houdt J. V., Volckaert F. A. M. Paleoclimatic history and vicariant speciation in the “sand goby” group // Molecular Phylogenetics and Evolution. 2004. Vol. 32, iss. 1. P. 324–336. https://doi.org/10.1016/j.ympev.2003.11.007
3. Zietara M.S., Lumme J. The crossroads of molecular, typological and biological species concepts: two new species of *Gyrodactylus* Nordmann, 1832 (Monogenea: Gyrodactylidae) // Systematic Parasitology. 2003. Vol. 55. P. 39–52. https://doi.org/10.1023/A:1023938415148

МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ГЕМОЦИТОВ *ANADARA KAGOSHIMENSIS* (TOKUNAGA, 1906) ПРИ ГИПЕРОСМОТИЧЕСКОМ СТРЕССЕ

Рычкова В. Н., Кухарева Т. А., Кладченко Е. С., Андреева А. Ю.

ФИЦ «Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского РАН», г. Севастополь

Ключевые слова: гемоциты, гиперосмотический стресс, морфометрия, Anadara kagoshimensis

Anadara kagoshimensis – это моллюск-вселенец в Черноморском регионе, который естественным образом распространен по всей территории Индийского и Тихого океанов. Функциональное состояние гемоцитов у двустворок семейства Arcidae исследовано в основном у океанических видов, устойчивых к высокой солености. Известно, что анадара толерантна к гиперсоленности, так при солености около 30 ‰ моллюск показавает высокую скорость роста молоди и нерестовую активность. При увеличении солености и температуры отмечают у *Anadara trapezia* снижение общей антиоксидантной способности, а у *Anadara granosa* – увеличение скорости инфильтрации и потребления кислорода. Но функциональное состояние гемоцитов анадары при гиперосмотическом стрессе никогда не исследовалось у черноморских моллюсков, которые привыкли к среде с пониженной соленостью.

Цель настоящей работы – исследовать в условиях эксперимента *in vivo* влияние гиперосмотической нагрузки на морфофункциональные характеристики клеток гемолимфы у двустворчатого моллюска-вселенца *A. kagoshimensis*.

Особей *A. kagoshimensis* собирали в июле 2020 года в прибрежной акватории г. Севастополь. Исследовано 30 экземпляров массой 17,6 ± 1.9 г и высотой створки 30,5 ± 1,0 мм. Для адаптации к лабораторным условиям моллюски находились в течение недели в емкостях с проточной морской водой из расчета 3 – 5 литра на особь (содержание кислорода – 6,77 мг/л; соленость 19,6 ‰). Контрольная группа содержалась при солености 19,6 ‰. Увеличение солености (до 35 ‰ и 45 ‰) осуществлялось путем добавления соли (the Red sea salt, France) со скоростью 0,8 ± 0,2 ppm в час. Для удаления метаболитов вода в аквариумах менялась ежедневно с сохранением величин соленостей. Моллюсков кормили смесью микроводорослей.

Гемолимфу для анализа отбирали стерильным шприцом из экстрапаллиальной полости, затем трижды отмывали в морской воде в течение 5 минут (300g) и фильтровали через фильтр с диаметром ячейки 20 мкм. После отмывки одна часть концентрата клеток использовалась для приготовления мазков, а другая (50 мкл) – для измерения осмолярности на осмометре Astori OsmoSpecial 1. Окраска мазков проводилась по комбинированному методу Паппенгейма. Мазки анализировались при помощи светового микроскопа (Biomed PR-2 Lum), оборудованного камерой (Levenhuk C NG Series). В программе ImageJ 1.44 p по фотографиям измерялись большой и малый диаметры клеток (без учета псевдоподий) и их ядер. Для расчета площади поверхности (S_c) и объема (V_c) эритроцита использовались формулы, представленные в работе (Houchin, 1958). Толщина определялась по уравнению, предложенному Чижевским (Чижевский, 1959). Используя формулы объема и площади эллипсоида вращения (Ташкэ, 1980), были рассчитаны данные показатели для ядер эритроцитов. На основании полученных значений были определены удельные поверхности эритроцитов и их ядер. На каждом мазке подсчитывалось 1000 клеток.

Достоверность различий оценивали при помощи U-критерия Манна – Уитни. Результаты представлены в виде $\overline{x} \pm SE$.

На препаратах гемолимфы анадары идентифицировано 2 типа клеток: эритроциты и амебоциты; наиболее распространенным из которых был первый. Эритроциты представляли собой крупные клетки, большая и малая оси которых были 16,15±0,11 мкм и 13,33±0,08 мкм, соответственно. Цитоплазма имела светлые оттенки, в ней наблюдалось большое число базофильных гранулярных включений, количество которых колебалось от 14 до 30 единиц. Клетки были округлой формы (величина индекса C_1/C_2 составляла 1,222±0,007) с небольшим ацентричным ядром, обладающим плотной структурой. Размеры ядра составляли 4,95±0,03 мкм и 3,68±0,03 мкм. Содержимое ядра компактное с высоко концентрированным хроматином, цвет резко базофильный, что свидетельствует о низкой функциональной активности данной структуры. Также это подтверждает пониженное значение ядерно-плазматического отношения 0,085±0,001.

Гиперосмотическая нагрузка сопровождалась изменением линейных параметров эритроцитов и их ядер. Большая ось эритроцитов при 35 ‰ уменьшилась на 4 % ($p<0,05$), а при дальнейшем увеличении солёности до 45 ‰ она, наоборот, возросла на 10 % ($p<0,05$). Что касается малой оси клетки, то при 35 ‰ ее размер оставался на уровне контрольных значений (13,40±0,11 мкм), а при 45 ‰ – увеличился на 9 %

($p<0,05$). Такие же тенденции отмечались и для размерных характеристик ядра эритроцита при изменении солености.

В условиях гиперосмотического стресса у анадары фиксировались изменения объемных характеристик клеток и их ядер. Так при 35 ‰ объем клетки снизился на 6 % ($p<0,05$), а объем ядра оставался на уровне контрольных значений (36,25±0,652 мкм^3), а при 45 ‰ отмечалось увеличение объемов этих двух структур на 23 % ($p<0,05$) для гемоцитов и на 35 % ($p<0,05$) для их ядер. Что касается ядерно-плазматического отношения, то его рост отмечался при 45 ‰ на 8 % ($p<0,05$).

Осмолярность гемолимфы анадары (493,42±4,54 мОсм·кг$^{-1}$) соответствовала осмолярности морской воды (470 мОсм·кг$^{-1}$) и увеличивалась постепенно при гиперосмотических условиях. В ходе эксперимента значительная разница между уровнями осмолярности морской воды и гемолимфы не отмечалась. Осмолярность гемолимфы анадары, акклиматизированной к 35 ‰, составляла 1188,51±3,48 мОсм·кг$^{-1}$, в то время как осмолярность морской воды 1202 мОсм·кг$^{-1}$. При дальнейшем увеличении солености до 45 ‰ у моллюсков значения осмолярности гемолимфы находились в пределах от 1294 до 1314 мОсм·кг$^{-1}$, а осмолярность морской воды, соленость которой была 45 ‰, была 1300 мОсм·кг$^{-1}$.

Наиболее выраженными изменениями при гиперосмотическом стрессе были увеличение линейных и объёмных характеристик эритроцитов анадары. Это может свидетельствовать о том, что у гемоцитов вероятно имеется реакция регуляторного увеличения объема в условиях гиперосмотической нагрузки.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ ИнБЮМ по Теме № 0556-2021-0003 «Функциональные, метаболические и токсикологические аспекты существования гидробионтов и их популяций в биотопах с различным физико-химическим режимом».

Список литературы:

1. *Ташкэ К.* Введение в количественную цито-гистологическую морфологию. – Бухарест: Изд-во Академии Респ. Румынии, 1980. – 291 с.

2. *Чижевский А.Л.* Структурный анализ движущейся крови. − М.: Изд-во АН СССР, 1959. − 474 с.

3. *Houchin D.N., Munn J.I., Parnell B.L.* A method for the measurement of red cell dimensions and calculation of mean corpuscular volume and surface area // Blood. – 1958. – **13**. – P. 1185-1191.

СООБЩЕСТВА ФИТОФИЛЬНОГО ЗООПЛАНКТОНА Р. ПЕРЬИ (ЯРОСЛАВСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Сиротин А. Л.

ФГБОУ Костромской государственный университет, г. Кострома

Ключевые слова: фитофильный зоопланктон, макрофиты, р. Перья, биотоп

Организмы зоопланктона имеют важнейшее значение в функционировании гидроценозов. Для лотических экосистем наибольшее влияние сообщества гидробионтов оказывает фитофильный зоопланктон, зоопланктон плёсов, стариц и других рефугиумов с замедленным течением. Вместе с тем в современной литературе недостаточно сведений о структуре и функционировании сообществ фитофильного зоопланктона [1, 2].

Река Перья относится к Верхневолжскому бассейновому округу, протекает в Любимском районе Ярославской области и впадает в р. Кострому – приток р. Волги.

Длина реки составляет 24 км, площадь бассейна 100 км^2. Обследован приустьевой участок реки и русло на 3 километра выше по течению. Берега реки исследованного участка в нижнем течении реки покрыты еловыми насаждениями и смешанными лесами с участием дуба, плесы обильно зарастают макрофитами. Отбор проб зоопланктона в августе 2020 г. проводился с лодки малой количественной сетью Джеди (размер ячеи 70 мкм). Отобрано 20 количественных и качественных проб, пробы фиксировались 4% формалином. Обработка проб проводилась по общепринятым методикам [3] под бинокулярным микроскопом, определение видов – с помощью тринокулярного микроскопа Микромед 2 с цифровой камерой.

Целью работы являлся анализ структуры сообществ фитофильного зоопланктона малой реки, определение количественных показателей зоопланктона зарослей макрофитов.

В результате исследований было выявлено 27 видов зоопланктеров, из них 16 видов Cladocera, 2 вида Copepoda, 9 видов Rotifera. Среди обнаруженных видов зоопланктона доминировали фитофильные виды, способные ползать по макрофитам или прикрепляться к ним – 65,22%. Фитофильно-планктонные виды, встречающиеся как в зарослях высшей водной растительности, так и в пелагиали, свободной от растений, составили 21,74%. Облигатно-планктонные виды составили 8,69 %, виды придонного комплекса – 4,35%.

Зоопланктон устьевой зоны реки представлен всего 7 видами, из которых 42,8 % – Cladocera, 28,6 % – Copepoda и 28,6 % – Rotifera. Для этого участка отмечены самые невысокие показатели численности и биомассы – 3990 экз·м$^{-3}$ и 0,035 г·м$^{-3}$ соответственно.

В медиали р. Перьи обнаружено 16 видов, состав зоопланктона здесь представлен в значительной мере ветвистоусыми – 50,0 % от общего количества видов и коловратками (37,5 %). Численность и биомасса зоопланктона в среднем составили – 21600 экз/м^3 и 0,351 г·м$^{-3}$ соответственно. Необходимо отметить, что по численности доминировали ювенильные стадии веслоногих – 37,04 % от общей численности зоопланктона, хотя биомасса на 70,7% представлена ветвистоусыми ракообразными.

В зарослях рдеста плавающего (*Potamogeton natans* L., 1753) в составе зоопланктона нами обнаружено 17–19 видов. По количеству видов доминировали Cladocera – 68,43–70,59 % от общего количества. Фитофильный зоопланктон этих биотопов составил 63,64–66,66 % видового состава, фитофильно-планктонные виды – 20,0–36,36 %. Показатели численности и биомассы зоопланктона зарослей рдеста плавающего значительно превышали аналогичные показатели медиальных и устьевых участков: 75200–127600 экз·м$^{-3}$и 2,745–2,788 г·м$^{-3}$ соответственно. По численности доминировали веслоногие, по биомассе – ветвистоусые ракообразные, при этом значительный вклад в биомассу зоопланктона внес ветвистоусый рачок *Sida crystallina* (O.F.Müller, 1776).

В зарослях рдеста блестящего (*Potamogeton lucens* L., 1753) отмечено 15 видов зоопланктеров, из них ветвистоусые составили 73,33%, фитофильные виды – 77,78%, фитофильно-планктонные – 22,22%. Численность и биомасса зоопланктона этого биотопа достигали наибольшей величины – 420000 экз·м$^{-3}$ и 14,677 г·м$^{-3}$ соответственно. Биомасса *Sida crystallina* составила 5,328 г/м^3, что соответствовало 36,3 % от всей биомассы зоопланктона. Следует отметить, что избирательность к рдестам для *Sida crystallina* отмечена в литературе [2, 4].

В зарослях кувшинки белой (*Nymphaea alba* L., 1753) обнаружено 13 видов зоопланктонных организмов, среди которых также преобладали ветвистоусые ракообразные – 77,78 %, фитофильные виды составили 77,78 %, фитофильно-планктонные – 22,22 %. Численность зоопланктона составила 198000 экз·м$^{-3}$, биомасса – 5,56 г·м$^{-3}$. По численности и биомассе в этом биотопе доминировали веслоногие ракообразные, в том числе их ювенильные стадии.

Таким образом, зоопланктон малой реки не является однородным, а зависит от большого количества абиотических и биотических факторов. К абиотическим факторам можно отнести наличие или отсутствие течения, освещённость, прозрачность, химический состав природных вод и др. Одновременно влияние на зоопланктон оказывают биотические факторы, среди которых важнейшее значение имеет высшая водная растительность. Заросли различных видов макрофитов образуют отдельные биотопы, в которых развиваются сообщества зоопланктона, отличающиеся по видовому составу, составу экологических групп, показателям численности и биомассы.

Список литературы

1. Крылов А. В. Зоопланктон равнинных малых рек. Москва : Наука, 2005. 263 с.
2. Гаврилко Д. Е. Структурно-функциональная организация сообществ зоопланктона зарослей высших водных растений (на примере водотоков Нижегородской области) : автореф. дис. … канд биол. наук : 03.02.08. Нижний Новгород, 2019. 25 с.
3. Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоёмах. Зоопланктон и его продукция. Ленинград : Изд-во ГосНИОРХ, 1982. 33 с.
4. Столбунова В. Н. Особенности зоопланктона мелководий Верхневолжских водохранилищ и условия его существования // Труды ИБВВ. 1993. Вып. 69 (72) : Зооценозы водоемов бассейна Верхней Волги в условиях антропогенного воздействия. С. 20–38.

КОМПЛЕКСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГИДРОБИОНТОВ В БАРЕНЦЕВОМ МОРЕ В АВГУСТЕ - СЕНТЯБРЕ 2019 г. НА НИС «ВИЛЬНЮС»

Углова Т. Ю.[1], Узбекова О. Р.[2], Антипин Р. А.[2], Гаврилик Т. Н.[2]

[1]Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ВНИРО), г. Москва
[2]Полярный научно-исследовательский институт морского рыбного хозяйства и океанографии им. Н. М. Книповича (Полярный филиал ФГБНУ «ВНИРО»), г. Мурманск

Ключевые слова: Экосистемная съемка, Баренцево море, промысловые виды, бентос

Комплексные исследования на научно-исследовательском судне (НИС) «Вильнюс» (в рамках совместной российско-норвежской экосистемной съемки Баренцева моря) выполнялись в период с 14 августа по 04 октября 2019 г. Траления выполняли согласно стандартной сетке станций.

Всего за период исследований выполнено 139 учетных донных станций на глубинах от 25 до 366 м. Исследованиями охвачен участок от 68°66´´N до 81°43´´N. Основными объектами научно-исследовательских работ являлись промысловые виды крабов и крабоидов Баренцева моря: краб-стригун опилио *Chionoecetes opilio* (Fabricius, 1788), камчатский краб *Paralithodes camtschaticus* (Tilesius, 1815). Кроме того, собрана биологическая информация и данные по уловам на усилие северной креветки *Pandalus borealis* (Krøyer, 1838). В ходе научно-исследовательских работ выполнялся количественный учет всех прочих видов беспозвоночных, встречавшихся в уловах.

Научно-исследовательские работы на НИС «Вильнюс» проводились согласно стандартным методикам, применяемым в рыбохозяйственных институтах России [1; 2]. Траления осуществлялись донным тралом «Campelen-1800» со вставкой 22-мм дели, шагом ячеи / кутка 125 мм, горизонтальным раскрытием 15 м. В качестве индикаторного показателя состояния среды обитания промысловых беспозвоночных в Баренцевом море проводили измерения температуры в 3-х слоях. В период исследований температура придонного слоя воды находилась в пределах от –1,42 °С до +4,82 °С, температура поверхности моря колебалась в пределах от –1,49 до +9,88, а пределы температуры воздуха составляли –4,2–+14,5. Соленость морской воды была в пределах 33,291 – 34,934 ‰.

По данным Денисенко донное сообщество Баренцева моря составляет приблизительно 2300 видов. При этом 40–50 % приходится на 7–10 основных видов таких как: двустворчатые моллюски, усоногие раки, морские ежи, голотурии, губки, сипункулиды. В Северо-Центральной части моря существенный вклад в суммарные ресурсы вносят полихеты, голотурии, звезды и офиуры [3]. В Северном рыбохозяйственном бассейне наиболее значимыми ресурсами промысловых беспозвоночных являются камчатский краб, краб-стригун опилио и северная креветка. В период проведения съемки, среди промысловых беспозвоночных, в донных траловых уловах наиболее часто встречалась северная креветка – в 96 станциях из 139. Краб-стригун опилио попадался в 87 тралениях и был распространен повсеместно, в то время как представители камчатского краба отмечались только от 68°40.400´´N до 71°21.300´´N и присутствовали в уловах 31 станции. Наиболее многочисленным не промысловым видом водных биологических ресурсов в уловах оказалась кукумария. Суммарный количественный улов этого вида составил 1220 экз., вторым в весовом эквиваленте оказался морской еж, а в количественном выражении самым многочисленным (20000 экз.). Самым редким видом оказался крабоид *Lithodes maja* попавшийся только в одном тралении в одном экземпляре. Из декапод, наиболее распространенной, в данной съемке можно отметить *Sabinea septemcarinata*, этот вид креветок присутствовал в 105 тралениях вылавливался на глубинах от 39 – 366 м. Рассмотрение количественного состава уловов беспозвоночных по группам показало, что в траловых уловах Баренцева моря преобладали промысловые виды (крабоиды и крабы), составляя ≈ 22,8 % от общего количества беспозвоночных животных в уловах. Представители отряда Decapoda составляли существенную часть уловов, в среднем – 9,8 %. Различные виды проанализированных нами моллюсков (в том числе – трубачи) в количественном отношении составляли лишь небольшую часть уловов ≈ 1 %. Вылов кукумарии в процентном соотношении составил – 5,2 %, на долю морских ежей приходилось 3,2 %. Остальные группы беспозвоночных животных (актинии, асцидии, полихеты, мшанки, изоподы, губки и др.) составляли суммарно большую часть уловов (около 58 %) от общего количества выловленных беспозвоночных. Всего за период проведения экосистемной съемки было выловлено 5507,745 кг бентоса, что составляет 17,5 % от массы всего вылова донного трала. В тралениях были определены представители 18 таксономических групп и порядка 100 видов мегабентоса.

Высокое промысловое значение запасов беспозвоночных в Северном рыбохозяйственном бассейне обуславливает необходимость регулярного проведения исследований, направленных на выявление динамики состояния эксплуатируемых популяций, комплексное изучение особенностей биологии и распространения указанных видов водных биологических ресурсов.

Исследование выполнено в рамках Госзадания на выполнение работ на 2019 г. на НИС МК-0102 "Вильнюс", в соответствии с Планом ресурсных исследований и государственного мониторинга ВБР на 2019 год.

