

ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
ИНСТИТУТ БИОЛОГИИ ЮЖНЫХ МОРЕЙ ИМЕНИ А. О. КОВАЛЕВСКОГО
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

СОВРЕМЕННАЯ ГИДРОБИОЛОГИЯ: ГЛОБАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ МИРОВОГО ОКЕАНА

Материалы XI Всероссийской онлайн-школы-семинара
для молодых ученых, студентов и аспирантов



Севастополь

28 сентября – 2 октября 2020 года

Federal Research Center

A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas
of Russian Academy of Sciences

**Modern Hydrobiology:
Global Problems of the World Ocean**

XI All-Russian online school-seminar
for young scientists, students, and postgraduates

Proceedings of the school-seminar

Sevastopol, 28 September – 2 October, 2020

Sevastopol

2020

Федеральный исследовательский центр
Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского
Российской академии наук

**Современная гидробиология:
глобальные проблемы Мирового океана**

XI Всероссийская онлайн-школа-семинар
для молодых учёных, студентов и аспирантов

Материалы школы-семинара

Севастополь, 28 сентября – 2 октября 2020 года

Севастополь

2020

УДК 574.5(063)

ББК 28.082.3я4

С 56

Современная гидробиология: глобальные проблемы Мирового океана : материалы XI Всероссийской онлайн-школы-семинара для молодых ученых, студентов и аспирантов, г. Севастополь, 28 сентября – 2 октября 2020 г. – Севастополь : ФИЦ ИнБЮМ, 2020. – 42 с.
ISBN 978-5-6044865-2-8 ; DOI: 10.21072/978-5-6044865-2-8

Сборник включает материалы докладов молодых ученых России, раскрывающих различные аспекты современной морской и пресноводной гидробиологии и гидроэкологии. В публикациях авторов освещены результаты научных исследований в области динамики численности гидробионтов и особенностей их жизненных циклов. В ряде работ рассмотрены прикладные направления гидробиологии.

Сборник составлен по материалам научных докладов на XI Всероссийской онлайн-школе-семинаре для молодых ученых, студентов и аспирантов «Современная гидробиология: глобальные проблемы Мирового океана» (28 сентября – 2 октября 2020 г., г. Севастополь).

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

УДК 574.5(063)

ББК 28.082.3я4

Modern Hydrobiology: Global Problems of the World Ocean : proceedings of the XI All-Russian online school-seminar for young scientists, students, and postgraduates, Sevastopol, September 28 – October 2, 2020. - Sevastopol : IBSS, 2020. – 42 p.

ISBN 978-5-6044865-2-8 ; DOI: 10.21072/978-5-6044865-2-8

The book includes materials of the reports of Russian young scientists, revealing various aspects of modern marine and freshwater hydrobiology and hydroecology. The materials highlight the results of the research on the hydrobionts number dynamics and peculiarities of their life cycles. Some papers are devoted to the applied hydrobiology.

The book was prepared on the basis of scientific reports of XI All-Russian online school-seminar for young scientists, students, and postgraduates "Modern Hydrobiology: Global Problems of the World Ocean" (Sept. 28 – Oct. 2, 2020, Sevastopol).

The book is intended for young scientists in the field of marine and freshwater hydrobiology, hydroecology, biotechnology, aquaculture, marine ecology, and zoology.

Материалы опубликованы с сохранением авторской редакции

Печатается по решению ученого совета
Института биологии южных морей имени
А. О. Ковалевского РАН
(протокол № 10 от 21.09.2020)

ISBN 978-5-6044865-2-8

© Авторы, 2020
© ФИЦ ИнБЮМ, 2020

ОРГАНИЗАТОР



Совет молодых ученых ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН»

пр. Нахимова, 2, г. Севастополь, 299011, Россия
smus@ibss-ras.ru

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

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

Сопредседатель оргкомитета: *Скуратовская Екатерина Николаевна*
к.б.н., заместитель директора ФИЦ ИнБЮМ, куратор СМУ ФИЦ
ИнБЮМ,

Заместитель председателя оргкомитета: *Андреева Александра Юрьевна* к.б.н.,
председатель СМУ ФИЦ ИнБЮМ

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.

Горбунова Т. Ю., н.с.

Дрыгваль А. В., м.н.с.

Кладченко Е. С., м.н.с.

Ковалева М. А., м.н.с.

Кухарева Т. А., м.н.с.

Малахова Т. В., к.б.н. с.н.с.

Миронюк О. А., и.о. м.н.с.

Мурашова А. И., вед. инж.

Рычкова В. Н., вед. инж.

Сахонь Е.Г., м.н.с.

ПРИ ФИНАНСОВОЙ ПОДДЕРЖКЕ



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

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Абибулаева А. Ш.</i> Новые находки сидячих инфузорий (<i>Ciliophora, Peritrichia</i>) на зеленых нитчатых водорослях <i>Cladophora sivashensis</i> в заливе Сиваш (Азовское море)	7
<i>Баяндина Ю. С.</i> Термочувствительность икры и личинок камбалы калкана, полученных от разных производителей, в разные фазы нерестового сезона	9
<i>Евсеева А. А.</i> Реакция макрозообентоса малого водотока на кратковременное техногенное воздействие	10
<i>Ильясова А. И., Голиков А. В., Захаров Д. В., Сабиров Р. М.</i> Добавочные нидаментальные железы трех видов рода <i>Rossia</i> (<i>Cephalopoda, Sepiolida</i>) из Баренцева моря	12
<i>Кладченко Е. С., Андреева А. Ю.</i> Осмотическая стойкость гемоцитов двустворчатого моллюска <i>Anadara kagoshimensis</i> (Bruguiere, 1789)	14
<i>Кухарева Т.А., Зинькова Д.С.</i> Лейкоцитарный состав крови бычка-кругляша (<i>Cobitis cobitis</i> Pallas, 1814) в условиях экспериментальной гипоксии	15
<i>Ляшко Т. В.</i> Катионы марганца и нитрат-анионы как главные маркеры загрязненности подземных вод севастопольского региона	17
<i>Мурашова А. И., Малахова Т. В., Евтушенко Д. Б.</i> Флюидная эмиссия метана из дна эстуария р. Черной (г. Севастополь)	19
<i>Орлов М. А., Шелудков А. В., Екимова И. А.</i> Модели пространственного распространения (Species Distribution Models) голожаберных моллюсков (<i>Nudibranchia</i>) Белого моря	21
<i>Павшенко Д. А., Бондарева Л. В.</i> Раритетные виды сосудистых растений г. Севастополя: распространение и анализ принятых мер для охраны	22
<i>Параскив А. А., Проскурнин В. Ю.</i> Изучение седиментационных процессов в Черном море с помощью радиоизотопов плутония	24
<i>Полетаев Д. А.</i> Система сбора микропластика в водных средах	26
<i>Приймак А. В., Штрунц А. С., Поспелов С.С., Посторонюк К. М., Поспелова Н. В.</i> Мидийная ферма – биофильтр морских прибрежных вод	28
<i>Проскурнин В. Ю.</i> Трансурановые элементы в Черном море: современные уровни и потоки	30
<i>Рычкова В. Н., Кухарева Т. А., Кладченко Е. С., Андреева А. Ю.</i> Влияние гипоосмотической нагрузки на морфофункциональные показатели гемоцитов <i>Anadara kagoshimensis</i> (Bruguiere, 1789)	32
<i>Семенова А. С.</i> Результаты многолетнего мониторинга состояния зоопланктона юго-восточной части Балтийского моря	34
<i>Тихонов А. Ю., Орлов М. А.</i> Эволюция коротких tandemных повторов (SSR) под давлением селекции: пример карповых рыб (<i>Cyprinidae</i>)	35
<i>Ткачук А. А., Андреева А. Ю., Кладченко Е. С.</i> Влияние продуктов разложения пластика в океане (фталатов) на функциональные показатели черноморской мидии (<i>Mytilus galloprovincialis</i>)	37
<i>Товарчий Я. Ю., Вертерич А. В., Чайкин Д. Ю., Козловская О. Н., Довгий И. И.</i> Оценка состояния подземных вод, формирующих субмаринную разгрузку у м. Айя	38
<i>Haydarov S. M., Khujamshukurov N. A., Kuchkarova D. Kh.</i> Cultivation of zooplankton: microalgae as a valuable feed source	39

НОВЫЕ НАХОДКИ СИДЯЧИХ ИНФУЗОРИЙ (*CILIOPHORA*, *PERITRICHIA*) НА ЗЕЛЕННЫХ НИТЧАТЫХ ВОДОРОСЛЯХ *CLADOPHORA SIVASHENSIS* В ЗАЛИВЕ СИВАШ (АЗОВСКОЕ МОРЕ)

Абибулаева А. Ш.