Список литературы

1. Карасев А. Н. Краб-стригун опилио северной части Охотского моря (особенности биологии, запасы, промысел). Магадан : Новая полиграфия, 2014. 194 с.
2. Родин В. Е., Слизкин А. Г., Мясоедов В. И., Барсуков В. Н., Мирошников В. В., Згуровский К. А., Канарская О. А. Руководство по изучению десятиногих ракообразных Decapoda дальневосточных морей. Владивосток : Изд-во ТИНРО, 1979. 59 с.
3. Денисенко С. Г. Макрозообентос Баренцева моря в условиях меняющегося климата и антропогенного воздействия : автореф. дис. ... д-ра биол. наук : 03.00.10. Санкт-Петербург, 2008. 46 с.

ФИЛОГЕОГРАФИЯ МЕЗОПЕЛАГИЧЕСКИХ КРЕВЕТОК *SYSTELLASPIS DEBILIS* (DECAPODA: OPLOPHORIDAE) ИЗ АТЛАНТИЧЕСКОГО И ИНДИЙСКОГО ОКЕАНОВ

Шапкина А. О.[1, 2], Кулагин Д. Н.[1], Хайтов В. М.[2]

[1]Институт Океанологии им. П. П. Ширшова РАН, г. Москва
[2]Санкт-Петербургский Государственный университет, г. Санкт-Петербург

Ключевые слова: космополитные виды, планктонные сообщества, мезопелагиаль, филогеография, Systellaspis debilis

Долгое время было принято считать, что благодаря высокой подвижности водной среды популяции морских планктонных организмов, в том числе и видов с широким географическим распространением, должны быть генетически однородными из-за интенсивного потока генов [1]. Однако, такие факторы как физические и гидрологические барьеры (течения, океанические круговороты, градиенты температуры, солености и кислорода, континенты, океанические хребты и пр.) могут являться преградой для сообщения между планктонными сообществами и приводить к образованию генетически подразделенных популяций у космополитных видов [2]. Структура планктонных сообществ исследуется в основном на примере эпипелагических организмов, в то время как мезопелагические сообщества, обитающие ниже границы фотической зоны, зачастую остаются в тени [3].

Цель исследования - изучить генетическую структуру космополитного вида креветок *Systellaspis debilis*, массово встречающегося в мезопелагиали Атлантического и Индийского океанов.

Сбор материала для работы производился в трех зонах, совпадающих с крупными тропических круговоротами: в Северной и Южной частях Атлантического океана и в западной части Индийского океана, что позволяет сравнить популяции, разделенные как гидрологическими, так и физическими барьерами. Особи, собранные при помощи трала или планктонных сетей, были зафиксированы в 96% EtOH.

Проведенный филогенетический анализ с использованием митохондриального гена COI показал, что отличия между особями из трех локаций (Индийский океан, Северная и Южная часть Атлантического океана), незначительны, что позволяет сделать вывод о генетической однородности популяций *S. debilis.* Таким образом, можно говорить о том, что потоку генов между популяциями *S. debilis* не препятствуют разделяющие их водные массы, океанические круговороты и наличие материка.

Подобные исследования для большего числа видов имеют большое значение для понимания структуры пелагических сообществ, оценке роли океана в глобальном круговороте углерода и регуляции климата, так и для поддержки морского промысла. Понимание механизмов, формирующих глубоководные экосистемы, поможет оценить и предсказать воздействие природных процессов и человеческой деятельности на климат и нашу планету в целом [4].

Работа выполнена при поддержке РНФ №18-17-00177 и Ресурсного Центра Молекулярных и Клеточных Технологий СПбГУ.

Список литературы

1. Churchill C. K. C., Valdés Á. and Foighil D. Ó. Molecular and morphological systematics of neustonic nudibranchs (Mollusca:Gastropoda:Glaucidae:Glaucus), with descriptions of three new cryptic species // Invertebrate Systematics. 2014. Vol. 28, iss. 2. P. 174–195. https://doi.org/10.1071/IS13038
2. Goetze E. Temporal Stability of Genetic Structure in a Mesopelagic Copepod // PLOS ONE. 2015. Vol. 10, iss. 8. P. 1–16. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0136087
3. Robinson C., Steinberg D. K., Anderson T. R. Mesopelagic zone ecology and biogeochemistry – a synthesis // Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography. 2010. Vol. 57, iss. 16. P. 1504–1518. https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2010.02.018
4. Sutton, T. T., Clark M. R., Dunn D. C. A global biogeographic classification of the mesopelagic zone // Deep-Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers. 2017. P. 85–102. https://doi.org/10.1016/j.dsr.2017.05.006

ВОДНЫЕ БИОЛОГИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ, БИОТЕХНОЛОГИЯ И АКВАКУЛЬТУРА

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ГЕМОЦИТОВ ТИХООКЕАНСКОЙ УСТРИЦЫ (CRASSOSTREA GIGAS) ПРИ РАНЖИРОВАННОЙ ГИПОКСИИ

Андреева А. Ю., Кладченко Е. С.

ФИЦ «Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН», г. Севастополь

Ключевые слова: тихоокеанская устрица, гемоциты, клеточный иммунитет, гипоксия

В течение последних 50 лет отмечено существенное увеличение средней температуры вод Мирового океана, а также значительные годичные колебания содержания растворенного кислорода на глубинах до 100 м в тропических, субполярных и субтропических регионах. Формирование и распространение зон прибрежной гипоксии в водах Мирового океана широко известно мировой науке. Модели изменения климата предсказывают общее снижение уровня растворенного кислорода в водах Мирового океана и дальнейшее распространение зон кислородного минимума в условиях глобального потепления [1]. Наиболее существенным является формирование периодических или перманентных гипоксических акваторий в шельфовой континентальной зоне, поскольку она интенсивно используется для рыбного промысла и ведения аквакультурного хозяйства. В настоящее время Крымское побережье Черного моря интенсивно используется для аквакультурного выращивания двустворчатых моллюсков. Хотя Черноморское побережье Крыма в настоящее время характеризуется благоприятным регионом, с точки зрения концентрации растворенного кислорода в поверхностном слое воды (100 м), наличие термоклина, общая тенденция роста средней годичной температуры воды [2] могут приводить к возникновению локальных зон гипоксии, особенно в весенне-летний период, когда прогрев воды максимален.

Цель настоящей работы: исследовать влияние дефицита кислорода разной степени и продолжительности на параметры неспецифического иммунитета тихоокеанской устрицы (*Crassostrea gigas*), являющегося объектом интенсивной региональной аквакультуры.

Для решения поставленных задач были отобраны 60 устриц (94 ± 3.5 мм, 23 ± 4.2 г). Моллюски были получены на марикультурной ферме, расположенной в г. Севастополь. После транспортировки устрицы были размещены в емкостях с проточной морской водой из расчета 3–5 л на моллюска на период акклиматизации к лабораторным условиям. По окончании периода акклиматизации (2 недели) моллюсков помещали в емкость с морской водой, продуваемой газообразным азотом до концентрации кислорода 0.3 мг $л^{-1}$. Спустя 24 часа и 72 часа инкубации у устриц отбирали гемолимфу из сердечного синуса (0.5–1.0 мл). Клетки отмывали в морской воде путем центрифугирования (350 g в течение 5 мин). После отмывки клетки ресуспензировали в морской воде (концентрация гемоцитов $1–2 \cdot 10^6$ на мл). Для идентификации типов клеток на проточном цитометре Beckman Coulter FC500 готовую суспензию окрашивали ДНК-красителем SYBR Green I (финальная концентрация в пробе 10 мкмоль $л^{-1}$, время инкубации - 40 мин в темноте).

Оценка способности гемоцитов к спонтанной продукции активных форм кислорода проводилась на основании оценки флуоресценции красителя 2-7-дихлорфлуоресцеин-диацетата (DCF-DA). 1 мл суспензий гемоцитов инкубировали с 10 мкл раствора DCF-DA в течение 40 мин в темноте. Финальная концентрация красителя в пробе составляла 10 мкмоль $л^{-1}$. Флуоресценция красителя анализировалась в канале FL1 (зеленая область спектра). Смертность гемоцитов определяли при помощи флуоресцентного красителя propidium iodide (PI). К 1 мл суспензии гемоцитов добавляли 10 мкл раствора PI (Sigma Aldrich) и инкубировали в темноте в течение 40 мин при 4 ºС. Доля мертвых гемоцитов в общем числе гемоцитов оценивали по гистограммам флуоресценции PI в канале FL4 цитометра.

Анализы на фагоцитоз проводили, добавляя суспензии зимозана (клеточные стенки Saccharomyces cerevisiae, зимозан A, Sigma) в соотношении зимозана к гемоцитам 10/1. Суспензию инкубировали 90 мин при комнатной температуре (20–23) °C в темноте. Интенсивность фагоцитоза оценивали по флуоресценции красителя в канале FL1 (зеленая область спектра).

Гемолимфа устриц содержала 3 типа клеток (агранулоциты, гиалиноциты и гранулоциты), различающихся по размеру, форме и степени гранулированности цитоплазмы. Показано, что кратковременный недостаток кислорода (24 ч) оказывает стимулирующий эффект на иммунные функции гемоцитов (способность к спонтанной продукции активных форм кислорода). У агранулярных клеток гемолимфы отмечена тенденция к росту числа активных форм кислорода, а у гранулоцитов показатель вырос почти в 2 раза. Спустя 72 ч воздействия гипоксии у всех типов клеток гемолимфы отмечено достоверное снижение флуоресценции DCF-DA, что говорит об уменьшении уровня активных форм кислорода в цитоплазме. Наиболее существенное снижение отмечено у гранулоцитов. Общая способность гемоцитов устриц к фагоцитозу уменьшалась в условиях гипоксии. Однако уменьшение интенсивности фагоцитоза в меньшей степени зависело от недостатка кислорода, в сравнении со способностью клеток к генерации активных форм кислорода. Нами отмечена лишь тенденция к снижению интенсивности фагоцитоза, достоверных различий между пробами не выявлено. Показано, что гипоксия не оказывала влияния на уровень смертности гемоцитов, который сохранялся на уровне контрольных значений во всех экспериментальных группах.

Таким образом, суточная гипоксия оказывала стимулирующее действие на клеточный иммунитет устриц, вызывая интенсификацию клеточного дыхания, сопровождающегося ростом спонтанной продукции активных форм кислорода в цитоплазме гемоцитов. Длительное воздействие недостатка кислорода приводило к угнетению клеточного иммунитета устриц за счет снижения способности гемоцитов к спонтанной продукции активных форм кислорода, а также их фагоцитарной активности.

Работа выполнена в рамках гранта Президента Российской федерации для молодых ученых кандидатов-наук (проект № МК-609.2020.4).

Список литературы

1. Diaz R. J., Rosenberg R. Introduction to environmental and economic consequences of hypoxia // Journal of Water Resources Development. 2011. Vol. 27, iss 1. P. 71–82. https://doi.org/10.1080/07900627.2010.531379

2. Кондратьев С. И., Видничук А. В. Локальная сезонная гипоксия и образование сероводорода в придонных водах Севастопольской бухты в 2009–2019 годах // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2020. Т. 2. С. 106–121. https://doi.org/10.22449/2413-5577-2020-2-107-121

ОСОБЕННОСТИ СОЗРЕВАНИЯ ПОЛОВЫХ ПРОДУКТОВ ТИХООКЕАНСКОГО ОКУНЯ-КЛЮВАЧА

Жукова К. А.

Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ВНИРО), г. Москва

Ключевые слова: Sebastes alutus, размножение, гистология, Scorpaeniformes, Берингово море

Тихоокеанский окунь-клювач *Sebastes alutus* – морская стайная рыба, обитающая на материковом и островных склонах и шельфе морей северной части Тихого океана, которая является важнейшим промысловым объектом дальневосточного региона России [1]. Он относится к живородящим видам, для которых характерно внутреннее оплодотворение. Основные этапы жизненного цикла включают в себя: нагул, спаривание половозрелых самцов и самок, осенняя миграция (нерестовая у самок, зимовальная у самцов), зимовка самцов и неполовозрелых рыб, вымет самками личинок, весенняя кормовая миграция [2].

Информация о репродуктивной биологии тихоокеанского окуня-клювача Берингова моря фрагментарна, основные исследования были проведены в 50-70-х годах прошлого века, поэтому целью данного исследования являлось уточнение современных репродуктивных особенностей размножения этого вида.

Материал был собран в апреле 2019 г в Беринговом море (59°36’–59°20’ с.ш. 170°14’–170°21’ в.д.) в горизонтах лова 326-330 м на борту РТМ П-0697 «Камлайн» (предприятие ООО «Росрыбфлот»). Гонады фиксировали в буэне; гистологическую обработку провели по стандартным методикам в модификации для рыб (Микодина и др., 2009). Для изучения и фотосъёмки срезов использовали световой микроскоп OLYMPUS BX45 с фотокамерой Leica DC 100. Для сравнения размеров впервые и повторно созревающих самок быть использован U-критерий Манна Уитни, позволяющий выявить достоверность различий между небольших выборок (135 самок и 367 самцов).

Большинство исследованных самок (68%) были готовы к вымету личинок; в их гонадах присутствовали созревающие или зрелые эмбрионы (стадии зрелости VI, VII и VIII). 24% рыб имели созревающие яичники (стадия зрелости III). Такие особи не принимали участие в нересте по причине того, что их гонады не успели созреть. Внешний вид яичников 8% самок указывал на то, что такие особи недавно выметали личинок. Анализ размеров самок показал, что длина рыб, участвующих в нересте текущего года, статистически выше (34,7±2,2 см), чем у созревающих (32,4±3,2 см) ($p \leq 0{,}001$). Вероятно, вторая группа была представлена молодыми, ранее не принимавшими участия в нересте особями.

Гистологический анализ показал, что самыми зрелыми женскими половыми клетками в гонадах созревающих самок были ооциты периода вителлогенеза: от фазы вакуолизации до наполненного желтком ооцита. Развитие ооцитов в период вителлогенеза носило асинхронный характер: в яичниках наиболее зрелых самок одновременно отмечали 3 группы ооцитов. Первая состояла из ооцитов периода превителлогенеза, представляя собой резервный фонд половых клеток. Вторая включала в себя ооциты фазы вакуолизации, третья была представлена лидирующей генерацией женских половых клеток – ооцитами наполовину либо полностью заполненными желтком.

В гонадах отнерестившихся самок отмечено большое количество соединительнотканных элементов и кровеносных сосудов, которые составляли строму, поддерживая созревающие эмбрионы, последние к моменту исследования уже были выметаны. Генеративная часть была представлена превителлогенными ооцитами, а также ооцитами фазы вакуолизации, которые были организованы в группы.

Все самцы имели гонады стадии зрелости III разной степени развития, при этом визуально они сильно различались по размерам и цвету. Во всех семенниках активно проходил сперматогенез. Половые клетки собраны в цисты, окруженные соматическими эпителиальными клетками Сертолли. В зависимости от степени созревания, в части семенников были отмечены сперматозоиды, в остальных старшей генерацией мужских половых клеток были сперматиды. Структура мужских половых желез соответствовала лобулярному типу с неограниченным распределением сперматогониев в лобулах, который также встречается у других представителей отряда Scorpaeniformes.

Полученные результаты показали, что после вымета личинок яичники переходят на III стадию зрелости, а не на II, как считалось ранее [2]. Развитие семенников соответствовало данным, полученным Л.А. Лисовенко [3] в заливе Аляска. Состояние гонад тихоокеанских клювачей указывало на то, что в апреле в Беринговом море самки выметывают личинок, в то время как самцы находятся в состоянии нагула. Скопления в этот период составлены особями как впервые, так и повторно участвующими в нересте.

Работа выполнена в рамках темы государственного задания ФГБНУ «ВНИРО» № 076-00002-21-00 «Проведение прикладных научных исследований».

Список литературы

1. Промысловые рыбы России / под ред. Гриценко О. Ф., Котляра А. Н., Котенёва Б. Н. Москва : ВНИРО, 2006. 1280 с.
2. Любимова Т. Г. Основные этапы жизненного цикла морского окуня *Sebastodes alutus* Gilbert в зал. Аляска // Труды ВНИРО. 1965. Т. 58 ; Известия ТИНРО. 1965. Т. 53. С. 95–120.
3. Лисовенко Л. А. Материалы к изучению сперматогенеза тихоокеанского морского окуня *Sebastodes alutus* Gilbert зал. Аляска // Труды ВНИРО. 1970. Т. 70 ; Известия ТИНРО. 1970. Т. 72. С. 246–264.

ОСОБЕННОСТИ БИОЛОГИИ И ЭКОЛОГИИ СЕРЕБРЕНОГО БАРБУСА *(BARBONYMUS GONIONOTUS* BLEEKER, 1851) В ДЕЛЬТЕ РЕКИ МЕКОНГ (ВЬЕТНАМ) В 2019-2020 ГГ.

Куршаков С. В.[1, 2, 3], Чеснокова И. И.[1, 2, 3], Аблязов Э. Р.[1, 2, 3], Карпова Е. П.[1, 2, 3], Ку Нгуен Динь[3], Чыонг Ба Хай[3]

[1]ФИЦ «Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН», г. Севастополь
[2] Института проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, г. Москва
[3]Южное отделение Совместного Российско-Вьетнамского Тропического научно-исследовательского и технологического центра, г. Хошимин

Ключевые слова: Barbonymus gonionotus, Меконг, Вьетнам, экология рыб

Barbonymus gonionotus Bleeker, 1850, вид из семейства карповых рыб (Cyprinidae), обитающий в пресных водах Юго-Восточой Азии (Чианг-Хонга в Таиланде, бассейн реки Чаупхрайя, Малайский полуостров, острова Суматра и Ява) от 24° северной по 8° южной широты. В бассейне реки Меконг он распространен повсеместно от верховьев до самой дельты. Потамодромный вид, совершает региональные миграции с нижнего течения в верхнее, а также при паводках заходит на затопленные участки, попадая в мелкие водоемы [1]. Со строительством гидроузлов на русле Меконга, в частности КНР, вероятнее всего, его миграции будут затруднены, влияния этого на популяцию остаётся неясным. Данные по биологии, экологии и физиологии исследуемого вида в р. Меконг фрагментарны.

Всего было обработано 189 рыб (157 особей были отловлены октябре-ноябре 2019 года и 37 в феврале-марте 2020). Обобщенная за два сезона выборка включает в себя: 94 самца, 24 самки, 8 ювенальных и 48 рыб с неустановленным полом.

Проводился биологический анализ, включавший в себя измерение общей длины (TL) и промысловой (до конца чешуйного покрова) (L), массы целой рыбы (Рр), массы печени, гонад и рыбы без внутренностей (тушки) (Рт). Рассчитаны упитанность по Кларку и по Фультону, индекс печени (ИП), гонадосоматический индекс (ГСИ) анализируемых рыб. В собранной выборке соотношение полов было ♀1:♂3,9. Средний размер (SL) самцов и самок в выборке составил 12,0±0,2 см и 13,7±0,5 см, минимальный 10,2 см и 9 см, а максимальные 20,5 см и 17,1 см соответственно. Известная максимальная длина серебряного барбуса составляет 40,5 см (TL) [1], для дельты Меконга приводится значение в 30 см [2]. Удалось получить достоверные различия между средними значениями по массе, размеру и упитанности по Фультону. Согласна литературным источникам *B. gonionotus* бентопелагический вид, обитает на глубинах до 15 метров, при этом избегает быстрых участков рек, предпочитая держаться в прибрежной части русла, поймах, старицах, мелких притоках и водохранилищах [1]. Полученные нами данные подтверждают эти наблюдения, так на станциях, где нам попался данный вид, глубины колебались от 2 до 14 метров. Серебряный барбус очень чувствителен к осолонению. Наибольшая концентрация соли в районе, где была поймана особь исследуемого вида, был чуть менее 1,5 ‰. Вероятнее всего это было кратковременное повышение, связанное с приливом. При устойчивом повышении солей и соответственно увеличении солонотаводной зоны, рыбы будут смещаться выше по течению. Это позволяет использовать данный вид рыб как индикатор осолонения дельты Меконга.