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

Ключевые слова: *Cothurnia*, *Cothurniopsis*, гиперсолёные воды, Азовское море, залив Сиваш

Гиперсолёные водоемы относятся к числу экстремальных местообитаний для гидробионтов и характеризуются обедненным видовым богатством.

Сиваш, или Гнилое море, – залив на западе Азовского моря. Это наиболее крупный гиперсолёный водоем Крыма, площадь его составляет (2700 км²). Сиваш – мелководный залив, его максимальная глубина в южной части до 3,2 м, в средней – от 0,63 до 0,86 м, поэтому летом вода в нем прогревается до 30–35 °С. Сиваш отделяет Крымский полуостров от материка. Он вытянут с севера на юг и отделен от Азовского моря с востока длинной (116 км) песчаной косой Арабатская Стрелка, а соединяется с морем Геническим проливом и проливом Промойна; с запада залив примыкает к Крымскому полуострову. Узкий Чонгарский пролив делит Сиваш на восточную и западную части. От Чёрного моря залив отделен узким Перекопским перешейком.

Кроме того, специфика Сиваша заключается в том, что здесь отмечается градиент солёности от 20–30 ‰ в его северной части до 100 ‰ в южной. Это создает разнообразие местообитаний в разных частях залива, соответственно меняется видовое богатство и состав водных организмов. По мере повышения солёности в Сиваше наблюдается изменение характера фауны от морской до ультрагалинной [1].

До строительства Северо-Крымского канала, по которому на полуостров стала поступать вода реки Днепр, залив был полузамкнутой гиперсолёной лагуной (средняя солёность 140 ‰) [1]. После строительства канала днепровская вода стала использоваться для орошения, сброс дренажных вод происходил в залив Сиваш. Это привело к падению в нем солёности в среднем до 20–23 ‰, произошла полная перестройка экосистемы залива. В апреле 2014 года канал был перекрыт, в Сиваше начался рост солёности до 80–100 ‰ [2]. Это привело к интенсивному развитию зелёной нитчатой водоросли *Cladophora sivashensis* Meyer, 1922, которая образует на большой площади плавучие маты с биомассой до 2–2,5 кг/м².

Организмы эпифитона могут достигать большого обилия и играть важную роль в функционировании различных водных экосистем. При этом существенной составной частью эпифитона являются сидячие инфузории, среди которых наиболее изучены кругоресничные инфузории-сессилиды. Кругоресничные инфузории являются достаточно распространенными в природных водоемах и играют важную роль в поддержании биологического равновесия в них, в процессах самоочищения воды, являются организмами-индикаторами санитарно-гигиенического состояния водоемов, а также входят в спектры питания различных гидробионтов.

К настоящему времени для гиперсолёных вод Крыма известны 24 вида Ciliophora, в том числе в Сиваше были найдены сидячие виды *Acinetides infundibuliformis* (Wang et Nie, 1933) (Class Suctorea) на водоросли *Cladophora* sp., *Cothurnia maritima* Ehrenberg, 1838 (Subclass Peritrichia) на гарпактикоидах и *Conidophrys fucatum* (Averinzeff, 1916) (Order Pilisuctorida Jankowski, 1966) на бокоплавах *G. subtipicus* Stock, 1966 и *G. aequicauda* (Martynov, 1931).

На водной и донной поверхности залива Сиваш локально распространены маты, образованные макроводорослями, главным образом *Cladophora*. Маты являются специфическим биотопом для развития разнообразной мейофауны.

С целью изучения таксономического разнообразия и количественного развития бентосной фауны на данном субстрате на двух станциях в условиях различного режима солёности в июне 2019 г. выполнены сборы матов. На станции 1,

расположенной на северо-западе залива (45°37'9,0"N, 35°04'40,0"E), соленость воды составляла 68 ‰ при температуре 26 °С, на станции 2 в южной части залива (45°17'14.3" N, 35°28'01.2"E) соленость достигала 84 ‰ при температуре 29 °С.

Предварительная обработка матов для дальнейшего анализа фауны проводилась следующим образом. Собранные образцы водорослей фиксировали в 4% формалине. Водоросли тщательно промывали водой через нейлоновое сито с диаметром сетки 63 мкм. После промывки образцов полученный осадок помещали в небольшой объем дистиллированной воды и окрашивали, затем их анализировали под световым микроскопом. Вся обнаруженная фауна определялась и подсчитывалась с последующей идентификацией до вида.