Значения температур на станциях, составили от 28 до 37 С°. В источниках приводятся данные о температурном диапазоне обитания от 22 до 28 С° [1].

Таким образом, полученные данные позволяют понять особенности популяции серебряного барбуса в дельте Меконга и его потенциал в качестве вида-биоиндикатора для выявления загрязнения и осолонения. В условиях сильного антропогенного воздействия на бассейн Меконга необходимо заранее отслеживать критическое влияние негативных факторы среды. Полученные показатели ИП и упитанности по Фультону и Кларку, свидетельствуют, что в настоящий момент популяция находится в удовлетворительном состоянии. Однако найденные нами различные патологии позвоночника, такие как остеофиты и искривления, у нескольких особей, позволяют предположить, что существуют какие-то неблагоприятные факторы, влияющие на онтогенез рыб. Для установления соотношения со здоровыми рыбами и выяснения причин аномального развития требуется проведения дополнительных исследований.

Работа выполнена в рамках проекта «Эколан Э-3.4» а также тем НИР ФИЦ ИнБЮМ № АААА-А19-119060690014-5 и № 121030100028-0.

Список литературы

1. Froese R., Pauly. D. FishBase. 2021. URL: http://fishbase.org/search.php (дата обращения: 1.06.2021).

2. Tran D. D., Shibukawa K., Nguyen P. T., Ha H. P., Tran L. X., Mai H.V., Utsugi K. Mô tả định Loại Cá Đồng Bằng Sông Cửu Long, Việt Nam. Fishes of the Mekong Delta, Vietnam. Can Tho : University Publishing House, 2013. 174 p.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВКУСОВЫХ СВОЙСТВ СТЕРЕОИЗОМЕРОВ АМИНОКИСЛОТ ДЛЯ БЛИЗКОРОДСТВЕННЫХ ВИДОВ РЫБ

Левина А. Д.

Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, г. Москва

Ключевые слова: пищевые предпочтения, стереоизомеры аминокислот, вкусовая привлекательность, Cichlidae

Вкусовая система рыб в целом и вкусовая рецепция в частности активно исследуется во многих странах. В последние годы все больше внимания начинает уделяться работам по вкусовым предпочтениям – их видовой и популяционной специфичности, зависимости от образа и питания рыб, влиянию различных внешних факторов и внутреннего (мотивационного) состояния особи.

Несмотря на большое число проведенных исследований вкусовой рецепции рыб [1, 2], имеется ряд важных вопросов, требующих дальнейшего выяснения и дополнительного рассмотрения. Так, одной из малоизученных проблем вкусовой рецепции не только рыб, но и позвоночных животных в целом, остается выяснение того насколько значимыми для вкусовых свойств веществ могут быть те или иные структурные изменения их молекулы. Для таких работ используют чаще всего различные производные свободных аминокислот, отличающиеся от исходной аминокислоты своими физическими, химическими и многими биологическими свойствами. На примере млекопитающих выяснено, что вкусовые качества веществ и их производных могут существенно различаться. Для рыб эта проблема остается исследованной крайне слабо.

Полностью неизвестным остается вопрос являются ли изменения вкусовых свойств веществ, вызванные модификациями их молекулы, общими или специфичными для разных видов. Обоснованность такого вопроса вызвана тем, что, как стало очевидным в последние годы, вкусовые спектры и вкусовые предпочтения рыб характеризуются видовой специфичностью. Однако насколько отличия или сходство вкусовых спектров сопряжены с филогенетической близостью рыб пока еще не ясно. В связи с этим, целью работы являлось сравнительное исследование вкусовых свойств стереоизомеров аминокислот для пяти близкородственных видов рыб сем. Cichlidae.

Опыты выполнены на 12 особях каждого вида: *Oreochromis niloticus* (L=6,5–7,0 см), *O. mossambicus* (L=3,5–4,5 см), *Melanochromis auratus* (L=6,0-7,0 см), *Paraneetroplus hartwegi* (L=7,0–9,0 см) и *Lamprologus leleupi* (L=5,5–6,5 см). Экспериментальная часть работы проходила на базе лаборатории хеморецепции и поведения рыб кафедры ихтиологии биологического факультета МГУ летом 2015, 2019 и 2020 г. Рыб содержали по одиночке в аквариумах (10 л) при естественном режиме освещения и tводы = 24oC (терморегуляторы AquaEl Heater 25W). Кормление проводили живыми личинками Chironomidae один раз в день после проведения опытов. В опытах рыбам поштучно предлагали агар-агаровые гранулы (2 %), содержащие краситель Ponceau 4R (5μM) и один из тестируемых стимулов. В качестве стимулов использовались: L- и D-изомеры аспарагиновой кислоты, глутаминовой кислоты и триптофана (все 0,01 М), L- и D-изомеры аланина (0,1 М) и водный экстракт личинок Chironomidae (175 г·л$^{-1}$). Контрольные гранулы содержали только краситель.

Выполненные опыты показали, что стереоизомеры аминокислот обладают для рыб, как и для высших позвоночных животных, разными вкусовыми свойствами. Так, для *O. niloticus* все исследованные стимулы обладают нейтральным вкусом, но при этом гранулы с L-аспарагиновой кислотой потреблялись достоверно больше гранул с ее D-изомером. В опытах с *O. mossambicus* все тестируемые D-аминокислоты оказались менее привлекательными, чем L-формы. Для трех оставшихся видов L-аспарагиновая обладает менее привлекательным вкусом, чем ее D-изомер. В случае с глутаминовой кислотой, D-форма обладает аверсивным вкусом для *L. leleupi* и привлекательным для *P. hartwegi*, в то время как для *M. auratus* различий в уровне потребления для данной аминокислоты получено не было. L-формы триптофана и аланина потреблялись лучше D-форм в опытах с *M. auratus*, для двух других видов, наоборот, D-триптофан оказался более привлекательным, а для изомеров аланина различий получено не было. Разнообразие вкусовых свойств не только L-, но и D-изомеров аминокислот может иметь значение при выборе рыбами адекватных кормовых организмов. Таким образом, в ходе исследования было выяснено, что влияние конфигурации и структуры молекулы на вкусовую привлекательность аминокислот специфично у разных видов рыб, как и их вкусовые предпочтения.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (No.19-04-00367).

Список литературы

1. Kasumyan A., Døving K. Taste preferences in fishes // Fish and Fisheries. 2003. Vol. 4, iss. 4. P. 289–347. https://doi.org/10.1046/j.1467-2979.2003.00121.x

2. Касумян А. О. Вкусовая привлекательность и физико-химические и биологические свойства свободных аминокислот (на примере рыб) // Журнал эволюционной биохимии и физиологии. 2016. Т. 52, вып. 4. С. 245–254.

СПОСОБЫ ЗАГОТОВКИ ЦИСТ РАЧКА *ARTEMIA SALINA*

Маркина Н. Ю., Ткачева И. В., Подойницын Д. А., Мыцыкова Е. Р.

Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону

Ключевые слова: artemia salina, заготовка, новые способы заготовки

Использование рачка *artemia salina (Linnaeus, 1758)* на всех стадиях его развития в качестве живого корма при выращивании рыб и ракообразных на ранних стадиях развития, стало одним из наиболее важных шагов развития аквакультуры. Уделяется особое значение заготовки цист артемий [1].

Яйца ракообразных, сконцентрированные в водоемах, даже после удаления оболочки, как правило, приносят весьма небольшую долю вылупления (не больше 5%). На протяжении многих лет тема повышения процента выклева была актуальна. Кроме того, учитывая, что водоемы, в которых добывают яйца ракообразных Artemia Salina, находятся довольно далеко от места разведения и содержания рыб, важной задачей представляется проблема сохранения и доставки цист артемии непосредственно в места их запуска и употребления в кормах [2]. Известен способ заготовки цист рачка Artemia, включающий в себя соленую промывку, температурную активацию, пресную промывку и сушку. Недостатком данного метода является высокий отход цист в процессе хранения, из-за недостаточной промывки водой, также не всегда удается достичь требуемой чистоты продукта во время соленой промывки, в результате чего в общем массе цист наблюдается большого количества цист без хориона, а также присутствуют остатки биомассы [3].

Также с 2007 г. известен следующий способ, который включает в себя сборку цист, ее соленую промывку, температурную активацию, пресную промывку, сушку, во время соленой промывки, производят обработку цист, агрессивную обработку аскорбатом натрия в рапе среды обитания рачка Artemia. После обработки цист раствор аскорбата натрия в рапе, их просеивают на вибраситах. В случае, если чистота цист не достигнута и присутствуют цисты артемии без хориона, а также в наличие остатки биомассы, производят повторно обработку цист аскорбатом натрия в рапе. Еще один способ запатентованный в 2020 г. заключается в соленой промывке, температурную активацию, пресную промывку, сушку, сухую активацию и активацию веществом, являющимся носителем атомарного кислорода. После солёной промывки цисты закладываются в аппарат, где проходят активацию температурой и пресную промывку, затем сушат и отделяют от минеральных и органических включений. Также в этом аппарате можно производить и активацию цист артмии [4].

Как видно из выше сказанного, поиск наиболее выгодного способа заготовки цист рачка Artemia salina до сих пор остается актуальным. Если раньше рассматривали возможность обработки аскорбатом натрия в рапе среды обитания рачка, то сейчас уже появляются аппараты, которые способны облегчить способ заготовки цист артемии и повысить процент выклева рачка.

Список литературы

1. Кравченко Л. А., Маркина Н. Ю., Ткачева И. В. Пищевая ценность ракообразного Artemia Salina и применение его в рыбоводстве // Школа молодых новаторов : сборник научных статей Международной научной конференции перспективных разработок молодых ученых, 19 июня 2020 года : в 2-х томах. Курск : Юго-Зап. гос. ун-т., 2020. Т. 2. С. 289.
2. Веснина Л. В. Жаброногий рачок артемия // Рыбоводство и рыболовство. 2002. № 1. С. 68.
3. https://findpatent.ru/patent/271/2718639.html © , 2012-2021
4. Авторское свидетельство № 935044 СССР, МКИ А 01 К 61/00. Способ получения науплиусов из яиц веслоногого рачка *Artemia salina* : № 4171628/28-13 : заявлен 30.12.1986 ; опубликован 15.04.89 / Дудкин С. И., Абросимова Н. А., Мартынова Т. М., Плугина Л. М., Белов Е. Г. 2 с.

ДЕКОНТАМИНАЦИЯ КУЛЬТУР МИКРОВОДОРОСЛЕЙ ПРИ КОЛЛЕКЦИОННОМ ХРАНЕНИИ

Челебиева Э. С., Данцюк Н. В.

ФИЦ «Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского РАН», г. Севастополь

Ключевые слова: микроводоросли, Haematococcus, Coelastrella, аксеничная культура, антибиотики, фунгициды

Коллекционное хранение альгологических культур лежит в основе биотехнологии микроводорослей. Распространенной проблемой поддержания стокового материала в течение длительного периода является заражение штаммов бактериями и/или грибами [1]. Для продолжительного хранения достаточно получения альгологически чистых культур с минимальным количеством контаминантов, однако для успешного проведения некоторых физиолого-биохимических, цитологических и молекулярно-генетических исследований требуется аксеничность штаммов [2]. Получение чистых культур микроводорослей под воздействием различных, отличающихся по механизму и спектру действия антибиотиков и фунгицидов является трудоемким и длительным процессом, но сохраняет свою актуальность, т.к. сильное загрязнение грибами и бактериями ставит под угрозу сохранность коллекционных штаммов и поддержание выделенных из природных образцов видов.

Цель работы - оценка влияния антибиотиков и фунгицидов на культуры одноклеточных зеленых микроводорослей для выявления препаратов, минимизирующих присутствие контаминантов в культурах при сохранении активного роста и жизнеспособности клеток водорослей.

В данном исследовании уровень бактериального и грибкового заражения оценивали на примере двух видов водорослей: штамм IBSS-108 *Haematococcus sp.* Flotow 1844, выделен в 2011 г. на о. Северо-Восточная Земля, (Норвегия, Архипелаг Шпицберген) из бассейна с красным налетом на гальке, и штамм IBSS-12 *Coelastrella rubescens* Kaufnerová & Eliás 2013, Sphaeropleales, получен в 2006 г. из коллекции микроводорослей и цианобактерий IPPAS ИФР РАН как *Scotiellopsis rubescens* Vinatzer 1975 (IPPAS H-350).

Культуры выращивали на жидких питательных средах OHM [3] и BBM [4]. Исследуемыми препаратами антибиотиков были цефотаксим (ОАО «Биохимик») и ампициллин (РУП «Белмедпрепараты»), обладающие широким спектром антимикробного действия. В качестве фунгицидов использовали нистатин (ОАО «Борисовский завод медицинских препаратов») - противогрибковый препарат из группы полиенов, нарушающий проницаемость в клеточной мембране грибов; фундазол (ООО «Фирма «Зеленая Аптека Садовода»») – системный фунгицид, при проникновении в ткани растения действующее вещество блокирует репродуктивную функцию грибков. Отдельные антибиотики, фунгициды и их комбинации добавляли в жидкую и агаризованные питательные среды, используемые для лабораторного культивирования микроводорослей. Для контроля использовали питательную среду без антибиотиков и фунгицидов. Для оценки токсичности различных фунгицидов и антибиотиков относительно культур микроводорослей использовали диапазон концентраций (10-40 мкг/мл; 200-700 мкг/мл, соответственно).

При анализе полученных результатов был выявлен наиболее эффективный коктейль антибиотиков (ампициллин и цефотаксим) в концентрации 700мкг/мл и 200 мкг/мл, соответственно, который подавлял бактериальную флору при сохранении жизнеспособности клеток микроводорослей. Более результативным в подавлении микромицетов оказался фундазол (беномил). В концентрации 40 мкг/мл данный фунгицид также оказался безвредным для клеток *Haematococcus sp.* и *Coelastrella rubescens*. Более высокое содержание препаратов в среде ингибировало рост микроводорослей. Отмечено, что двукратный перенос зараженных культур на агаризованные питательные среды, содержащие ранее описанный коктейль антибиотиков и фунгицидов, позволяет минимизировать количество контаминантов в культурах до незначительного присутствия.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ ИнБЮМ по Теме № 0556-2021-0004 “Исследование механизмов управления продукционными процессами в биотехнологических комплексах с целью разработки научных основ получения биологически активных веществ и технических продуктов морского генезиса”

Список литературы.

1. Kan Y., Pan J. A one-shot solution to bacterial and fungal contamination in the green alga *Chlamydomonas reinhardtii* culture by using in antibiotic cocktail // Journal of Phycology. 2010. Vol. 46, iss. 6. P. 1356–1358. https://doi.org/10.1111/j.1529-8817.2010.00904.x
2. Темралеева А. Д., Минчева Е. В., Букин Ю. С., Андреева А. М. Современные методы выделения, культивирования и идентификации зеленых водорослей (Chlorophyta). Кострома : Костромской печатный дом, 2014. 215 с.
3. Fábregas J., Domínguez A., Regueiro M., Maseda A., Otero A. Optimization of culture medium for the continuous cultivation of the microalga *Haematococcus pluvialis* // Applied Microbiology Biotechnology. 2000. Vol. 53. P. 530–535. https://doi.org/10.1007/s002530051652
4. Bischoff H. W., Bold H. C. Some soil algae from enchanted rock and related algal species. Austin, Tex. : University of Texas, 1963. 95 p. (Texas University. Phycological Studies, no. IV).

БИОФИЗИКА И ХИМИЯ МОРЯ

ОСОБЕННОСТИ АУТИГЕННОГО СУЛЬФИДНОГО МИНЕРАЛООБРАЗОВАНИЯ В ОСАДКАХ ВЬЕТНАМСКОГО ШЕЛЬФА

Калгин В. Ю., Якимов Т. С., Обжиров А. И.

Тихоокеанский океанологический институт ДВО РАН, г. Владивосток

Ключевые слова: донные отложения, пирит, Южно-Китайское море, сульфатредуцирующие бактерии

Одним из уникальных материалов для изучения минеральных ассоциаций, в которых одновременно могут присутствовать соединения серы разной валентности являются донные отложения.

Сера, является реакционноспособным элементом, в зависимости от условий среды может образовывать соединения с различным уровнем восстановленности (от +6 до -2) и, поэтому наряду с железом и марганцем может считаться своеобразным индикатором окислительно-восстановительных процессов, протекающие в водных экосистемах. При этом важно отметить, что в ряду окислительно-востановительных превращений серы появляется сероводород (и также его производные), что свидетельствует о наиболее восстановительной обстановке [1].

Целью работы является изучить особенности генезиса и распространения сульфидных аутигенных минералов в четвертичных отложениях привьетнамского континентального шельфа и склона. Провести сравнительную характеристику аутигенных сульфидных минералов в осадочных бассейнах Южно-Китайского моря.

Материал был получен в ходе комплексной совместной Российско-Вьетнамской геолого-геофизической и океанографической экспедиции в Южно-Китайском море 88-го рейса НИС «Академик М.А. Лаврентьев» (25.10.2019–08.12.2019 г.). Организаторами морской экспедиции являются Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН и Институт морской геологии и геофизики, ВАНТ. Экспедиция в 88 рейсе НИС «Академик М.А. Лаврентьев» входит в состав серии экспедиций в соответствии Десятилетием ООН, посвященным изучению Мирового океана в интересах устойчивого развития. Работы были выполнены в осадочном бассейне Красной реки (Шонг Хонг), бассейне Фу Хань и в бассейн Нам Кон Сон.

В ходе работы были применены методы оптических исследований, изотопных исследований серы в минералах, рентгеноструктурный и вещественный состав с помощью масс-спектрометрии, а также газогеохимический метод.

В ходе литологических исследований донных отложений Южно-Китайского моря были обнаружены сульфидные конкреции. Станции обнаруженных минералов находились на глубине от 72 до 2400 м. Агрегаты были обнаружены как в окисленном от 0 см до 30–50 см от поверхности дна, так и восстановленном слое от 30–50 см до 4 м на разных глубинах моря. Интенсивное проявление зафиксированы в бассейне Фу Хань, в меньшем количестве Нам Кон Сон и в осадочном бассейне Красной реки. По вещественному составу, а также рентгеноструктурному анализу все изученные образцы биогенного и абиогенного происхождения представлены пиритом.

Макроскопические аутигенные сульфиды представлены 3 видами: сферическими глобулами и их сростками, сульфиды, заполняющие раковины фораминиферов и в виде удлинённых агрегатов. При увеличении от 25 мкм поверхности агрегатов сложена фрамбоидами с хорошо огранёнными октаэдрическими кристаллами пирита. На станции LV88-20/1GC удлинённые агрегаты достигают до 5 см в длину. Часто трубчатые стяжения имеют внутреннюю полость, что дает возможность предположить о движении жидкости или газа внутри них. Подобное явление можно объяснить хемихнии (хемосимбиоз). Изучение современной донной фауны показало, что осадки, богатые сероводородом или метаном, могут поддерживать жизнь сульфатредуцирующим бактериям, метаболические свойства которых делают пригодными для дыхания эти ядовитые соединения. Следы хемосимбиоза являются таким образом подводными каналами названных газов и своеобразными «сосудами для культивации бактерий» [2].

Для ряда станций был выполнены изотопные исследования серы в пирите, в основном изотопные метки указывают на биогенное происхождение. Ранее уже были получены положительные изотопные соотношения в Южно-Китайском море. Так на станции 8388 сульфидная конкреция была отобрана в районе современного проявления подводного вулканизма, представляющее собой в структурном плане фрагмент одной из зон сочленения северо-восточных и субмеридиональных структур [3]. В нашем случае на станции LV88-32GC изотопный состав пирита ($\delta^{34}S$= + 1,1) подтверждает его абиогенное происхождение. Станция расположена в близи зафиксированного пункта теплового потока, где поток составляет 80–100 мВт·м$^{-2}$ [4]. Также, на тяжелый изотопный состав могло повлиять близкое расположение тектонических разломов.