При анализе таллома с помощью микроскопа CX41 при увеличении 600–1000х было обнаружено большое количество очень мелких прикрепленных и свободноживущих инфузорий, оставшихся на их поверхности. Тщательное изучение этих организмов выявило представителей, неизвестных для Сивашского залива и Азовского моря. Рисунки и измерения производились с помощью стереомикроскопа Nikon E200 и с помощью программы Topr View 3.7 для цифрового фотоаппарата. Для определения инфузорий пользовались монографией Варрена и Паинтера [3].

Во время изучения обрастаний талломов зеленой нитчатой водоросли *Cladophora sivashensis*, собранной в заливе Сиваш нами были обнаружены три вида перитрих: *Cothurnia trophoniae* Dons, 1946, *C. pedunculata* Dons, 1918 и *Cothurniopsis valvata* Stokes, 1893. Перечисленные выше виды являются новыми как для залива Сиваш, так и для Азово-Черноморского бассейна в целом [4]. Плавающие маты широко распространены в гиперсоленых водоемах Крыма и являются удобным субстратом для эпибионтных инфузорий. Тот факт, что все найденные на них виды оказались новыми для акватории, свидетельствует о недостаточной изученности инфузорий эпифитона в регионе.

Госзадание АААА-А19-119060690014-5 «Фундаментальные исследования популяционной биологии морских животных, их морфологического и генетического разнообразия».

Список литературы

1. Довгаль И., Костюшин В. Природа Сивашского региона и влияние на нее человека (состояние изученности и библиография). Киев : Wetlands International, 2005. 232 с.
2. Shadrin N., Kolesnikova E., Revkova T., Latushkin A., Chepyzhenko A., Dyakov N., Anufrieva E. Macrostructure of benthos along a salinity gradient: The case of Sivash Bay (the Sea of Azov), the largest hypersaline lagoon worldwide // Journal of Sea Research. 2019. Vol. 154. Art. no. 101811 (9 p.). <https://doi.org/10.1016/j.seares.2019.101811>
3. Warren A., Paynter J. A revision of *Cothurnia* (Ciliophora, Peritrichida) and its morphological relatives // Bulletin of the British Museum (Natural History). Zoology ser. 1991. Vol. 57, no. 1. P. 17–59.
4. Sergeeva N., Shadrin N., Abibulaeva A., Dovgal I. Records of sessile ciliates (Ciliophora, Peritrichia) on the green filamentous algae *Cladophora sivashensis* in the Sivash Bay (the Sea of Azov) // Protistology. 2020. Vol. 14, no. 2. P. 89-94. <https://doi.org/10.21685/1680-0826-2020-14-1-6>

ТЕРМОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ИКРЫ И ЛИЧИНОК КАМБАЛЫ КАЛКАНА, ПОЛУЧЕННЫХ ОТ РАЗНЫХ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ, В РАЗНЫЕ ФАЗЫ НЕРЕСТОВОГО СЕЗОНА

Баяндина Ю. С.

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

Ключевые слова: *Psetta maxima maeotica*, калкан, эмбрионы, икра рыб, личинки рыб, искусственное воспроизводство

Черноморская камбала калкан *Psetta maxima maeotica* (Scophthalmidae, Pisces), является одним из важных компонентов экосистемы Черного моря. Эффективность воспроизводства камбалы варьирует в зависимости от комплекса различных факторов, включая исходное качество икры и температурные условия окружающей среды. Качество икры определяется способностью овулировавших икринок к оплодотворению и последующему правильному эмбриональному развитию. Генотип и физиологическое состояние самки и самца оказывают прямое влияние на качество оплодотворенной икры [1].

Термочувствительность эмбрионов и личинок черноморского калкана и атлантического тюрбо меняется, а процессе развития [2, 3]. Нарушения температуры воды при инкубации оказывают негативное действие на процессы развития эмбрионов, снижая их выживаемость [4].

Цель нашей работы – оценка термочувствительности икры и личинок калкана, полученных от разных производителей из естественных популяций в разные фазы нерестового периода.

Икру и сперму получали сразу после вылова калкана, производили искусственное оплодотворение и доставляли в лабораторию для дальнейших исследований.

Эмбрионов и личинок содержали при стабилизированной температуре 15, 18 и 21 °С в течение нерестового сезона с апреля по июнь. Нерестовый сезон был условно разделен на следующие фазы: апрель – первые числа мая – начало сезона нереста; середина – конец мая – середина сезона; июнь – конец сезона. Всего отслеживали развитие шести партий икры от различных производителей.

Перед распределением икры в экспериментальные емкости измеряли её морфологические параметры: диаметр икры (D, мкм) и диаметр жировой капли (OD, мкм). Рост и развитие личинок оценивали по их стандартной длине (SL, мкм), диаметру жировой капли (OD, мкм) и объему желточного мешка (VYS, мкл³). Выживаемость определяли методом ежедневного подсчета доли отхода (%).

Показано, что диаметр качественной оплодотворенной икры находился в пределах от 1255 до 1360 мкм, а диаметр жировой капли от 208 до 231 мкм. Морфологические параметры икры варьировали в зависимости от родительского фактора ($k=0,61$, $p=0,01$) и от фазы нерестового сезона ($k=0,53$, $p=0,03$). Обнаружена значимая корреляция между коэффициентом вариации стандартной длины личинок на выклеве и родительским фактором ($k=0,70$, $p=0,04$). Коэффициенты корреляции между другими факторами оказались недостоверными. Установлено, что толерантность к повышенным температурам в начале эмбриогенеза ниже, чем на этапах завершения гастрюляции и выклева. Оптимум температур в начале сезона нереста сдвинут к 15°С, к середине и концу к 15–18 °С.

Государственное задание № АААА-А18-118020790229-7.

Список литературы

1. Thorsen A., Trippel E. A., Lambert Y. Experimental methods to monitor the production and quality of eggs of captive marine fish // Journal of Northwest Atlantic Fishery Science. 2003. Vol. 33. P. 55–70. <https://doi.org/10.2960/J.v33.a4>

2. Битюкова Ю. Е., Ткаченко Н. К., Чепурнов А. В. Термочувствительность калкана *Psetta maeotica* (Pallas) (Scophthalmidae Pisces) в период эмбрионального развития при искусственном выращивании // Вопросы ихтиологии. 1984. Т. 24, № 3. С.459–463.
3. Gibson S., Johnston I. A. Temperature and development in larvae of the turbot *Scophthalmus maximus* // Marine Biology. 1995. Vol. 124, no. 1. P. 17–25. <https://doi.org/10.1007/BF00349142>
4. Finn R. N., Rnnestad I. The effect of acute changes in temperature and light on the aerobic metabolism of embryos and yolk-sac larvae of turbot (*Scophthalmus maximus*) // Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. 2003. Vol. 60, no. 11. P. 1324–1331. <https://doi.org/10.1139/f03-113>

РЕАКЦИЯ МАКРОЗООБЕНТОСА МАЛОГО ВОДОТОКА НА КРАТКОВРЕМЕННОЕ ТЕХНОГЕННОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ

Евсеева А. А.

Алтайский филиал ТОО «Научно-производственный центр рыбного хозяйства», Казахстан,
г. Усть-Каменогорск

Ключевые слова: макрозообентос, загрязнение, водоток, цианиды

Цель данной работы – выявить особенности реакции донных беспозвоночных на кратковременные залповые сбросы загрязняющих веществ. В качестве примера взят аварийный сброс цианидов с золотопромышленного предприятия в малый водоток.

29.10.2011 г. в с. Секисовка Глубоковского района Восточно-Казахстанской области произошел аварийный сброс стоков. Причина происшествия – нарушение гидроизоляционного слоя на хвостохранилище №3 золотодобывающего комплекса, который принадлежит ТОО "Горнорудное предприятие "Секисовское" компании Hambleton mining company limited", в результате чего технологическая вода с отходами производства через систему дренажных канав растеклась по рельефу местности и попала в ручей Волчевка. Ручей является притоком р. Секисовка, впадающей в р. Малая Убинка, которая впадает в р. Уба, а та в Шульбинское водохранилище, расположенное на трансграничной реке Иртыш. Мониторинг качества поверхностных вод по показателям зообентоса проводили с 2.11 по 10.11.2011 г до установления ледостава на водотоках. Для оценки качества воды использовали следующие метрики: количество таксонов, индекс ЕРТ, биотический индекс Вудивисса (БИ), кроме этого регистрировали физиологическое состояния донных беспозвоночных.

Результаты отбора проб 02.11.2011 г. 1. р. Секисовка, ниже впадения руч. Волчевка. Зафиксирована массовая гибель рыбы и донных беспозвоночных (гаммарусы, личинки двукрылых и ручейников). Содержание цианидов – 516 ПДК (25,8 мг/л).