При наличие сульфидных конкреций в колонке керна наблюдается уменьшение концентрации метана. Так для станций LV88-20/1GC и LV88-32GC по всей длине керна станции наблюдаются незначительные изменения концентрации метана в осадке от 250 нМ·кг$^{-1}$ до 520 нМ·кг$^{-1}$.

В связи с этим, из полученных результатов следует, что локализация большей части сульфидной минерализации по колонке приходится на восстановленный слой. Генезис сульфидных образований в осадочном бассейне Фу Хань происходит как биогенным, так и абиогенным путем. Сульфидные конкреции трубчатой формы имеют биогенное происхождение за счет хемосимбиоза сульфатредуцирующих бактерий и двустворчатых моллюсков. Крайне малое содержание по колонки керна метана возможно объясняется анаэробным окисление его метаноокисляющими бактериями и создании питательной среды для сульфатредуцирующих бактерий.

Работа выполнена при поддержке гос. Задания темы № 0211-2021-0006 (Регистрационный номер:121021500055-0).

Список литературы

1. Волков И. И. Геохимия серы в осадках океана. Москва : Наука, 1984. 272 с.
2. Микулаш Р., Дронов А. Палеоихнология: введение в изучение ископаемых следов жизнедеятельности / Геологический ин-т акад. наук Чешской Респ. Прага : Геологический ин-т АНЧР, 2006. 122 с.
3. Астахова Н. В. Аутигенные образования в позднекайнозойских отложениях окраиных морей Востока Азии. Владивосток : Дальнаука, 2007. 244 с.
4. Pollak H. N., Hurter S. J., Johnson J. R. The new global heat flow compilation. Department of Geological Sciences, University of Michigan, U.S.A., 1991.

КОМПЬЮТЕРНЫЙ ДИЗАЙН ИНГИБИТОРОВ ВОДОРОСЛЕВЫХ КАРБОАНГИДРАЗ

Кондратьев М. С.[1], Терентьев В. В.[2], Шитов А. В.[2]

[1]Институт биофизики клетки РАН, Пущино
[2]Институт фундаментальных проблем биологии РАН, Пущино

Ключевые слова: карбоангидразы, водоросли, ингибиторы, лиганды, квантовая химия, докинг

«Цветение» воды – т.е. массовое размножение и резкое увеличение общей биомассы водорослей является существенной проблемой как многих открытых водоемов, так и искусственных систем хранения технической воды. Для борьбы с этим явлением разумно применять селективные ингибиторы, безвредные для позвоночных животных, но подавляющие активность фотосинтезирующих микроорганизмов. Одной из наиболее уязвимых систем у них являются ферменты карбоангидразы, принимающие участие в образовании углеводов при фотосинтезе – например, белок Cah3 [1], который был выбран нами в качестве модельной системы для поиска эффективных ингибиторов карбоангидраз.

В данной работе при помощи современных методов вычислительной биофизики (квантово-химические расчеты PM7, гибкий докинг, компьютерный анализ топологии комплексов «лиганд+рецептор» [2, 3]) проанализированы особенности некоторых структурных и термодинамических параметров молекул ингибиторов карбоангидразы Cah3 из *Chlamydomonas reinhardtii.*

Выполненные нами квантово-химические расчеты позволили исследовать конформационную лабильность ряда веществ-кандидатов, молекул на основе сурьмы. Эти симметричные соединения с двумя бензольными кольцами, а также с галогеновыми заместителями [4], являются такими же эффективными ингибиторами изучаемого фермента, как и классические соединения: ацетазоламид, этоксизоламид, ТФМСА. Для галогеновых производных нами показано уменьшение термодинамической стабильности таких молекул в ряду F–Cl–Br–I, а также отмечена важная стабилизирующая роль водородных связей между N–H и бензольными кольцами.

При помощи методов гибкого докинга нами изучен механизм взаимодействия ряда ингибиторов с аминокислотными остатками, формирующими активный центр карбоангидразы Cah3.

Работа выполнена в инициативном порядке при поддержке ООО «Биодизайн».

Литература:

1. Benlloch R., Shevela D., Hainzl T., Grundström C., Shutova T., Messinger J., Samuelsson G., Sauer-Eriksson A. E. Crystal structure and functional characterization of photosystem II-associated carbonic anhydrase CAH3 in Chlamydomonas reinhardtii // Plant Physiology. 2015. Vol. 167, iss. 3. P. 950–962. https://doi.org/10.1104/pp.114.253591
2. Laskowski R. A., Swindells M. B. LigPlot+: multiple ligand-protein interaction diagrams for drug discovery // Journal of Chemical Information and Modeling. 2011. Vol. 51, iss. 10. P. 2778–2786. https://doi.org/10.1021/ci200227u
3.Adasme M. E, Linnemann K. E., Bolz S. N., Kaiser F., Salentin S., Haupt V. J., Schroeder M. PLIP 2021: expanding the scope of the protein–ligand interaction profiler to

DNA and RNA // Nucleic Acids Research. 2021. Vol. 49, iss. W1. P. W530–W534. https://doi.org/10.1093/nar/gkab294
4.Karacan M. S., Zharmukhamedov S. K., Mamaş S., Kupriyanova E. V., Shitov A. V., Klimov V. V., Özbek N., Özmen Ü., Gündüzalp A., Schmitt F. J., Karacan N., Friedrich T., Los D. A., Carpentier R., Allakhverdiev S. I. Screening of novel chemical compounds as possible inhibitors of carbonic anhydrase and photosynthetic activity of photosystem II // Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology. 2014. Vol. 137. P. 156–167. https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2013.12.002

НАКОПИТЕЛЬНАЯ СПОСОБНОСТЬ ГИДРОБИОНТОВ СЕВАСТОПОЛЬСКОЙ БУХТЫ В ОТНОШЕНИИ РАДИОИЗОТОПОВ ПЛУТОНИЯ

Параскив А. А.[1], Терещенко Н. Н.[1], Проскурнин В. Ю.[1], Чужикова-Проскурнина О. Д.[1], Трапезников А. В.[2], Платаев А. П.[2]

[1]ФИЦ «Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН», г. Севастополь

[2]Институт экологии растений и животных УрО РАН, г. Екатеринбург

Ключевые слова: радиоизотопы плутония, гидробионты, Севастопольская бухта, коэффициенты накопления

Техногенные радиоизотопы плутония в результате использования человеком ядерных технологий в военных и мирных целях поступили в природные экосистемы, включая моря и океаны. С одной стороны, радиоизотопы плутония альфа-излучающие радиоактивные вещества, с другой стороны, по химической природе плутоний – тяжелый металл. В обоих случаях это высокотоксичное вещество, которое при превышении допустимых уровней будет оказывать негативное влияние на экологическое состояние вод и жизнедеятельность гидробионтов. Радиоизотопы плутония ^{239}Pu и ^{240}Pu имеют большие периоды полураспада (24400 лет и 6620 лет, соответственно) поэтому сохраняются в экосистемах долгое время и их количество от инцидента к инциденту накапливается. Попадая в водные экосистемы, радиоизотопы плутония, как правило, не выводятся из них, а преимущественно перераспределяются в компонентах экосистемы, в том числе накапливаются гидробионтами [1].

Использование радиоизотопов плутония в ядерных технологиях продолжается, и вероятность поступления плутония в окружающую среду и в живые организмы сохраняется. Поэтому важно изучать перераспределение изотопов плутония между водой и гидробионтами, оценивать их накопительную способность, чтобы отслеживать и научно-обоснованно управлять экологической ситуацией в акваториях, прогнозировать ее, тем самым обеспечивать не только защиту биоты от возможного негативного техногенного влияния, но также и безопасное рациональное использование ресурсов водных экосистем для нужд человека.

Согласно рекомендательным документам Росгидромета, представительными объектами морских экосистем в рамках оценки радиационно-экологического воздействия на объекты природной среды, являются рыбы, моллюски и макроводоросли, так называемые, референтные виды [2]. В связи в этим, целью работы было проведение количественной оценки концентрирующей способности представителей рекомендованных групп гидробионтов из Севастопольской бухты в отношении антропогенных радиоизотопов плутония ^{239,240}Pu.

Исследования проводили в Севастопольской бухте – прибрежной полузакрытой акватории Черного моря. Осуществляли отбор проб воды (объемом 1000 л) на двух станциях в Севастопольской бухте, а также на одной станции за пределами ее акватории: на внешнем рейде. Также проводился отбор проб референтных видов гидробионтов: два вида рыб: *Spicara maena* (Linnaeus, 1758), *Scorpaena porcus* (Linnaeus, 1758), двустворчатого моллюска – *Mytilus galloprovincialis* (Lamarck, 1819) и бурой макроводоросли – *Cystoseira barbata* (C. Agardh, 1820). Радиохимическая обработка проб выполнялась по стандартным методикам [1].

Результаты исследований свидетельствуют, что объемная активность $^{239+240}$Pu в воде Севастопольской бухты лежала в пределах от 1,08±0,09 до 1,54±0,17 мБк·м$^{-3}$. При этом на внешнем рейде бухты объемная активность $^{239+240}$Pu в воде составляла близкие величины к таковым в бухте и равнялась 1,1±0,21 мБк·м$^{-3}$.

Среди исследованных видов гидробионтов наименьшие значения удельной активности $^{239+240}$Pu определены для представителей донных рыб – морского ерша *S. porcus* – 0,97±0,35 мБк·кг$^{-1}$ сырой массы. Определение $^{239+240}$Pu в скелете и мышцах ерша показало, что более 60% плутония содержалось в скелете исследованных рыб. Эти результаты аналогичны данным, полученным в исследованиях выполненным ранее на черноморских рыбах. Тогда было показано, что 60-80% плутония накапливается в основном в органах желудочно-кишечного тракта и костях рыб [1]. В представителях пелагических рыб – спикаре *S. moena* удельная активность $^{239+240}$Pu составляла 1,11±0,28 мБк·кг$^{-1}$ сырой массы.

Многолетние бурые водоросли рода *Cystoseira* – это самые крупные водоросли в Черном море, образуют обширные подводные заросли и являются массовым видом в макрофитобентосе Севастопольской бухты [3]. Результаты определения содержания $^{239+240}$Pu в особях *Cystoseira barbata* показали, что удельная активность в цистозире изменялась от 1,33±0,13 до 3,12±0,39 мБк·кг$^{-1}$ сырой массы.

Ранее проведенные исследования показали, что в мидиях *M. galloprovincialis* более 90% $^{239+240}$Pu концентрируется в раковинах [1], поэтому именно раковины мидий были объектом наших исследований. По данным исследований удельной активности $^{239+240}$Pu в раковинах *M. galloprovincialis* величины удельной активности $^{239+240}$Pu находились в диапазоне 0,52±0,26–13,07±1,99 мБк·кг$^{-1}$ сырой массы. При этом для раковин самок мидий характерны несколько более высокие средние значения удельной активности $^{239+240}$Pu – 6,24±2,53, по сравнению с удельной активностью $^{239+240}$Pu в раковинах самцов – 4,10±1,75 мБк·кг$^{-1}$ сырой массы.

На основе результатов о количественном содержании радиоизотопов $^{239+240}$Pu в воде и референтных видах гидробионтов Севастопольской бухты выполнена оценка их накопительной способности в отношении $^{239+240}$Pu посредством расчета коэффициентов накопления плутония $К_н$($^{239+240}$Pu). Установлено, что гидробионты Севастопольской бухты можно расположить в ряд в порядке возрастания $К_н$($^{239+240}$Pu): рыбы ($n \times 10^2$) – двустворчатые моллюски ($n \times 10^2$–$n \times 10^3$) – бурые водоросли ($n \times 10^3$).

Таким образом, в результате проведенных исследований в Севастопольской бухте определены современные уровни удельной активности долгоживущих антропогенных радиоизотопов $^{239+240}$Pu в воде и в референтных видах – представителях трех рекомендованных групп гидробионтов. Концентрирующая способность изученных гидробионтов в отношении плутония достаточно высока, о чем свидетельствуют величины $К_н$($^{239+240}$Pu), которые составляли $n \times 10^2$–$n \times 10^3$. Установлено, что концентрирующая способность гидробионтов Севастопольской бухты возрастает в ряду: рыбы – двустворчатые моллюски – бурые водоросли.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-35-90041 (Аспиранты).

Список литературы:

1. Терещенко Н. Н. Плутоний в гидробионтах Чёрного моря. Наукові праці: науково-методичний журнал. Техногенна безпека. 2013. Т. 210, № 198. С. 52–60.
2. Рекомендации Р52.18.820-2015. Оценка радиационно-экологического воздействия на объекты природной среды по данным мониторинга радиационной обстановки. – Утверждены Росгидрометом Минприроды России 17.04.2015. – 64 с.
3. Современное состояние биоразнообразия прибрежных вод Крыма (Черноморский сектор) / Под ред. В. Н. Еремеева, А. В. Гаевской; НАН Украины, Институт биологии южных морей. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2003. – 511 с.

МОРСКАЯ ЭКОТОКСИКОЛОГИЯ. ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОДНОЙ СРЕДЫ

ВЛИЯНИЕ ИОНОВ ЦИНКА НА *TRICHOPLAX SP.* H2

Вайнер В. И.[1], Волкова Ю. М.[1], Бобко Н. И.[2], Кузнецов А. В.[2]

[1]Севастопольский государственный университет, г. Севастополь
[2]ФИЦ «Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского РАН», г. Севастополь

Ключевые слова: ионы цинка, Trichoplax sp. H2, кадгерин, клеточная адгезия

Трихоплакс (тип Placosoa) это простейший многоклеточный организм, имеющий размер до 1 мм и состоящий примерно из 50 тысяч клеток, которые образуют 3 слоя [1]. Перемещение животного осуществляется засчёт движения ресничек и изгибания тела [2]. Считается, что целостность организма поддерживается за счёт Ca^{2+}-мостиков, т. к. трихоплакс разрушается при его переносе в дистиллированную воду.

Цель данного исследования состояла в том, чтобы изучить адгезию между клетками трихоплакса, нарушая её с помощью ионов Zn^{2+}.

Trichoplax sp. H2 культивировали в стеклянных чашках Петри диаметром 90 см на матах одноклеточной зелёной водоросли *Tetraselmis marina.* Чашки Петри с животными находились в помещении с постоянной температурой t=25°C. Животных пересевали на свежий мат каждые три недели, а морскую воду (ASW) с солёностью 35‰ меняли каждую неделю.

Для каждого опыта отбирали не менее 15 особей *Trichoplax* sp. H2. Всего было использовано более 228 животных. За 30-45 мин до начала эксперимента трихоплаксов пересаживали в пластиковые чашки Петри с ASW без водорослей для адаптации. К особям, которые находились в 50 мл ASW, добавляли от 10 до 25 мкМ ионов Zn^{2+} и изучали животных в течение разных промежутков времени длительностью до суток. Исследование проводилось под световыми микроскопами, оборудованными цифровыми камерами, при увеличениях от 40 до 400 раз.

Инкубация трихоплаксов в присутствии 20 мкМ ионов Zn^{2+} приводила к изменению формы и структуры пластинки, что проявлялось в утолщении её центра, сворачивании краёв пластинки, а также в диссоциации животного на несколько частей или на отдельные клетки. При повышении концентрации ионов цинка с 10 до 25 мкМ увеличивалось количество особей, которые разрушались в течение суток (с 0 до более, чем 15 %). Так при добавлении 25 мкМ ионов Zn^{2+} в среду, края трихоплаксов становились неровными, а центр утолщался. Через 2-4 часа инкубации животные переставали перемещаться. Это обусловлено тем, что клетки трихоплакса двигались хаотично и независимо друг от друга, поэтому даже при активном движении клеток, трихоплакс оставался на одном месте и не перемещался в пространстве. По истечении 3-6 часов, тело животного начинало распадаться на отдельные клетки.

Известно, что ионы Zn^{2+} взаимодействуют с ионами Ca^{2+} при адсорбции [3]. Внутри живой клетки металлы конкурируют за места связывания с белками согласно ряду устойчивости комплексов Ирвинга-Вильямса: $Mg^{2+}/Ca^{2+} < Mn^{2+} < Fe^{2+} < Co^{2+} < Ni^{2+} < Cu^{2+} \sim Zn^{2+}$ [4]. В данном эксперименте конкурирующими ионами являются ионы цинка и кальция. Так анализ связывания ионов Ca^{2+} и Zn^{2+} с кадгерином трихоплакса методом молекулярного моделирования показал, что 54%

аминокислотных остатков, с которыми связываются ионы Ca^{2+} и Zn^{2+} совпадают. Это значит, что Zn^{2+} способен замещать Ca^{2+} в этих участках, а так как кадгерины - это кальций-зависимые белки, то при связывании с ними ионов цинка, они не могут взаимодействовать друг с другом и контакт между клетками нарушается.

Таким образом, в результате экспериментального воздействия, клетки трихоплакса стали двигаться дискоординированно и независимо друг от друга, а позднее, тело животного диссоциировало на отдельные клетки. Можно заключить, что белок клеточной адгезии трихоплакса кадгерин не способен осуществлять межклеточную связь в присутствии конкурирующих ионов Zn^{2+}, которые разрушают Ca^{2+}-мостики.

Работа выполнена согласно совместному проекту МАНа, ИНБЮМ, СевГУ и Сириус "Трихоплакс для бионики".

Список литературы

1. Smith C. L., Varoqueaux F., Kittelmann M., Azzam R. N., Cooper B., Winters C. A., Eitel M., Fasshauer D., Reese T. S. Novel cell types, neurosecretory cells, and body plan of the early-diverging metazoan Trichoplax adhaerens // Current Biology. 2014. Vol. 24, iss.14. P. 1565–1572. https://doi.org/10.1016/j.cub.2014.05.046
2. Armon S., Bull M. S., Aranda-Diaz A., Prakash M. Ultrafast epithelial contractions provide insights into contraction speed limits and tissue integrity // PNAS. 2018. Vol. 115, no. 44. P. E10333–E10341. https://doi.org/10.1073/pnas.1802934115
3. Zachara J. M., Kittrick J. A., Harsh J. B. The mechanism of Zn^{2+} adsorption on calcite // Geochimica et Cosmochimica Acta. 1988. Vol. 52, iss. 9. P. 2281–2291. https://doi.org/10.1016/0016-7037(88)90130-5
4. Rosenzweig A.C. Metallochaperones: bind and deliver // Chemistry & Biology. 2002. Vol. 9, iss. 6. P. 673–677. https://doi.org/10.1016/s1074-5521(02)00156-4

ХЛОРОРГАНИЧЕСКИЕ ПЕСТИЦИДЫ И ПОЛИХЛОРИРОВАННЫЕ БИФЕНИЛЫ В ОРГАНАХ КИТООБРАЗНЫХ ЧЕРНОГО МОРЯ

Лобко В. В.[1], Логоминова И. В.[2], Малахова Л. В.[1]

[1]ФИЦ «Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН», г. Севастополь

[2]Карадагская научная станция им. Т.И.Вяземского – природный заповедник РАН, пгт. Курортное

Ключевые слова: ПХБ, ДДТ, Delphinus delphis ponticus, Phocoena phocoena relicta, Tursiops truncatus ponticus, Черное море

Хлорорганические пестициды (ХОП) дихлордифенилтрихлорэтан (ДДТ), его метаболиты и полихлорированные бифенилы (ПХБ) относятся к группе синтетических органических веществ – хлорорганических соединений (ХОС), представляющих серьезную угрозу для окружающей среды и человека. Данные вещества признаны приоритетными загрязнителями во всех Международных конвенциях о защите морской среды. Они способны накапливаться в тканях водных организмов и мигрировать по сложным биологическим и пищевым цепям. Поступая в организмы человека и животных, ХОП и ПХБ вызывают острые и хронические отравления, изменение иммунологической реактивности, заболевания сердечно-сосудистой и нервной систем, оказывают отрицательное воздействие на гормональные процессы и репродуктивную функцию, способствуют возникновению злокачественных новообразований и наследственных болезней, уродств развития в эмбриональном и постнатальном периодах, повышают восприимчивость млекопитающих к инфекционным болезням.

В Крыму ежегодно регистрируют значительное количество выбросов морских млекопитающих. Находят все 3 вида китообразных, обитающих в Черном море. Выброшенные особи имеют различную половую принадлежность, физиологическое состояние и возраст. О загрязненности ХОС млекопитающих Черного моря первая информация появилась еще в начале 1990-х годов. В работе [Birkun и др., 1992] сообщалось о чрезвычайно высокой концентрации ДДТ в подкожном жире трех видов черноморских китообразных, которая в сумме с концентрацией метаболитов ДДЭ и ДДД изменялась в диапазоне от 26,74 до 101,18 ppm. С того времени вышло не более десяти публикаций, посвященных загрязненности ХОС черноморских китообразных, в основном в них были представлены данные о концентрациях ХОС в ворвани.

Целью данной работы являлось определение содержания ХОС в печени, кишечнике, мышцах и ворвани черноморских китообразных, выброшенных на крымское побережье в 2020 г.

Материалы для исследования дельфинов получены в 2020 г. Был определен вид особей, пол и возраст (по возможности). До начала анализа все образцы органов замораживали и хранили при -20°С.

Газохроматографическим методом в пробах определяли п,п’-ДДТ (далее ДДТ) и его метаболиты п,п’-ДДЭ (ДДЭ) и п,п’-ДДД (ДДД) и шесть индикаторных конгенеров ПХБ (по нумерации IUPAC): трихлорбифенил №28, тетра-52, пента-101, гекса-138 и 153, гепта-180, рекомендованных Международным советом по изучению моря для мониторинга загрязненности морских экосистем. Полученные результаты выражены в нг/г сырой массы. Ошибка определения ХОС не превышала 20%.

Всего было проанализирована 21 проба органов 12 особей из различных районов выбросов вдоль Крымского побережья: семь самцов и две самки белобочка *Delphinus delphis ponticus* Barabash–Nikiforov, 1935, самец и самка азовка *Phocoena phocoena relicta* Abel, 1905, и самец афалины *Tursiops truncatus ponticus* Barabasch, 1940.

Результаты показали, что во всех пробах обнаружены исследуемые поллютанты. Распределение их в органах отличалось значительной неоднородностью. Диапазон значений концентраций отличался на 3 порядка значений и составлял для ΣПХБ от 4 до 6331 нг/г, а для ΣДДТ от 12 до 25799 нг/г. Уровень концентраций ΣПХБ и ΣДДТ уменьшался в ряду органов ворвань>печень>кишечник>мышцы. Содержание во всех органах ΣДДТ превышало ΣПХБ в среднем в 4 раза.

Из всех образцов печени и кишечника наиболее загрязненными в отношении ХОС были у двух(трех)–летнего самца белобочки, выброшенного в районе мыса Меганом. Концентрации ΣДДТ составляли 13615 и 3970, ΣПХБ - 5101 и 6331 нг/г соответственно. Данная особь выглядела очень истощенной, поскольку дельфин не мог питаться полноценно из-за застрявшего пластикового объекта в челюсти. В случае потери подкожного жира все ХОС, накопленные в ворвани, активно вовлекаются в обменные процессы и могут вызвать отравление организма животного, что, возможно, послужило причиной его гибели.

Ворвань и мышцы с максимальной концентрацией ΣДДТ, составившей 25799 и 3004 нг/г соответственно, зафиксированы у самца белобочки, выброшенного в районе п. Прибрежное, а содержание ΣПХБ в мышцах у данной особи составила 596 нг/г, что является максимальным значением среди всех образцов данного органа.

В группе соединений ПХБ процентное соотношение концентрации конгенеров

28,52,101,138,180 составляет <1:25:3:28:32:11 соответственно. Большая часть от суммы всех ПХБ приходится на более высокохлорированные это, по-видимому, связано с тем, что низкохлорированные ПХБ более интенсивно подвергаются метаболизму, и могут выводиться мочевыделительной системой из организма, что затруднено для первых.

В сумме триады ДДТ преобладающим метаболитом являлся ДДЭ (67%). Связано это может как с длительным периодом присутствия ДДТ в тканях особей, за которое поступивший ДДТ метаболизировал, так и с поступлением ДДЭ с пищей с таким соотношением данных соединений.

Полученные данные дают возможность увидеть, что несмотря на запрет использования ХОС в 1970-х г., ввиду их опасности для окружающей среды, в современный период данные поллютанты продолжают попадать в организмы млекопитающих и накапливаться в их органах. Это говорит о том, что необходим дальнейший мониторинг загрязнения ХОС китообразных, а также изучение механизмов накопления, выведения и отклик морских животных на накопление в их органах данных поллютантов.

Работа выполнена в рамках госзадания темы № 121031500515-8 ИнБЮМ «Молисмологические и биогеохимические основы гомеостаза морских экосистем» и № 121032300019-0 филиала ФГБУ ИнБЮМ Карадагской научной станции им. Т.И.Вяземского – природный заповедник РАН «Изучение фундаментальных физических, физиологических и биохимических, репродуктивных, популяционных поведенческих характеристик морских гидробионтов».

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ МИКРОПЛАСТИКОМ ВОДНОЙ СРЕДЫ НЕВСКОЙ ГУБЫ ФИНСКОГО ЗАЛИВА

Логинова Н. В., Макеева И. Н., Ершова А. А.

Российский государственный гидрометеорологический университет (РГГМУ), г. Санкт-Петербург

Ключевые слова: микропластик, загрязнение водной среды, Невская губа

Пластиковый мусор, попавший в водную среду, постепенно разрушается, образуя пластиковые -мезо, -микро и наночастицы, которые накапливаясь в организме животных, представляют для них серьезную угрозу. Частицы микропластика адсорбируют на своей поверхности многие загрязняющие вещества, а затем концентрируются в более больших количествах в высших хищниках и в организме человека [1].

Проблема загрязненности микропластиком водной среды малоизучена, для ее решения необходимо создание единой методики мониторинга и базы данных наблюдений. Этот процесс ведется в регионе Балтийского моря странами-участницами Хельсинкской конвенции (ХЕЛКОМ) в рамках Плана действий по морскому мусору [2], в том числе и Российской Федерацией в рамках научных исследований нескольких научных групп, одной из них является группа РГГМУ [3].

Объектом данного исследования является Невская губа - уникальный водный объект, который представляет собой замкнутый залив, ограниченный Комплексом защитных сооружений (КЗС), и одновременно служит эстуарием реки Нева – крупнейшей реки Северо-Запада РФ.

Исследование водной среды Невской губы проводилось 14–15 августа 2020 года в прибрежной зоне в черте города Санкт-Петербург. В качестве точек отбора были выбраны 11 пляжей на побережье Финского залива с различной антропогенной нагрузкой, а именно: пляж Жемчужный, парк Александрия, Ораниенбаум, Большая Ижора, Северный и Южный пляжи в городе Кронштадт, Приморская, парк Трехсотлетия, Лахта, Лисий нос и Тарховка. Выбор представленных станций отбора проб обусловлен различием рекреационной нагрузки пляжей, влиянием КЗС и стока Невы, как наиболее полноводной реки, впадающей в Невскую губу, на распространение и седиментацию микропастика.

Отбор проб воды на наличие микропластика в поверхностном слое осуществлялся при помощи специальной фильтровальной установки, разработанной в РГГМУ, которая состоит из: аккумулятора, погружного насоса, шланга, счетчика воды и фильтровальной насадки с металлической сеткой (размер ячейки 100 мкм). Пробы отбирались на глубине не меньше 0,5 м. Объем воды, пропущенный через фильтровальную установку, должен быть одинаков для всех проб, обычно он равен 100 л. Отбор проб в береговой зоне проводился в летний период в штилевую ясную погоду, т.к. недопустимо проводить отбор во время штормов, значительных сгонно-нагонных явлений, во избежание высокого содержания взвешенных веществ (песок и органика) в пробе и засорения фильтровальной установки. Необходимо выполнять контроль загрязнения проб во время их отбора: надевать соответствующую одежду (яркого цвета, одинаковую) для минимального загрязнения пробы волокнами и более легкого определения волокон в пробе при лабораторном анализе.

Далее следует лабораторный анализ проб, который включает в себя: просеивание взвеси, сушку, термохимическую обработку, промывку и просушку пробы, визуальное определение и подсчет частиц при помощи микроскопа, проверка частиц методом «горячей иглы» на принадлежность к полимерным материалам. Частицы разделялись по цвету, размеру, а также на два класса по форме: нитевидные и неопределенной формы.

Наибольшая концентрация частиц была зафиксирована в точке отбора «Приморская» в центре города С.-Петербург и составила 1,3 частиц на литр воды. Такая высокая концентрация частиц видимо объясняется влиянием стока реки Невы, в дельте которой располагается Центральная станция аэрации, осуществляющая сброс сточных вод. Также высокая концентрация частиц связана со значительной антропогенной нагрузкой, поскольку пляж находится в непосредственной близости от района жилой застройки и морского порта Санкт-Петербурга. В точках отбора «Лисий нос» (0,82 частиц на 1 л воды) и «Лахта» (0,76 частиц на 1 л воды) концентрация микропластиковых частиц также высока; точки располагаются неподалеку от выпусков сточных вод Северной станции аэрации, и здесь также отмечается высокая рекреационная нагрузка на пляжи и наблюдается высокое количество мусора.

Наименьшие концентрации микропластика в воде отмечаются в Кронштадте на Северном (0,38 частиц на 1 л воды) и Южном пляже (0,37 частиц на 1 л воды), а также на пляже «Жемчужный» (0,33 частиц на 1 л воды) и в парке Александрия (0,38 частиц на 1 л воды). Эти точки отбора удалены от мест сброса сточных вод и все, кроме пляжа Жемчужный, являются охраняемыми территориями, где проводится регулярная уборка пляжей муниципальными службами.

По форме частиц микропластика во всех пробах преобладают нитевидные синтетические микроволокна размером 130-3500 мкм. Нитевидные пластиковые волокна образуются за счет отслоения синтетических волокон при стирке одежды и могут попадать в водную среду с обработанными городскими сточными водами, также источником загрязнения нитевидными волокнами являются рыболовные лески и сети.

Анализ полученных данных свидетельствует о загрязненности водной среды Невской губы микропластиком. При этом вероятно основными источниками загрязняющими источниками являются сброс сточных вод очистных сооружений и высокий показатель населенности мест, в которых проводился отбор проб.

Список литературы

1. Зобков М. Б., Е. Е. Есюкова Микропластик в морской среде: Обзор методов отбора, подготовки и анализа проб воды, донных отложений и береговых наносов // Океанология. 2018. Т. 58, вып. 1. С. 149–157. https://doi.org/10.7868/S0030157418010148
2. Regional Action Plan for Marine Litter in the Baltic Sea. HELCOM, 2015.
3. Ershova A. A., Eremina T. R., Chubarenko I. P., Esiukova E. E. Marine litter in the Russian gulf of Finland and south-East Baltic: application of different methods of beach sand sampling // The Handbook of Environmental Chemistry. Berlin ; Heidelberg : Springer, 2021. P. 1–25.

ХЛОРОРГАНИЧЕСКИЕ ПЕСТИЦИДЫ В МАЛОГЛАЗОМ МАКРУРУСЕ (*ALBATROSSIA PECTORALIS*) ИЗ БЕРИНГОВА МОРЯ

Метревели В. Е., Миронова Е. К., Донец М. М., Боярова М. Д., Цыганков В. Ю.

ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», г. Владивосток

Ключевые слова: Albatrossia pectoralis, малоглазый макрурус, хлорорганические пестициды, ДДТ, ГХЦГ, поллютанты, Берингово море

Хлорорганические пестициды (ХОП) являются одной из наиболее токсичных групп стойких органических загрязняющих веществ (СОЗ). Они характеризуются высокой стабильностью в окружающей среде, способностью к биомагнификации и могут наносить серьезный вред организму человека. ХОП включают в себя изомеры гексахлорциклогексана (ГХЦГ), дихлордифенилтрихлорэтана (ДДТ) и его метаболитов (ДДД, ДДЕ). Эти соединения широко использовались с 1950-х годов для борьбы с малярией и другими опасными заболеваниями. Однако в 2001 году была подписана Стокгольмская конвенция, нацеленная на сокращение использования и последующую полную ликвидацию 12 особо токсичных соединений («грязная дюжина»), в число которых вошли и ХОП. Морские экосистемы часто становятся конечным «депо» всех СОЗ [1]. Из-за большого сродства к липидам эти соединения могут накапливаться в тканях морских организмов, в частности – промысловых рыб, что создает опасность для устойчивости экосистем и здоровья человека.

Среди промысловых видов выделяется малоглазый макрурус (*Albatrossia pectoralis)* – наиболее многочисленный обитатель материкового склона северо-западной части Тихого океана. Этот вид рыб в прошлом не имел большого промыслового значения из-за сильной обводненности мяса (92,7 %), однако на данный момент ведется его активный промысел. Мясо малоглазого макруруса считается диетическим, а наибольшую ценность представляют печень и икра.

Цель работы – анализ хлорорганических пестицидов в малоглазом макрурусе (*Albatrossia pectoralis)* из Берингова моря.

Исследовались мышечная ткань, печень и гонады рыб, выловленных в Беринговом море в летне-осенний период в 2020 г на наличие изомеров ГХЦГ (α-, β-

, γ-, -ГХЦГ) и метаболитов ДДТ (*o,p’*-ДДТ, *p,p’*-ДДТ, *o,p’*-ДДД, *p,p’*-ДДД, *o,p’*-ДДЕ, *p,p’*-ДДЕ). Определение проводилось при помощи газового хроматомасс-спектрометра Shimadzu GC MS-QP 2010 Ultra. Использовалась стандартная методика пробоподготовки [2].

Концентрации ΣХОП в мышцах, печени и гонадах варьировали от 8,7 до 1608 (при среднем значении 160±292), от 11 до 4091 (187,6±766) и от 20 до 526,6 (157,6±1423) нг·г$^{-1}$ липидов, соответственно. Уровни ∑ГХЦГ и ∑ДДТ в мышцах обнаружены в диапазонах 6–329(77,5±65,7) и 10,2–1279,4 (185,2±332,1), в печени – 0,3–43,2 (3,7±8) и 10,1–4048 (184±758,1), в гонадах – 11,3–355,4 (128,5±117,1) и 6,5–1889 (50,5±48,5) нг·г$^{-1}$ липидов. Во всех пробах обнаружены изомеры ГХЦГ. Наиболее часто встречающаяся форма в печени и гонадах β-ГХЦГ, что указывает на давность загрязнения. Однако, присутствие в мышцах – γ-ГХЦГ говорит о продолжающемся поступлении этого соединения в экосистему. Из метаболитов ДДТ доминировали *o,p’*-ДДЕ и *p,p’*-ДДЕ, что говорит о давнем поступлении изначального ДДТ в экосистему и его последующей деградации. В связи с отсутствием экологических нормативов сравнение полученных результатов достаточно затруднено. Однако при пересчете на сырую массу показатели не превышали допустимых уровней [3]. При сравнении с фоновыми значениями в ранее представленной работе [4] концентрации являются повышенными, что говорит о важности мониторинга этих промысловых рыб.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (№ 18-14-00120).

Список литературы

1. Wania F., Mackay D. Peer reviewed: tracking the distribution of persistent organic pollutants // Environmental Science & Technology. 1996. Vol. 30, iss. 9. P. 390A–396A. https://doi.org/10.1021/es962399q
2. Tsygankov V. Yu., Boyarova M. D. Sample preparation method for the determination of organochlorine pesticides in aquatic organisms by gas chromatography // Achievements in the Life Sciences. 2015.Vol. 9, iss. 1. P. 65–68. https://doi.org/10.1016/j.als.2015.05.010
3. ТР ТС 021/2011. Технический регламент Таможенного союза «О безопасности пищевой продукции», 2011. 212 с.
4. Donets M. M., Tsygankov V. Yu., Boyarova M. D., Gumovskiy A. N., Kulshova V. I., Elkhoury J. A., Gumovskaya Y. P., Lyakh V. A., Khristoforova N. K. Flounders as indicators of environmental contamination by persistent organic pollutants and health risk // Marine Pollution Bulletin. 2021. Vol. 164, art. no. 111977 (8 p.) https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.111977

ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО РИСКА ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ НАСЕЛЕНИЯ ПРИ ПОТРЕБЛЕНИИ МАЛОГЛАЗОГО МАКРУРУСА (*ALBATROSSIA PECTORALIS)* ИЗ БЕРИНГОВА МОРЯ

Миронова Е. К., Метревели В. Е., Донец М. М., Боярова М. Д., Цыганков В. Ю.

ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», г. Владивосток

Ключевые слова: Albatrossia pectoralis, малоглазый макрурус, хлорорганические пестициды, экологические риски, онкологические заболевания, Берингово море

Хлорорганические пестициды (ХОП) относятся к числу стойких загрязняющих веществ (СОЗ), которые широко применялись во второй половине 20-го века в качестве пестицидов и для борьбы с опасными заболеваниями. Благодаря таким свойствам как липофильность, биомагнификациия и способность переноситься на большие расстояния ХОП обнаруживаются во многих компонентах окружающей среды, включая человека. Аккумуляция этих поллютантов происходит преимущественно в водных экосистемах, откуда загрязняющие вещества попадают в организм человека через пищу (до 90%). Употребление продуктов, содержащих пестициды повышает риски для здоровья человека и может увеличивать вероятность возникновения онкологических заболеваний [1]. Среди промысловых видов малоглазый макрурус (*Albatrossia pectoralis*) является распространенным объектом вылова благодаря диетическому мясу и богатой микроэлементами и жирными кислотами печени.

Таким образом, цель работы – определение уровней ХОП (ДДТ и его метаболитов, изомеров ГХЦГ) в органах малоглазого макруруса (*Albatrossia pectoralis*) и оценка экологического риска для здоровья населения при его потреблении. Особи малоглазого макруруса отбирались в летне-осенний период из акватории Берингова моря в 2020 году. После транспортировки в лабораторию образцы размораживались и по стандартной методике подготавливались для определения изомеров ГХЦГ (α-, β-, γ-, -ГХЦГ) и метаболитов ДДТ (*o,p’*-ДДТ, *p,p’*-ДДТ, *o,p’*-ДДД, *p,p’*-ДДД, *o,p’*-ДДЕ, *p,p’*-ДДЕ) на газовом хроматомасс-спектрометре Shimadzu GC MS-QP 2010 Ultra [2]. Расчет рисков проводился согласно методике, приведенной в работе [3]. Уровни ∑ДДТ и ∑ГХЦГ в мышцах (0,36 и 0,70 нг·г$^{-1}$ сырой массы) и печени (1,59 и 79,9 нг·г$^{-1}$ сырой массы) не превышали ПДК [4]. При расчете возможных рисков для здоровья выявлено превышение допустимого риска вероятности развития онкологических заболеваний от ДДЕ в печени макруруса при ежегодном потреблении 29 кг.

Таким образом, ХОП в органах малоглазого макруруса потенциально могут привести к развитию онкологии при потреблении продукции из печени. Однако риск развития подобных заболеваний невелик, в связи с отсутствием необходимости потребления этого вида в установленных количествах. Необходимо расширение мониторинговых исследований для промысловых видов гидробионтов и оценка риска.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (№ 18-14-00120).