2. р. Малая Убинка, 0,5 км ниже впадения р. Секисовка. В пробе обнаружено 15 таксонов беспозвоночных: личинки ручейников *Hydropsyche pellucidula*, *Brachycentrus amecicanus*, *Anabolia laevis*, личинки веснянок *Isoperla* sp., личинки поденок *Leptophlebia standii*, *Caenis horaria*, *Ephemera orientalis*, моллюски *Lymnaea auricularia*, личинки двукрылых *Tipula* sp., *Ceratopogonidae* sp., *Chironominae* sp., *Tanypodinae* sp., *Orthocladinae* sp., клопы *Micronecta* sp., малощетинковые черви *Oligochaeta* sp. Погибших беспозвоночных не обнаружено. БИ – 9, ЕРТ – 7, II класс качества (вода чистая).

Результаты отбора проб 04.11.2011 г. 1. р. Секисовка, выше впадения руч. Волчевка (фоновый створ). Зообентос живой, подвижный, в пробе обнаружены личинки ручейников *Ceratopsyche newae*, *B. amecicanus*, личинки поденок *Epeorus pellucidus*, личинки веснянок *Arcynopteryx polaris*, личинки комаров *Diamesinae* sp.,

личинки мошек Simuliidae sp. и гаммарусы Gammarus sp. Значение биотического индекса 7, III класс качества, ЕРТ – 4.

2. р. Секисовка, в черте с. Секисовка (ниже впадения руч. Волчевка). Обнаруженные личинки веснянок, ручейников, двукрылых мертвые. Концентрация цианидов – 11,8 мг/л (236 ПДК).

3. р. Секисовка, п. Малоубинка 0,5 км до впадения в р. Малая Убинка. Донные беспозвоночные малоподвижны, обнаружено 10 таксонов: личинки ручейников *H. pellucidula*, *C. newae*, личинки поденок *E. orientalis*, личинки двукрылых *Tipula* sp., Ceratopogonidae sp., Chironominae sp., Tanypodinae sp., Hexatoma sp., *Antocha vitripennis* и гаммарусы Gammarus sp. БИ 7, III класс качества, ЕРТ – 3.

4. р. Малая Убинка, 0,5 км до впадения р. Секисовка. Бентос живой, подвижный. БИ 7, III класс качества, ЕРТ – 4. В пробе обнаружены личинки ручейников *B. amecicanus*, личинки веснянок *Isoperla asiatica*, личинки поденок *Siphonurus lacustris*, *Ephemerella lenoki*, личинки двукрылых Chironominae sp., Tanypodinae sp., Orthocladinae sp., клопы Micronecta sp., водяные клещи Arachnidae sp.

5. р. Малая Убинка, ниже 0,5 км впадения р. Секисовка. Концентрация цианидов – 0,29 мг/л (5,8 ПДК). Бентос живой, подвижный, активный. БИ 9, II класс качества, ЕРТ – 9. В пробе обнаружено 15 таксонов: личинки ручейников *Mystacides azureus*, *Lymnephilus stigma*, *H. pellucidula*, личинки веснянок *I. asiatica*, личинки поденок *Heptagenia sulfurea*, *E. orientalis*, *C. horaria*, *E. lenoki*, Baetis sp., личинки двукрылых *A. vitripennis*, *Tipula* sp., Chironominae sp., клопы Micronecta sp., водяные клещи Arachnidae sp.

Результаты отбора проб 06.11.2011 г. 1. р. Секисовка, выше впадения руч. Волчевка. Бентос живой, подвижный. В пробе определено 11 таксонов: личинки ручейников *B. amecicanus*, *C. newae*, *Rhyacophila sibirica*, личинки поденок Baetis sp., личинки двукрылых *A. vitripennis*, Chironominae sp., Diamesinae sp., Orthocladinae sp., Tanytarsus sp., Pericoma sp., гаммарусы Gammarus sp. БИ 8, ЕРТ – 4, II класс качества.

2. р. Секисовка, в черте с. Секисовка (ниже впадения руч. Волчевка). Обнаружено 8 таксонов беспозвоночных: личинки ручейников, двукрылых, жуков, пиявки, гаммарусы. Все донные беспозвоночные погибшие. Концентрация цианидов – 16 ПДК.

3. р. Секисовка, п. Малоубинка 0,5 км до впадения в р. Малая Убинка. Бентос живой, подвижный. БИ 6, III кл. качества. На месте отбора обнаружены погибшие беспозвоночные. Концентрация цианидов – 92 ПДК.