Список литературы

1. Прокопенко Ю. Риски России: экология и здоровье. Екатеринбург : Издательские решения, 2015. 240 с.
2. Tsygankov V. Yu., Boyarova M. D. Sample preparation method for the determination of organochlorine pesticides in aquatic organisms by gas chromatography // Achievements in the Life Sciences. 2015. Vol. 9, iss. 1. P. 65–68. https://doi.org/10.1016/j.als.2015.05.010
3. Donets M. M., Tsygankov V. Yu., Boyarova M. D., Gumovskiy A. N., Kulshova V. I., Elkhoury J. A., Gumovskaya Y. P., Lyakh V. A., Khristoforova N. K. Flounders as indicators of environmental contamination by persistent organic pollutants and health risk // Marine Pollution Bulletin. 2021. Vol. 164, art. no. 111977 (8 p.) https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.111977
4. ТР ТС 021/2011. Технический регламент Таможенного союза «О безопасности пищевой продукции». 2011. 212 с.

КИНЕТИКА ОБМЕНА МЕТАЛЛОВ В МИДИЯХ *MYTILUS GALLOPROVINCIALIS* (LAMARCK, 1819) ПРИ ПИЩЕВОМ ПОГЛОЩЕНИИ

Поспелова Н. В., Приймак А. С., Егоров В. Н., Штрунц А. С.

ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», г. Севастополь

Ключевые слова: микроэлементы, биоаккумуляция, степень усвоения, коэффициент накопления, M. galloprovincialis

Перенос микроэлементов в морских пищевых цепях – важный процесс, определяющий биоаккумуляцию металлов и биогеохимический круговорот в морских экосистемах. Выявление закономерностей накопления металлов в органах и тканях мидий позволяет определить как санитарно-гигиенические риски их продуктового использования при выращивании в марикультуре, так и роль моллюсков в биогеохимических процессах изменения состава морской среды. Цель работы – определить содержание ионов Cu, Zn, Cd, Pb и металлоида As в мягких тканях мидий и их биоотложениях в масштабе сезонного хода онтогенеза, с использованием математической модели и эмпирических данных проанализировать интенсивность их накопления моллюсками при пищевом пути минерального питания.

Исследования проведены с февраля по декабрь 2020 г. Моллюсков отбирали с морской фермы, размещенной на внешнем рейде Севастопольской бухты. Биоотложения собирали, помещая мидий сразу после отлова в фильтрованную морскую воду на 4–5 ч для освобождения содержимого их желудков. Экскременты собирали пипеткой, промывали дистиллированной водой и высушивали. Аналитическое определение концентраций металлов в пробах осуществляли в научно-образовательном центре коллективного пользования «Спектрометрия и хроматография» ФИЦ ИнБЮМ методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ИСП-МС) на масс-спектрометре «PlasmaQuant MS Elite» (Analytik Jena AG, Германия).

Общая модель процесса транспорта металлов мидиями может быть представлена в виде схемы, предложенной нами ранее для меди [1]. Мы не рассматриваем процессы адсорбции растворенных форм металлов мидиями, поскольку это требует использования радиотрассерных методов. Потребности моллюсков в энергетических компонентах, которые характеризуются коэффициентом $К_2$, и химических элементах (степень усвоения оценивается коэффициентом q) различаются. Степень усвоения элемента из пищи может являться важной характеристикой, определяющей потребность морских организмов в микроэлементах (показатель степени их биогенности).

На примере меди нами была построена математическая модель и предложен способ определения q по результатам измерений концентраций элементов в мягких тканях мидий ($С_г$) и их биоотложениях ($С_ф$) с учетом коэффициента усвоения пищи на рост $К_2$ ($q_п$) [1]:

$$q=\frac{С_г q_п}{С_г q_п+С_ф(1-q_п)} \qquad (1)$$

Способы расчёта, включающие концентрацию элементов во взвешенном веществе, не учитывают процессы обмена металлов в организме моллюсков, а следовательно, могут давать большую погрешность. Поэтому в данной модели мы избежали применения уравнения, учитывающего концентрацию металлов во взвешенном веществе. Предложенная нами модель построена на основе структурных схем пищевого и минерального метаболизма мидий [1]. При известных значениях степени усвоения элемента из пищи q и степени усвоения пищи на рост K_2 ($q_п$) предложено уравнение, позволяющее определить предельный коэффициент пищевого накопления металла:

$$Кп = q / q_п \qquad (2)$$

Коэффициент Кп в данной модели определен как максимально возможный.

Согласно теории минерального гомеостаза морских экосистем [2] при исследовании кинетики содержания микроэлементов в мидиях показано, что концентрация и обмен химического микроэлемента может рассматриваться как интегральный процесс во всём онтогенезе и для оценки усвояемости элементов моллюсками можно использовать среднегодовую оценку K_2, максимальное значение которого для черноморских мидий определено как 0,6 [3].

В разные сезоны средние значения q для Cu составили от 0,14 до 0,79; для Zn – от 0,58 до 0,96; Cd – от 0,44 до 0,95; Pb – от 0,15 до 0,44; As – от 0,43 до 0,95. Поскольку биоаккумуляция металлов мидиями разных размеров может различаться, мы разделили моллюсков на группы – промысловые мидии (размер раковины 50 мм и более) и непромысловые (размер раковины менее 50 мм). Показано, что степень усвоения элементов из пищи q различается для моллюсков этих групп – непромысловые моллюски в большинстве случаев интенсивнее усваивают микроэлементы, что вполне объяснимо более интенсивным ростом и обменом моллюсков возрастом 1–1,5 года (за этот срок культивируемые мидии в районе исследований достигают промыслового размера). Различия в усвоении элементов отмечены и в зависимости от сезона года. Наиболее низкая усвояемость меди и кадмия характерна для февраля и апреля, цинка – для февраля, мышьяка – для апреля, хуже всего усваивался свинец. Степень усвоения свинца минимальна, по сравнению с другими элементами, максимальная степень усвоения (0,9 и выше) отмечена для Zn и As, а в отдельные периоды и для Cu.

Предельный коэффициент пищевого накопления элементов (Кп) в большинстве случаев для Zn, Cd и As достигал значений 1 и выше, в особенности для непромысловых моллюсков. Поскольку доля растворенных в воде металлов чаще всего выше, чем в составе взвеси, возможно, в эти периоды у моллюсков преобладали процессы адсорбции – непищевой путь поступления элементов.

Полученные в рамках данной работы результаты апробирования модели оценки степени накопления металлов Cu, Zn, Cd, Pb и металлоида As мидиями при пищевом пути минерального питания показали применимость этой модели для моллюсков-фильтраторов.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Севастополя в рамках научного проекта № 20-44-925001, а также в рамках темы НИР государственного задания ФИЦ ИнБЮМ (№ госрегистрации АААА-А18-118021350003-6).

Список литературы

1. Поспелова Н. В., Егоров В. Н., Челядина Н. С., Нехорошев М. В. Содержание меди в органах и тканях *Mytilus galloprovincialis* Lamarck, 1819 и поток её седиментационного депонирования в донные осадки в хозяйствах черноморской

аквакультуры // Морской биологический журнал. 2018. Т. 3, вып. 4. С. 64–75. https://doi.org/10.21072/mbj.2018.03.4.07
2. Егоров В. Н. Теория радиоизотопного и химического гомеостаза морских экосистем. Севастополь : ФИЦ ИнБЮМ, 2019. 356 с. https://doi.org/10.21072/978-5-6042938-5-0
3. Сытник Н. А., Золотницкий А. П. Энергетический бюджет и эффективность использования пищи на рост у черноморской мидии (*Mytilus galloprovincialis*) // Экосистемы. 2019. Т. 50, вып. 20. С. 105–116.

ДОННЫЕ И ПЕЛАГИЧЕСКИЕ РЫБЫ КАК ИНДИКАТОРЫ ЗАГРЯЗНЕНИЯ МОРСКОЙ СРЕДЫ ОРГАНИЧЕСКИМИ ПОЛЛЮТАНТАМИ

Цыганков В. Ю., Донец М. М., Боярова М. Д., Христофорова Н. К.

Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток

Ключевые слова: донные рыбы, пелагические рыбы, СОЗ, ГХЦГ, ДДТ, ПХБ, морская среда, биомониторинг

Прогресс в сельском хозяйстве, промышленности и медицине обеспечил людям более комфортную жизнь и заметное улучшение ее качества. Вместе с тем он привел к росту потребления ряда синтетических органических химикатов, отрицательным последствием чего стало ухудшение состояния окружающей среды. В настоящее время стойкие органические загрязняющие вещества (СОЗ) признаны особо опасными экотоксикантами. Они повсеместно распространены в окружающей среде и обнаруживаются во всех регионах планеты, в том числе на территории России.

Поскольку эти соединения летучи и персистентны, запрещены к использованию в большинстве стран, а также их конечным «депо» являются водные экосистемы, куда СОЗ попадают за счет прямых выбросов, гидрологических и атмосферных процессов, определение в них уровней биологически накопленных токсикантов является актуальным направлением в экологической токсикологии.

Использование различных организмов в мониторинговых исследованиях СОЗ является крайне важным. Индикаторными можно назвать организмы, которые аккумулируют поллютанты в своих тканях и органах из окружающей среды, указывая на ее состояние.

Рыбы населяют практически все водоемы планеты и считаются удобными индикаторами содержания СОЗ. Например, донные рыбы отражают локальный характер загрязнения и концентрации поллютантов в них могут приниматься за «фоновые». Пелагические рыбы можно использовать при исследовании международных водных территорий на основе жизненного цикла, а также при исследовании биомагнификации и аккумуляции по пищевым цепям.

Также, по анадромным рыбам можно рассматривать процессы переноса токсикантов в различные районы Мирового океана, между морями и климатическими зонами. Биогеохимические круговороты элементов на суше и в океане происходят под действием основных экологических факторов. Уникальным примером направленного переноса биогенных элементов в океане являются нерестовые миграции анадромных рыб, например, тихоокеанских лососей, которые в нагульный период ведут океанический образ жизни, а нерест и раннее развитие происходит в пресной воде, в реках и озерах. Во время нагула в океане и особенно перед нерестовой миграцией лососи аккумулируют резервные нейтральные липиды, как для удовлетворения энергетических затрат, так и для развития гонад во время миграций. Параллельно с накоплением липидов происходит и аккумуляция липофильных поллютантов из морской среды как в субтропических широтах, так и в умеренной зоне.

За счет выявленных концентраций СОЗ в промысловых видах рыб можно рассчитать экологические риски для мест нагула и нерестилищ, а также риски для здоровья человека от употребления «загрязненной» рыбой. Эти результаты, например, позволяют актуализировать существующие нормативные документы.

Одним из новых мониторинговых методов исследования СОЗ является нецелевой скрининговый анализ (non-target screening analysis), позволяющий выявить не только спектр «традиционных» поллютантов, но и «новых», которые не нормируются, но являются токсичными.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (№ 18-14-00120).

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ

ТАКСОН-СПЕЦИФИЧНЫЙ МЕТАБАРКОДИНГ КАК СОВРЕМЕННЫЙ МЕТОД ОЦЕНКИ СТРУКТУРЫ СООБЩЕСТВ СОЛНЕЧНИКОВ В ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ

Герасимова Е. А.

Институт клеточного и внутриклеточного симбиоза Уральского отделения РАН, г. Оренбург

Ключевые слова: центрохелидные солнечники, центрохелиды, метабаркодинг, высокопроизводительное секвенирование, ген 18S рРНК, соленые водоемы

Центрохелидные солнечники, или центрохелиды (Centroplasthelida Febre-Chevalier et Febre, 1984) – свободноживущие хищные гетеротрофные безжгутиковые протисты, относящиеся к хакробиям. Цетрохелидные солнечники характеризуются шаровидным телом с радиально расходящимися аксоподиями, несущими стрекательные органеллы для захвата пищи. Центрохелиды характеризуются всесветным распространением, населяют морские и пресноводные экосистемы, выполняя роль консументов высшего порядка. В настоящий момент группа насчитывает чуть более 100 видов, однако данные секвенирования ампликонов 18S рДНК из природных местообитаний указывают на то, что 90 % солнечников до сих пор не изучены, а истинное разнообразие группы значительно шире, в связи с чем потенциально новые виды все еще ждут своего описания. Практически каждое обстоятельное исследование или экологический скрининг, ориентированный на данную группу, выявляет новые таксоны или нуклеотидные последовательности солнечников, что обуславливает необходимость их дальнейшего изучения.

Одним из современных молекулярно-генетических методов, применяемых для изучения таксономической структуры (богатства и разнообразия) сообществ протистов, является метабаркодинг на основе высокопроизводительного секвенирования, позволяющего секвенировать одновременно миллионы целевых фрагментов ДНК из образцов окружающей среды. Метабаркодинг широко применяется для описания глобального таксономического разнообразия как отдельных групп протистов, так и сообществ в целом. В нашем исследовании таксон-специфичный метабаркодинг был применен для оценки генетического разнообразия и таксономической структуры сообществ центрохелидных солнечников в соленых континентальных водоемах России с широким диапазоном солености (1-78‰). Метод позволил выявить 193 ОТЕ центрохелид, оценить генетическое разнообразие и полиморфизм в пределах одного вида, а также обнаружить новые генотипы и филогенетические линии солнечников.

В результате секвенирования и биоинформатической обработки данных было получено от 11480 до 167877 ридов для каждого образца. Число ридов центрохелидных солнечников в образце варьировало от 7 до 5745 (0,02–16,21%) для накопительных культур и от 8 до 385 (0,01-0,52%) – для природных образцов. Число ОТЕ солнечников в одной библиотеке варьировало от 1 до 52 (0,32–17,05%) в накопительных культурах и от 1 до 11 (0,05–0,80%) – в природных образцах. Общее количество операционных таксономических единиц (ОТЕ) солнечников составило

193 (52 – в природных образцах и 141 – в накопительных культурах). Длина фрагмента гена 18S (регион V7) варьировала в пределах 276–533 п.н.

Для оценки возможных филогенетических связей, выявленных ОТЕ, было построено филогенетическое дерево методом максимального правдоподобия, а также проведено сравнение молекулярных сигнатур в шпильке 39es9 региона V7. В итоге подавляющее большинство выявленных ОТЕ локализовалось в пределах известных филогенетических клад, относящихся к надотрядам Pterocystida и Panacanthocystida. Часть ОТЕ группировалась с кладами, соответствующими описанным таксонам солнечников, а часть – с природными кладами, содержащими последовательности, полученные при секвенировании природных образцов и не имеющие морфологической и таксономической характеристики.

Две последовательности из образца с соленостью (2‰) образовали хорошо поддерживаемый кластер с высокой бутстреп поддержкой 83% с последовательностью *Pterocystis canadensis* AY749633, выделенной из горячего пресноводного источника и природной последовательностью «unid_helio6 AY749606» из почвенного образца в кладе Pterocystidae C. Одна ОТЕ-31-210 (2‰) образовывала кластер с пресноводным изолятом *Pterocystis quadrata* AY749612 в кладе Pterocystidae B с умеренной поддержкой (67%). Группа ОТЕ 264-9-122, 264-9-96, 260-9-66, 264-9-138 из образцов с соленостью 2‰ с высокой поддержкой группировалась с последовательностью *Acanthocystis aff. myriospina*, как по молекулярным сигнатурам, так и по результатам филогенетического анализа. Одна ОТЕ-257-9-259 (20‰) имела неопределенную позицию в кладе *Acanthocystis*, но учитывая высокую поддержку с представителями рода *Acanthocystis* и высокое сходство последовательностей, она также является представителем этого рода. Результаты филогенетического анализа и проверки молекулярных сигнатур указывали на близкое родство ОТЕ-31-1022 (2‰) с *Raphidocystis ambigua*, преимущественно пресноводным видом.

Наконец, 131 ОТЕ из культур образовали хорошо поддерживаемый кластер (86%) с *Raphidocystis contractilis* AB196984, выделенным из солоноватого местообитания. Молекулярные сигнатуры данных ОТЕ явно указывают на ко-специфичность сиквенсов, но также демонстрируют некоторый уровень альтернативного полиморфизма между данными ОТЕ.

Пара ОТЕ (31-120, 30-115) из образцов с соленостью 2‰ расположилась на дереве в *Heterophryidae*, но их позиция имела незначительную бутстреп поддержку, а анализ молекулярных подписей показал идентичность с двумя пресноводными последовательностями, известными как клада H5. Две ОТЕ 261-9-18 (2‰) и 38-130 (14‰) образовали кладу с представителями *Marophrys*, но не демонстрировали очевидной гомологии молекулярных подписей ни с представителями *Marophrys*, ни с другими центрохелидами; в целом клада *Marophryidae* имела незначительную поддержку.

Большая группа ОТЕ, состоящая из 23 последовательностей из широкого диапазона солености (2-78‰), сформировала новую, умеренно поддерживаемую (76%) кладу, сестринскую с пресноводной последовательностью AY821944 в надотряде *Pterocystida*. Данная клада была обозначена «NC9» и делилась на четыре подклады, представители которых обладали уникальными молекулярными сигнатурами. Среди них NC9.1, NC9.2 и NC9.4 были монофилетическими, а NC9.3 – парафилетической. Во всех четырех подкладах NC9 схожие или идентичные генотипы были получены из биотопов с контрастно разными значениями солености.

ОТЕ-30-911 из образца с соленостью 2‰ формировала с четырьмя морскими последовательностями незначительно поддерживаемую кладу, сестринскую с NC5. Анализ молекулярных сигнатур показал, что ОТЕ-30-911 представляет собой новый генотип, содержащий вставку 34 п.н., не имеющий очевидной гомологии с какой-либо последовательностью солнечников в базе данных GenBank.

Пять ОТЕ 30-177 (2‰), 36-900 (1‰), 30-293 (2‰), 261-9-18 (2‰), 38-130 (14‰) не были надежно идентифицированы ни с использованием филогенетического анализа, ни путем сравнения молекулярных сигнатур. Скорее всего, они представляют первых представителей малоизученных линий, но было бы преждевременным присвоить им имя «природной клады», поскольку единственными доступными в настоящее время данными являются короткие последовательности только для 1-2 ОТЕ из каждой группы.

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТКИА МЕТОДИК МОНИТОРИНГА МОРСКОГО МИКРОМУСОРА ДЛЯ ПЕСЧАНЫХ ПЛЯЖЕЙ ФИНСКОГО ЗАЛИВА БАЛТИЙСКОГО МОРЯ

Кузьмина А. С., Ершова А. А.

Российский государственный гидрометеорологический университет,
г. Санкт-Петербург

Ключевые слова: микромусор, песчаные пляжи, «фрейм-метод», «рейк-метод», микропластик

Мониторинг пляжного мусора в настоящее время является наиболее экономически эффективным способом контроля количества и характера морского мусора. В Российской части Балтийского региона мониторинговые исследования пляжного мусора проводятся на протяжении нескольких лет с использованием различных методик [1].

Целью данного исследования является сравнение методик мониторинга морского микромусора для песчаных пляжей Финского залива. Исходя из цели поставлены следующие задачи: рассмотреть две методики, используемые на песчаных пляжах восточной части Финского залива Балтийского моря; представить результаты их полевого применения на песчаных пляжах восточной части Финского залива; определить их преимущества и недостатки, сформировать возможные рекомендации по усовершенствованию.

Пробы микромусора отбирались в период с 2018 по 2020 гг. в летние месяцы на пляжах Невской губы и открытой части Финского залива. Для исследований параллельно применялись две методики отбора проб микромусора. «Фрейм-метод» направлен на детальное изучение зоны заплеска (то есть зоны воздействия волн и накопления материала) с полигоном площадью 40 м^2 для отбора мусора величиной более 5 мм и двумя квадратами со стороной 1 м для отбора частиц размером 2–5 мм. Для этого используется металлическое сито диаметром ячейки 2 мм. «Рейк-метод» направлен на изучение более обширных зон побережья (от зоны заплеска до линии растительности) с полигоном площадью 50 м^2. Для этого метода предполагается использование специальных «граблей» для просеивания песка также с ячейкой 2 мм. Данные методики применяются для исследования Балтийских пляжей в Германии и Литве [2], что делает возможным сравнение уровней загрязненности.

При использовании данных методик в полевых условиях получены следующие результаты. В 2018 году с помощью первой методики было исследовано 1360 м^2 пляжей, в том числе 68 м^2 на содержание микромусора. Среднее содержание микромусора в Невской губе составило 21 частица на м^2, в открытой части залива –

13 частиц на м^2. С помощью второй методики исследовано 207 м^2. Среднее содержание микромусора в открытой части залива составило 5 частиц на м^2.

В 2019 году в зоне заплеска исследовано 880 м^2 пляжей, на содержание микромусора – 44 м^2. Среднее содержание микромусора в Невской губе составило 18 частиц на м^2, в открытой части залива – 7 частиц на м^2. С помощью «рейк-метода» было исследовано 198 м^2. Среднее содержание микромусора в открытой части залива составило 4 частицы на м^2.

В 2020 году с помощью «фрейм-метода» было исследовано 1120 м^2 пляжей, на содержание микромусора – 56 м^2. Среднее содержание микромусора в Невской губе составило 6 частиц на м^2, в открытой части залива – 4 частицы на м^2.

Для сравнения, содержание микромусора, обнаруженного «фрейм-методом» на пляжах Германии, составило 0,1 частицы на м^2, в Литве – 3,9 частиц на м^2. С помощью «рейк-метода» получены следующие результаты: в Германии это 0,2 частицы на м^2, в Литве – 0,02 частицы на м^2 [2]. Отсюда следует, что пляжи в Санкт-Петербурге более загрязненные.

Общими преимуществами данных методик являются их простота и стандартизированность, а также относительная дешевизна используемого инвентаря и возможность модернизировать его в зависимости от типа пляжа, например, использовать сита с различным размером ячеек в зависимости от фракции песка.

Общие недостатки – ложное занижение оценок загрязненности пляжей из-за возможных уборок (в особенности для мусора крупнее 5 мм). Несмотря на то, что данные методы были разработаны для регулярно убираемых пляжей балтийских стран, фактор проведения уборок и их качества существенно влияет на результаты. Другими неудобствами является попадание крупного песка, камней и водорослей в сито или грабли. Это характерно в том числе и для Финского залива, так как его акватория подвержена эвтрофированию, а пляжи Невской губы, являющейся эстуарием, сложены речными песками.

Дополнительные сложности возникают при исследовании пляжей с крупным песком (в данном случае это пляжи Невской губы, где размер песчинок приближается к 2 мм и встречается много гравия). Для таких пляжей методы нужно адаптировать, например, используя инвентарь с ячейкой более 2 мм (как это изначально предполагается в методике). Однако, применение последовательно сит двух размеров ячеек усложняет и увеличивает время работы как минимум вдвое.

Еще один отмеченный недостаток: даже с учетом контрольных полигонов или широких трансект не всегда возможно получить объективную картину загрязнения пляжа, так как мусор распределен крайне неравномерно между полигонами. Часто разница между полигонами составляет более 100%.

Преимуществом «фрейм-метода» является возможность работы с влажным песком, тогда как для «рейк-метода» это является фактором, сильно усложняющим просеивание песка – грабли возможно применять для просеивания исключительно мелкого и сухого песка, что для условий Финского залива с постоянно меняющейся погодой и обильными дождями является крайне важным фактором. Преимущество «рейк-метода» – возможность исследовать пляж по всей его ширине и изучить все зоны накопления мусора – от линии воды до линии растительности, тогда как «фрейм-метод» позволяет получить информацию только для одной зоны – зоны заплеска и обрушения волн.

Таким образом, два данных метода могут быть использованы параллельно, дополняя друг друга, однако, для условий Финского залива рекомендуются следующие адаптации данных методик: отбор проб на как минимум 3-х полигонах на одном пляже для минимизации ошибки результатов, а также использование двух сит последовательно с ячейкой 2 и 3–4 мм для просеивания крупного песка, который характерен для пляжей этой части Балтики. Однократных летних съемок недостаточно для составления полной картины загрязнения пляжей; нужно проводить более частые исследования (раз в сезон, а также до и после штормов и уборок), чтобы иметь возможность более детально отслеживать зависимость распределения микромусора от разных воздействий.

Список литературы

1. Ershova A. A., Eremina T. R., Chubarenko I. P., Esiukova E. E. Marine Litter in the Russian Gulf of Finland and South-East Baltic: Application of Different Methods of Beach Sand Sampling // The Handbook of Environmental Chemistry. Berlin ; Heidelberg : Springer, 2021. P. 1–25. https://doi.org/10.1007/698_2021_746.
2. Haseler M., Schernewski G., Balciunas A., Sabaliauskaite V. Monitoring methods for large micro- and meso-litter and applications at Baltic beaches // Journal of Coastal Conservation. 2018. Vol. 22. P. 27–50. https://doi.org/10.1007/s11852-017-0497-5

ОСОБЕННОСТИ СБОРКИ МИТОХОНДРИАЛЬНОГО ГЕНОМА НА ОСНОВЕ КОРОТКИХ ПАРНОКОНЦЕВЫХ ПРОЧТЕНИЙ

Мегер Я. В.[1], Водясова Е. А.[1, 2], Дмитриева Е. В.[2], Челебиева Э. С.[2], Шихат О. В.[2], Лантушенко А. О.[1]

[1]ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь
[2]Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН, г. Севастополь

Ключевые слова: митохондриальный геном, Spades, Mira, MitoZ, алгоритм de novo сборки, парноконцевые прочтения

Вследствие высокой производительности NGS-секвенирования и стоимости получения прочтений, в настоящее время все чаще применяется данный метод секвенирования для получения последовательности полного митохондриального генома. Такой подход заключается в секвенировании со слабым покрытием и за счет перепредставленности последовательностей митохондриального генома происходит его сборка. Однако сам процесс сборки содержит в себе ряд нетривиальных проблем, одна из которых – это разрешение тандемных последовательностей при использовании коротких прочтений.

В данном исследовании были использованы парно-концевые прочтения длиной 100-150 п.н. общим объемом 2.23 Gb. полученных с помощью NGS-секвенирования ДНК *Ligophorus vanbenedenii* на платформе Illumina NextSeq 500. Оценка качества почтений проводилась с помощью fastqc, которая показала высокое среднее качество прочтений Q30 - 94.07% прочтений. Фильтрация по качеству и удаление адаптеров из массива прочтений производилась с помощью fastp, в результате 95.57% прочтений прошли фильтрацию. Для сборки использовались следующие сборщики: Spades [1] в режиме plasmid, итеративный сборщик MIRA [2], комплексное решение для сборки, аннотации и оценки покрытия MitoZ [3], а также мульти-k-мерный сборщик Norgal. Результаты работы всех сборщиков анализировались на полноту, равномерность покрытия и наличие кольцевой структуры с помощью модуля аннотации MitoZ.

Решение, предложенное в рамках Spades, обладает исключительной простотой в использовании, малым временем выполнения и встроенным механизмом скафолдинга. Результаты сборки не столь формализированы и требуют дальнейшей проработки, картирования и аннотации. Однако среди представленных скафолдов есть область с разрешенными тандемными повторами. Это позволяет рекомендовать Spades в качестве черновой сборки для дальнейшей проработки с применением других алгоритмов.

Из-за необходимости последовательности-затравки для работы сборщика MIRA, использование этого алгоритма может быть затруднительно для малоизученных объектов, для которого нет близкородственного референсного митохондриального генома по причине использования последовательности-затравки слабо связанного с исследуемым объектом, что значительно снижает эффективность каждой итерации работы алгоритма. Это привело к чрезмерному времени выполнения сборки. В результате был получен контиг длиной 10834 п.н. с неравномерным покрытием, что является следствием наличия неразрешенного участка тандемных повторов. Алгоритм используемый в этой программе способен разрешить эту проблему лишь при условии наличия хорошей последовательности-затравки или большей длины прочтений. В качестве такой затравки можно использовать результат черновой сборки другого алгоритма, однако такой способ накапливает ошибки и может привести к искаженным результатам.

Мульти-k-мерный сборщик Norgal имеет простой в обращении набор функции и высокое быстродействие, однако, малая длина полученных контигов не позволяет использовать его для получения полной кольцевой сборки митохондриального генома.

Комплексное решение MitoZ предоставляет наиболее наглядное и полное представление о результатах сборки, в автоматическом режиме проводит картирование прочтений и аннотацию. Включает в себя как быстрореализуемый алгоритм черновой сборки, так и более проработанный механизм доработки. Тем не менее конечная сборка имела не кольцевую структуру и содержала область чрезмерного выравнивания – свидетельство разрешения повторений методом кластеризации. С помощью выравнивания полученных скафолдов после Spades эта область была уточнена, что привело к равномерному распределению выравниваний прочтений и достижения кольцевой структуры.

Таким образом для сборки митохондриального генома на основе коротких прочтений целесообразно использовать MitoZ, уточняя области неравномерного покрытия данными других сборщиков или более длинными прочтениями.

Работа выполнена в рамках гранта РФФИ №20-44-920004, государственной бюджетной темы № 121030100028–0 и внутреннего гранта СевГУ 2020 № 33/06-31.

Список литературы

1. Antipov D., Hartwick N., Shen M., Raiko M., Lapidus A., Pevzner P. PlasmidSPAdes: assembling plasmids from whole genome sequencing data // Bioinformatics. 2016. Vol. 32, iss. 22. P. 3380–3387. https://doi.org/10.1093/bioinformatics/btw493
2. Chevreux B., Wetter T., Suhai S. Genome Sequence Assembly Using Trace Signals and Additional Sequence Information // Computer Science and Biology : Proceedings of the German Conference on Bioinformatics. 1999. Vol. 99. P. 45–56.
3. Meng G., Li Y., Yang C., Liu S. Mito Z. A toolkit for mitochondrial genome assembly, annotation and visualization // BioRxiv. 2018. P. 489955. doi: https://doi.org/10.1101/489955

ИЗУЧЕНИЕ ФАКТОРОВ ИММУННОГО ОТВЕТА МОЛЛЮСКОВ *PLANORBARIUS CORNEUS*

Орлов Ю. А., Токмакова А. С., Прохорова Е. Е.

Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена, г. Санкт-Петербург

Ключевые слова: Planorbarius corneus, иммунный ответ, гемоциты, факторы защитных реакций, траскриптом, дифференциальная экспрессия

За осуществление иммунных реакций моллюсков на любом уровне отвечают циркулирующие клетки гемолимфы – гемоциты [1, 2]. Гемоциты легочных моллюсков принято разделять на два основных типа – гранулоциты и гиалиноциты [1, 2]. Последние различаются по ряду признаков: размеру, способности образовывать псевдоподии распластываться на субстрате, фагоцитарной активности, а также набору и строению органелл. Гемоциты участвуют во всех этапах иммунного ответа – как клеточного, так и гуморального [2, 3]. Несмотря на многочисленные работы в области иммунитета пульмонат и большой объем полученных данных, механизмы взаимодействия между собой клеточных и гуморальных компонентов иммунитета, во многом остаются неясными. Использование современных молекулярно-генетических подходов и методов биоинформатического анализа позволяет выявлять различия в профиле экспрессии факторов защитных реакций у зараженных и незараженных моллюсков, а также у особей с разным уровнем резистентности к заражению.

Ранее был выполнен анализ экспрессии генов, кодирующих факторы защитных реакций у моллюсков *Planorbarius corneus* при заражении трематодами. Было показано, что уровень экспрессии нескольких генов различается у незараженных и зараженных трематодами разных видов моллюсков [4].

Для расширения представлений о факторах и механизмах иммунного ответа моллюсков *P. corneus* был получен и проанализирован транскриптом циркулирующих клеток гемолимфы. В работе были использованы две группы моллюсков по 10 особей – незараженные и зараженные трематодами *Bilharziella polonica* (сем. Schistosomatidae). Осажденные гемоциты моллюсков были пулированы в два образца (зараженные и незаражённые), из которых была получена тотальная РНК. Фракция мРНК была обогащена методом амплификации с поли-Т праймерами. Библиотеки кДНК были получены и секвенированы в компании «Генотек» с использованием технологии NGS (г. Москва).

Сборку транскриптомов гемоцитов *Planorbarius corneus* осуществляли с помощью программы «oases». Для поиска открытых рамок считывания, использовали программу «TransDecoder». После кластеризации (95%) транскриптов получили 488655 последовательностей со средней длиной 825,77 и медианной 554 нуклеотида. Путём трансляции открытых рамок считывания был определен предполагаемый протеом гемоцитов, включающий 56865 полипептидов. Для анализа дифференциальной экспрессии генов при заражении моллюсков трематодами применили пакет EdgeR для R. В результате обнаружили 1657 дифференциально экспрессирующихся транскриптов, из которых 721 демонстрирует повышение экспрессии, у зараженных моллюсков, по сравнению с незаражёнными, а 936 – понижение. Среди аннотированных продуктов были выделены компоненты аппарата белкового синтеза, энергетического обмена, белки адгезии, внеклеточного матрикса, лектины, протеазы, цитокины, а также молекулы с иммуноглобулиновыми доменами и др.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-04-00384 А.

Список литературы

1. Pila E. A., Sullivan J. T., Wu X. Z., Fang J., Rudko S. P., Gordy M. A., Hanington P.C. Haematopoiesis in molluscs: A review of haemocyte development and function in gastropods, cephalopods and bivalves // Developmental and Comparative Immunology. 2016. Vol. 58. P. 119–128. https://doi.org/10.1016/j.dci.2015.11.010
2. Атаев Г. Л., Прохорова Е. Е., Токмакова А. С. Защитные реакции легочных моллюсков при паразитарной инвазии // Паразитология. 2020. Т. 54, вып. 5. С. 371–401. https://doi.org/10.31857/S1234567806050028
3. Adema C. M., Loker E. S. Digenean-gastropod host associations inform on aspects of specific immunity in snails // Developmental and Comparative Immunology. 2015.Vol. 48, iss. 2. P. 275–283. https://doi.org/10.1016/j.dci.2014.06.014
4. Ataev G. L., Prokhorova E. E., Kudryavtsev I. V., Polevshchikov A. V. The influence of trematode infection on the hemocyte composition in *Planorbarius corneus* (Gastropoda, Pulmonata) // Invertebrate Survival Journal. 2016. Vol. 13, iss. 1. P. 164–171. https://doi.org/10.25431/1824-307X/isj.v13i1.164-171

ОЦЕНКА ВЗАИМОВЛИЯНИЯ БПК, O_2 И МИКРООРГАНИЗМОВ, УЧАСТВУЮЩИХ В ПРОЦЕССАХ БИОХИМИЧЕСКОГО ОКИСЛЕНИЯ СТОКОВ ЦЕЛЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНОГО КОМБИНАТА

Строганова М. С., Шишкин А. И., Адылова А. Ж., Елеулова Р. А.

Высшая школа технологии и энергетики Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна, г. Санкт-Петербург

Предложен новый подход к изучению трансформации органического вещества и идентификации параметров тримолекулярной модели биохимического окисления сточных с учетом не только концентрации органического вещества, выраженного в БПК$_5$, и растворенного кислорода (РК), но и концентрации микроорганизмов. В весенний период 2021 года проведено исследование взаимовлияния БПК$_5$, O_2 и микроорганизмов, участвующих в процессах биохимического окисления на примере трансформации стоков сульфат-целлюлозного производства при сбросе в природный водоём.

Состав стоков сульфат-целлюлозного завода характеризуется большим содержанием легкоокисляемых и трудноокисляемых органических соединений. После попадания очищенных стоков в водный объект, начинается процесс трансформации органического вещества. В процессах окисления напрямую участвуют микроорганизмы, которые потребляют органические соединения, а растворенный кислород расходуется на дыхание микроорганизмов и частично на окисление органического вещества.

Предложенный подход позволяет отследить процессы трансформации веществ от места выпуска сточных вод до контрольного створа в водном объекте. В данной работе инструментом для оценки трансформации органического вещества является тримолекулярная математическая модель, основанная на бимолекулярном уравнении с учетом растворенного в воде кислорода и бактерий [1]. Тримолекулярное уравнение биохимического окисления органических соединений основано записывается в виде:

$$\frac{dC_{БПК}}{dt} = -kC_{БПК}^{m}C_{O2}^{n}C_{B}^{p}, \qquad (1)$$

где k – константа биохимического окисления органических соединений;
$C_{БПК}$ - концентрация органических загрязнений по БПК, мгО/л,
C_{O2} - концентрация растворенного кислорода мгО/л,
m, n, p – константы, специфичны для данного типа сточных вод.

Тримолекулярные реакции можно рассматривать, как сложный процесс состоящих их двух бимолекулярных стадий. На первой стадии из двух частиц образуется промежуточная, которая реагирует с третьей молекулой и образуется продукт, конечным продуктом будет являться углекислый газ и вода.

Определение количества клеток микроорганизмов проводилась по методу Коха путем высева на питательную среду для мезофильных аэробных и факультативных анаэробов. Согласно принципу Коха, каждая колония является потомством одной клетки.

$$C_{(\text{Оргв–во})} + O_2 \rightarrow H_2O + CO_2 \qquad (2)$$

Основная часть микроорганизмов, обнаруженных в ходе исследований, относится к сапрофитам, которые питаются распадающимися органическими веществами. Результаты количественного определения микроорганизмов, проведенного по методу Коха, выражают в колониеобразующих единицах (КОЕ) в 1 см^3 исследуемого субстрата и проводился по формуле [2]:

$$M = \frac{a*10^n}{V}, \qquad (3)$$

где: М – количество клеток в 1 см^3;
а – среднее число колоний, выросших после посева из данного разведения;
V – объем суспензии, взятый для посева, см^3;
10^n – коэффициент разведения.

Отбор проб производился у дна, середины и поверхности озера на расстоянии 250 и 500 м от выпуска сточных вод, а также проба природной воды в фоновом створе у поверхности озера. Показатели растворенного кислорода и БПК$_5$ определены титриметрическим методом Винклера.

Константа биохимического окисления k для исследуемых сточных вод рассчитана на основе показателей РК, БПК$_5$ и температуры воды по методу Н.А. Базякиной [3]. Значения констант скорости биохимического окисления по веществу БПК$_5$ для исследуемого типа стоков находятся в пределах от 0,041 до 0,042 сут$^{-1}$. Отмечено снижение количества бактерий от дна водоёма, где расположен глубинный водовыпуск, к поверхности, при этом зафиксировано изменение концентрации кислорода по глубине.

В ходе моделирования процессов биохимического окисления органических соединений учтена концентрация микроорганизмов с целью оценки более полного набора параметров этого процесса. Показано, что растворенный кислород, потребляемый микроорганизмами в ходе их жизнедеятельности, интенсифицирует процесс биохимического окисления органического вещества сточных вод [4].

Предложенный авторами метод оценки взаимовлияния БПК, O$_2$ и микроорганизмов, участвующих в процессах биохимического окисления основанный на тримолекулярном уравнении, применим для сточных вод целлюлозного предприятия с учетом гидрометеорологических условий и территориальных особенностей.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-35-90128.

Список литературы

1. Очистка и рекуперация промышленных выбросов : учебник для вузов / В. Ф. Максимов, И. В. Вольф, Л. Н. Григорьев и др. ; под ред. В. Ф. Максимова ; 2-е изд. перераб. – Москва : Лесная промышленность, 1981. 640 с.
2. Прудникова С. В. Методы микроэкологического исследования наземных, водных и воздушных экосистем : учебное пособие для студентов высших учебных заведений. Красноярск : СФУ, 2007. 152 с.
3. Базякина Н. А. Расчет константы скорости потребления кислорода при определении БПК сточной жидкости // Санитарная техника. 1933. № 2. С. 17–24.
4. Mohamed S. Biological and chemical wastewater treatment processes // Wastewater Treatment Engineering. 2015. P. 1–50.