4. р. Малая Убинка, 0,5 км до впадения р. Секисовка. В целом беспозвоночные живые, подвижные, среди мертвых – личинки ручейников и двукрылых. БИ 6, III кл. качества, ЕРТ – 3. Количество таксонов – 10: личинки ручейников *B. amecicanus*, *C. newae*, *H. pellucidula*, личинки двукрылых *A. vitripennis*, *Tipula* sp., Hexatoma sp., Chironominae sp., моллюски *Valvata* sp., малощетинковые черви *Oligochaeta* sp.

5. р. Малая Убинка, 0,5 км ниже впадения р. Секисовка. Живой, подвижный. Количество таксонов – 20 (личинки поденок, ручейников, веснянок, двукрылых, стрекоз, клопы, олигохеты, моллюски). ЕРТ – 9. БИ 10, I класс качества. Однако на месте отбора обнаружено 50% погибших беспозвоночные, среди них личинки поденок, ручейников, двукрылых. Концентрация цианидов – 14 ПДК.

Результаты отбора проб 10.11.2011 г. 1. р. Секисовка, выше впадения руч. Волчевка. Донных беспозвоночных отобрать не удалось, так как водоток уже был покрыт льдом.

2. р. Секисовка, в черте с. Секисовка (после впадения руч. Волчевка). Обнаружены только погибшие личинки двукрылых и ручейников. Концентрация цианидов – 4,4 ПДК.

В целом, в составе сообществ макрозообентоса в створе р. Секисовка, в черте с. Секисовка (после впадения руч. Волчевка) во все дни исследований были зарегистрированы только погибшие беспозвоночные. Ниже по течению в створах р. Секисовка и р. Малая Убинка в первые несколько дней после сбросов погибших

беспозвоночных обнаружено не было, в последние дни мониторинга количество погибших особей составляло до 50%. Таким образом, в месте сброса и ниже на расстоянии нескольких км произошло отравление водных организмов токсическими веществами. На фоновых участках исследования донные беспозвоночные были живые и подвижные.

ДОБАВОЧНЫЕ НИДАМЕНТАЛЬНЫЕ ЖЕЛЕЗЫ ТРЕХ ВИДОВ РОДА *ROSSIA* (*CEPHALOPODA*, *SEPIOLIDA*) ИЗ БАРЕНЦЕВА МОРЯ

Ильясова А. И.¹, Голиков А. В.¹, Захаров Д. В.^{2,3}, Сабиров Р. М.¹

¹Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань,

²Полярный филиал ВНИРО, г. Мурманск,

³Мурманский морской биологический институт РАН, г. Мурманск

Ключевые слова: *Cephalopoda*, *Sepiolida*, *Rossia*, головоногие, Арктика, добавочные нидаментальные железы, Баренцево море

В последние годы наблюдается повышенный интерес к Арктике, вызванный спорами о возможных климатических изменениях. Одна из обсуждаемых тем – влияние возможного потепления на арктическую экосистему. Головоногие моллюски – одна из наиболее важных групп в экосистеме Мирового Океана, однако в Арктике число их видов невелико, а их биология исследована крайне слабо. Сепиолиды рода *Rossia* – наиболее массовые представители арктических донных головоногих. В Баренцевом море постоянно обитает как минимум три вида данного рода: *Rossia palpebroso* Owen, 1834, *R. megaptera* Verrill, 1881 и *R. moelleri* Steenstrup, 1856. Несмотря на слабую изученность арктических сепиолид в целом, их половая система изучена подробно. Репродуктивная система самок устроена сходно и включает непарный яичник, левый яйцевод с яйцеводной железой и парные нидаментальные (НЖ) и добавочные нидаментальные железы (ДНЖ). ДНЖ заполнены симбиотическими бактериями, выделяющими антимикробный секрет для защиты кладок яиц.

Целью данной работы является изучение гистологического строения и морфометрических характеристик ДНЖ трех видов сепиолид рода *Rossia* из Баренцева моря в контексте их взаимодействий с симбионтами.