КЛЕТОЧНЫЙ СОСТАВ ГЕМОЛИМФЫ МОЛЛЮСКОВ *LYMNAEA STAGNALIS*

Хребтова М. С.[1], Серебрякова М. К.[2], Токмакова А. С.[1]

[1]Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена, г. Санкт-Петербург

[2]Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Институт экспериментальной медицины», г. Санкт-Петербург

Ключевые слова: Lymnaea stagnalis, гемолимфа, популяции клеток, гранулоциты, гиалиноциты, проточная цитофлуориметрия

Lymnaea stagnalis, L., 1758 – вид пресноводных легочных моллюсков, который выступает в роли хозяина как минимум для 24 видов трематод [1]. Широкий спектр сложившихся паразито-хозяйных отношений предполагает наличие отлаженного механизма защитных реакций со стороны моллюска, где ключевую роль выполняют клетки гемолимфы – гемоциты [2]. Последние участвуют в различных процессах, необходимых для реализации иммунного ответа. Однако до сих пор нет единого мнения относительно клеточного состава гемолимфы пульмонат, в частности моллюсков *L. stagnalis*. Большинство исследователей выделяют у пульмонат два основных типа гемоцитов – гранулоциты и гиалиноциты [2]. Гранулоциты отличаются более крупными размерами, высокой фагоцитарной активностью, способностью образовывать псевдоподии и наличием хорошо развитых органелл: шероховатого эндоплазматического ретикулума, аппарата Гольджи, митохондрий, большого количества лизосом, а также различных гранул. Гиалиноциты – это мелкие округлые клетки, не способные образовывать псевдоподии, характеризующиеся низким содержанием лизосом и гранул, слабой фагоцитарной активностью.

Для анализа клеточного состава гемолимфы использовались незараженные трематодами моллюски *L. stagnalis*, собранные в пос. Вырица Ленинградской области. Изучение морфологии клеток было проведено с использованием методов световой и флуоресцентной микроскопии. Мазки гемолимфы, предварительно фиксированные 4% PFA, окрашивались гематоксилин-эозином, а также коммерческим набором MGG (May-Grünwald-Giemsa) (Биовитрум) в соответствии с инструкцией производителя. Клеточный состав гемолимфы анализировали на проточном цитофлуориметре BD Accuri C6 (BD Bioscience, США). Образцы гемолимфы анализировали индивидуально для каждой особи. Кроме параметров прямого и бокового светорассеяния (FS и SS), отражающих размер и гранулярность клеток, в рамках проведенного исследования был применен метод анализа, основанный на оценке количества в гемоцитах нуклеиновых кислот и лизосом.

В работе использовали флуоресцентные красители SYTO62® Red и LysoTracker® Green DND-26, спонтанно проникающие через клеточные билипидные мембраны. При этом красители семейства SYTO связываются с нуклеиновыми кислотами (ДНК и РНК) в цитоплазме, ядре и митохондриях клетки, а LysoTracker является ацидофильным красителем, накапливающимся в лизосомах. Отдельно проводилось окрашивание аликвот йодистым пропидием (PI) для выявления среди гемоцитов доли мертвых клеток. Исключение агрегатов из зоны исследования производилось с помощью показателей, рассчитанных на основании сигналов малоуглового светорассеяния: времени пролета частицы, высоты пика и интегрального сигнала. Для каждого образца было зафиксировано не менее 30000 событий.

Гемоциты *L. stagnalis* на световом уровне представлены двумя клеточными популяциями: гранулоцитами и гиалиноцитами. Размер гранулоцитов составляет 42,2 ± 5,3 × 19,9 ± 2,7 мкм, размер их ядер – 11,4 ± 2,2 × 9,04 ± 1,2 мкм. Эти клетки распластываются на субстрате, формируя длинные псевдоподии. Размер гиалиноцитов составляет 15,8 ± 1,4 × 12,4 ± 0,3 мкм, их ядра – 6,0 ± 0,2 мкм.

В ходе цитометрического анализа у 50% особей было обнаружено 2 популяции гемоцитов, обозначенных нами A и B. Популяция A составляет 24,05 (15,02; 26,76) % от всех гемоцитов и имеет меньшие по сравнению с популяцией B показатели FS и SS. Таким образом данная популяция представлена клетками с меньшим размером, простой формой и менее сложной структурой цитоплазмы, что морфологически соответствует гиалиноцитам. Популяция B, наоборот, состоит из крупных клеток с гранулярной цитоплазмой и соответствует гранулоцитам. Она составляет 71,72 % (69,03; 79,34) от всего пула клеток. Гемоциты других 50% особей представлены одной популяцией клеток. Согласно гейтированию, выстроенному по образцам гемолимфы с двумя популяциями гемоцитов, она включает в себя морфологически те же популяции A (7,93 % (6,02; 8,38)) и B (89,31% (88,51; 90,34)). Однако в таких образцах присутствуют клетки с промежуточными показателями FS и SS, которые, вероятно, обладают морфологическими характеристиками обоих типов клеток. Количество мертвых клеток, выявленных на основании флуоресценции PI, составило в популяции A – 1,40% (0,54;2,36), а в популяции B – 4,50% (1,80; 6,25).

Анализ клеточного состава гемолимфы на основании флуоресценции LysoTracker и SYTO62 позволил также разделить общий пул гемоцитов на две популяции – популяция 1 с относительно меньшим уровнем флуоресценции обоих красителей и популяция 2, для которой был зарегистрирован более высокий уровень флуоресценции обоих зондов. Число клеток популяции 1 составило 20,88% (14,77; 28,82), а популяции 2 – 78,55% (71,23; 85,29). При этом стоит отметить, что в образцах, где на основании морфологических признаков были выявлены две ярко выраженные популяции, разделение на основании флуоресценции SYTO62 и LysoTracker также было более четким.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ для государственной поддержки научных исследований молодых российских ученых – кандидатов и докторов наук № МК-1015.2021.1.4.

Список литературы

1. Faltýnková A., Našincová V., Kablásková L. Larval trematodes (Digenea) of the great pond snail, *Lymnaea stagnalis* (L.), (Gastropoda, Pulmonata) in Central Europe: a survey of species and key to their identification // Parasite. 2007. Vol. 14, iss. 1. P. 39–51. https://doi.org/10.1051/parasite/2007141039
2. Атаев Г. Л., Прохорова Е. Е., Токмакова А. С. Защитные реакции легочных моллюсков при паразитарной инвазии // Паразитология. 2020. Т. 54, вып. 5. С. 371–401. https://doi.org/10.31857/S1234567806050028

МОНИТОРИНГ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КОНЦЕНТРАЦИИ ХЛОРОФИЛЛА «А» ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ И *IN SITU* В АРКТИЧЕСКИХ МОРЯХ

Швед Я. В. [1], Поважный В. В. [2]

[1]Российский государственный гидрометеорологический университет, г. Санкт-Петербург
[2]Лаборатория полярных и морских исследований им. Отто Ю. Шмидта, институт ААНИИ, г. Санкт-Петербург

Ключевые слова: спутники, хлорофилл «а», Арктика, мониторинг, Santinel-3, OC-CCI v5, биопродуктивность морей

Спутниковый мониторинг относится к наиболее развивающимся методам оценки состояния водной среды. Важно, чтобы информация, полученная со спутников, могла в полной мере отражать информацию, которая происходит в действительности в исследуемой области. На данный момент существуют некоторые факторы, которые препятствуют корректному получению спутниковых данных видимого и ближнего ИК-диапазонов.

Показано, что основным фактором, влияющим на завышение или занижение ДЗЗ (дистанционное зондирование Земли), является облачность, так как видимое и ближнее зондирование ИК-диапазонов основано на фиксировании солнечного излучения, которое было отражено объектами в соответствии с их спектральной отражательной способностью. При такой съемке необходимо освещение и зачастую наличие облачности очень мешает съемке, из-за чего получить какие- либо данные со спутника часто просто невозможно [1]. Также взвешенные вещества, микроводоросли (фитопланктон) существенно изменяют отражательные свойства воды [2].

Цель работы – провести сравнение экспедиционных и спутниковых данных, полученных из экспедиций Арктика 2018 и Трансарктика 2019.

Для анализа определения концентрации хлорофилла «а» были использованы спутниковые данные среднесуточных значений хлорофилла «а» на поверхности, основанные на пространственно-временной интерполяции: «Без облаков», уровень обработки L4, пространственное разрешение 4 км × 4 км, из баз данных сервиса мониторинга морской среды Copernicus (OCEANCOLOUR_GLO_CHL_L4_REP_OBSERVATIONS_009_082). Основные климатические переменные на основе спутниковых данных OC-CCI v5 были получены путем слияния SeaWiFS, VIIRS, MERIS, MODIS-Aqua и OLCI-S3A с использованием наиболее эффективной атмосферной коррекции и хлорофилла алгоритмы с коррекцией смещения, взвешенной по времени, с целью минимизировать различия между датчиками [3].

Так же были проанализированы архивные данные среднесуточных значений хлорофилла «а» со спутника Santinel-3, сенсор OLCI-A и OLCI-B, с сайта Eumetsat, полное разрешение: 300 м в надире. Была взята концентрация пигмента водорослей в чистой воде, chl_oc4me (алгоритм BAC и максимального соотношения полос, в масштабе log10).

Экспедиционные данные (*in situ*) были получены из экспедиций Арктика 2018 г. в период с августа по сентябрь и Трансарктика в мае, сентябре - октябре 2019 г. Хлорофилл «а» обрабатывался на флуориметре Тёрнер Дизайнз Трилоджи, после эстракции 90 % ацетоном [4].

В ходе работы были построены диаграмма рассеяния между экспедиционными данными и спутниковыми, а также график изменчивости хлорофилла «а» in situ и ДЗЗ-дистанционное зондирование Земли.

Результаты исследования показали, что для значений хлорофилла «а», полученных из экспедиции Арктика 2018, диаграмма рассеяния демонстрирует наличие слабой связи между заданными параметрами *in situ* и OC-CCI v5, но определенно можно сказать, что связь есть, хоть и достаточно слабая. Так же присутствуют некоторые выбросы, которые объясняются завышенными спутниковыми значениями, которые не совпадают с натурными данными. Для характеристик *in situ* и Santinel-3 выявлена невысокая корреляция, диапазон разброса точек- широкий. Такие результаты получились из-за отсутствия данных в некоторых местах и достаточно завышенных показателей хлорофилла «а», на что влияет наличие облачности. Среднее значение экспедиционных данных – 0,588 мг·м^3, OC-CCI v5 – 0,449 мг·м^3, а спутника Santinel-3 – 1,426 мг·м.

В совместном ходе изменчивости хлорофилла «а» *in situ* и ДЗЗ выделяются одинаковые пики у OC-CCI v5 и Santinel-3, что не совпадает с натурными данными, в основном из-за наличия облачности.

Для Трансарктики 2019 за сентябрь – октябрь диаграмма рассеяния между значениями in situ и OC-CCI v5 показала практически полное отсутствие связи, а для значений *in situ* и Santinel-3 очень слабую связь. Среднее значение натурных данных за весь период наблюдений – 0,753 мг·м3, OC-CCI v5 – 1,311 мг·м3 и Santinel-3 – 1,264 мг·м3. Изменчивость спутниковых данных хлорофилла «а» для заданных характеристик имеет расхождения, но все-таки в некоторых местах совпадает с натурными данными.

Диаграмма рассеяния для весеннего периода (май) демонстрирует сильную связь между *in situ* и Santinel-3, что подтверждается средним значением, и слабую между in situ и OC-CCI v5, имеются некоторые выбросы. График изменчивости значений хлорофилла «а» по спутнику Santinel-3 практически полностью описывает ход натурных данных, за исключением некоторого отсутствия данных и занижения значений в некоторых местах. OC-CCI v5 и натурные данные практически не имеют общего хода. Среднее значение данных *in situ* – 3,679 мг·м^3, OC-CCI v5 – 0,164 мг·м3 и Santinel-3 – 2,033 мг·м^3.

Несмотря на то, что в OC-CCI v5 присутствует сенсор OLCI, он был так же обработан отдельно, что впоследствии показало значительные расхождения в значениях хлорофилла «а» в некоторых местах. Можно предположить, что при слиянии сенсоров проводилась сильная атмосферная коррекция, которая занижала значения, в отличии от отдельно взятого спутника Santinel-3.

В ходе работы было выявлено, что на данный момент ДЗЗ видимого и ближнего зондирования ИК- диапазонов не дают достаточно точную информацию, которую можно использовать для спутникового мониторинга биопродуктивности водных объектов, т.к присутствие облачности искажает некоторые данные, особенно в Арктическом регионе, где облачность частое явление. Полученную информацию можно использовать, отфильтровывая места, где присутствуют облака, несмотря на то, что количество данных может сократиться, будет возможно провести наблюдения за началом «цветения».

Список литературы

1. Гительзон И. И., Чепилов В. В. Изучение водных экосистем дистанционными оптическими методами // Методические основы комплексного экологического мониторинга океана. Москва : Гидрометеоиздат, 1988. С. 230–259.
2. Симакина Т. Е., Получение и обработка спутниковых снимков : учебное пособие. Санкт-Петербург : Рос. гос. гидромет. ун-т, 2010. 127 с. (С. 33-37).
3. Schuckmann K., Traon P.-Y. L., Alvarez-Fanjul E. The Copernicus Marine Environment Monitoring Service Ocean State Report // Journal of Operational Oceanography. 2016. Vol. 9, iss. sup 2. P. 235–320. https://doi.org/10.1080/1755876X.2016.1273446
4. Arar, E. J., Collins G. B. Method 445.0 In Vitro Determination of Chlorophyll *a* and Pheophytin ain Marine and Freshwater Algae by Fluorescence. Washington, DC : U.S. Environmental Protection Agency, 1997. 22 p.

ПРИБРЕЖНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ

РЕЗУЛЬТАТЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СТЕПНЫХ ЛАНДШАФТОВ КАРАДАГСКОГО ЗАПОВЕДНИКА В ВЕСЕННИЙ СЕЗОН 2014-2019 ГГ.

Дрыгваль А. В.[1], Дрыгваль П. В.[2], Горбунов Р. В.[1], Лапченко В. А.[3]

[1]ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского РАН», г. Севастополь

[2]Российский университет дружбы народов, г. Москва

[3]Карадагская научная станция им. Т. И. Вяземского – природный заповедник РАН – филиал ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», г. Феодосия, пгт Курортное

Ключевые слова: функционирование ландшафтов, типы состояний, метеорологические параметры, весенний сезон, Карадагский заповедник

Изучение динамики любой системы основано на ритмических процессах, которые в свою очередь, являются элементами функционирования любой природной геосистемы. Они могут проходить в относительно равные промежутки времени и приводить к изменению состояния отдельных компонентов геосистемы в течение года [1]. Актуальной задачей в настоящее время является исследование многолетних состояний ландшафтов, а также разработка методов их картографирования. Знание механизмов взаимодействия геосистем и условий их среды позволяет решать проблемы прогнозирования их динамических закономерностей и тенденций [2].

Цель данной работы – проанализировать результаты функционирования степных ландшафтов в весенний сезон за период 6 лет (2014-2019 гг.) в Карадагском природном заповеднике. В качестве исходных данных использовались внутрисуточные метеорологические показатели Карадагской станции фонового экологического мониторинга, а также материалы «Летописей природы» Карадагского заповедника. Оценка функционирования степных ландшафтов в весенний сезон проводилась на основе методики И.И. Мамай [3].

В весенний сезон анализировались следующие функциональные признаки:

- Перемещение тепла;
- Перемещение влаги;
- Скорость ветра;
- Осадки;
- Прирост фитомассы, вегетация;
- Перемещение поверхностных отложений;
- Смена почв одного вида другим при сохранении типа почвообразования;
- Появление новых морфологических частей ландшафтов или исчезновение старых;
- Таяние снега;
- Почвообразование;
- Испарение и транспирация;
- Поверхностный сток;
- Изменение уровня грунтовых вод.

Продолжительность сезона на протяжении рассматриваемых 6 лет сильно менялась от 79 до 125 дней. Весна наступала во временном интервале от 10 января (2019 год) по 22 февраля (2015 год). Окончание весны отмечается в интервале 25 апреля в (2018 год) по 25 мая (в 2017 году). Самый длинный весенний период был 2019 году – 125 дней, а самый короткий весенний сезон был в 2015 году и составлял 79 дней.

Весна, в период с 2014 по 2019 года, характеризуется 50-ю вариациями типов погодных условий в Карадагском заповеднике. В 2014 году весной было выделено 32 типа, в 2015 – 31 тип, в 2016 году – 20 типов (учитывая отсутствие метеоданных за некоторый период времени) в 2017 – 29 типов, а в 2019 году выделено 40 типов погод. Некоторые типы погод повторяются в течение каждого года, а некоторые встречаются только в определенные года рассматриваемого периода.

Весенний сезон в период 2014-2019 годов характеризовался наличием как процессов накопления и развития, так и процессов уничтожения. Путем группировки и сложения основных категорий (накопление, развитие и уничтожение) процессов функционирования ландшафтов в весенний сезон, получено их соотношение, и динамика в рассматриваемый период времени. Отмечается, что в весенний сезон абсолютно преобладает процесс накопления предпосылок функционирования степных ландшафтов. Они составляют от 62,8% в 2015 году до 96,6% в 2018 году (от общего количества процессов функционирования степных ландшафтов весной).

В свою очередь, процесс развития практически не проявляется, а в отдельные годы совершенно отсутствует в весенний сезон. На результат функционирования ландшафтов "развитие" приходится небольшое количество типов погод, встречающихся только в 2015 и 2019 годах. Процессы уничтожения также имеют небольшой процент в функционировании ландшафтов, однако, в отдельные годы, увеличивая свое влияние на общий результат развития степных ландшафтов. В период с 2015 до 2017 годы процессы уничтожения составляют уже более 20% от общего объема процессов.

Весенний сезон в целом отличается высокой индивидуальностью функционирования степных ландшафтов [4]. Если зимой многие индивидуальные черты могут сглаживаться, то в весенний сезон уже накопленный ресурс зимнего сезона во многом определяет дальнейшие процессы накопления, развития и уничтожения внутри ландшафтов, а также их длительность.

Работа выполнена по темам государственного задания ФИЦ ИнБЮМ, регистрационные номера 121040100327-3 и 121032300023-7. Работа поддержана Программой стратегического академического лидерства РУДН.

Список литературы

1. Токарев А. А, Шальнев В. А. Геохимический подход в изучении ритмики морфологических единиц ландшафта // Наука. Инновации. Технологии. 2017. № 1. С. 163–174.
2. Хромых В. С. Некоторые теоретические вопросы изучения динамики ландшафтов // Вестник Томского государственного университета. 2007. № 298. С. 198-207.
3. Мамай И. И. Динамика ландшафтов: (Методика изучения). Москва : Изд-во МГУ, 1992. 167 с.
4. Мамай И. И. О вкладе весенних состояний природных территориальных комплексов в их развитие // Известия русского географического общества. 2008. Т. 140. С. 9–20.

Электронное научное издание

ПОНТ ЭВКСИНСКИЙ – 2021

XII Всероссийская научно-практическая конференция молодых учёных с международным участием по проблемам водных экосистем, посвященная 150-летию Севастопольской биологической станции – ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН»

Материалы конференции

Верстка сборника

Рычкова В. Н.

Дизайн обложки

Баяндина Ю. С.

ФИЦ «Институт биологии южных морей имени
А. О. Ковалевского РАН»
г. Севастополь, пр. Нахимова, 2
тел. + 7 (8692) 54–41–10
факс + 7 (8692) 55–78–13
E-mail: smus@ibss-ras.ru

ISBN 978-5-6044865-8-0

9 785604 486580