Материал для исследования собран в ходе экосистемной съемки, выполняемой ПИНРО (г. Мурманск) и Институтом морских исследований (Берген, Норвегия) в 2005–2017 гг. Было обработано 42 самки *R. palpebroso* (III–V₂ стадии зрелости (ст. зр.), длина мантии (ДМ) 18–52 мм), 21 самка *R. megaptera* (III–V₂ ст. зр., ДМ 23–42 мм) и 6 самок *R. moelleri* (V₁–V₂ ст. зр., ДМ 62–76 мм). У каждого животного извлекали ДНЖ, измеряли их длину, ширину и массу. Также подсчитывали плодовитость исследуемых особей. Гистологические препараты изготавливали по стандартной методике, окрашивание проводили гематоксилин-эозином. На срезах подсчитывали количество трубочек и их площадь, а также площадь сечения всей железы и суммарный периметр трубочек. Статистическую обработку проводили в программе Past 3.25, для оценки различий между полученными значениями применяли U-критерий Манна-Уитни и однофакторный дисперсионный анализ ANOVA.

ДНЖ исследуемых видов внешне идентичны. Железы ушковидные, мелкие. На вентральной поверхности имеется желоб, куда впадают протоки НЖ, функция которых – синтез третичных яйцевых оболочек. По-видимому, именно в этой части ДНЖ происходит выделение антимикробного секрета. По мере созревания животного ДНЖ приобретают ярко-красный цвет.

Железы *R. megaptera* и *R. moelleri* имеют большие относительные размеры по

сравнению с таковыми у *R. palpebrosa* на всех изученных стадиях зрелости, что может объясняться более высокой плодовитостью этих видов [1, 2]. Рост ДНЖ у изученных нами сепиолид носит отрицательный аллометрический характер. В ходе онтогенеза наблюдается увеличение длины ДНЖ, ширина при этом практически не изменяется, что говорит о приобретении железой вытянутой формы.

С увеличением плодовитости наблюдается незначительное уменьшение размеров ДНЖ. Вероятно, на фоне общей компактизации органов мантийной полости, характерной для сепиолид, основной объем репродуктивной системы созревающих и зрелых самок приходится на яичник с крупноразмерными ооцитами.

Относительная и абсолютная масса ДНЖ *R. megaptera* и *R. moelleri* также превышает таковую у *R. palpebrosa*. По мере роста животного масса желез у изученных видов также закономерно увеличивается.

Гистологическое строение ДНЖ исследуемых видов сходно. Покров железы образован многоядным мерцательным эпителием, его высота наиболее выражена в области желоба - вероятно, это связано с секреторной функцией этой части железы. Строма образована соединительной тканью. На срезах видны трубочки, стенки которых образованы однослойным кубическим эпителием различной морфологии: трубочки первого типа образованы вакуолизированными, хорошо просвечивающимися клетками с крупными ядрами, трубочки второго типа состоят из более плотных клеток, в которых с трудом различимы ядра, что согласуется с имеющимися литературными данными по тропическим видам [3]. Внутри трубочек хорошо различимы бактериальные массы различной плотности. Рыхлые скопления образованы, предположительно, бациллами и характерны для трубочек первого типа, более плотные, гомогенные скопления образованы, предположительно, кокками, и характерны для трубочек второго типа [3].

Площадь сечения железы, занимаемая трубочками, у *R. megaptera* достоверно превышает таковую у *R. palpebrosa* на всех изученных стадиях зрелости. У *R. moelleri* значение этого признака занимает промежуточное положение. С увеличением площади сечения ДНЖ доля, занимаемая трубочками, их суммарная площадь сечения и периметр возрастают, что может указывать на увеличение секреторной активности железы, связанной с половым созреванием животного.

Результаты морфометрического и гистологического анализа ДНЖ исследуемых видов позволяют предположить, что по мере созревания и повышения плодовитости животного секреторная активность железы растет. Это может указывать на увеличение потребности в антимикробном секрете для защиты кладок яиц, т.к. протоки ДНЖ впадают в НЖ, образуя третичные яйцевые оболочки.

Список литературы

1. Канафина М. М. Морфология репродуктивной системы *Rossia megaptera* (Cephalopoda, Sepiolida) в Баренцевом море // Материалы Международного молодежного научного форума «ЛОМОНОСОВ-2018» / отв. ред. И. А. Алешковский, А. В. Андриянов, Е. А. Антипов. [Электронный ресурс]. Москва : МАКС Пресс, 2018.
2. Лепихина П. П. Репродуктивная биология *Rossia moelleri* (Cephalopoda, Sepiolida) в российской Арктике // Материалы Международного молодежного научного форума «ЛОМОНОСОВ-2018» / отв. ред. И. А. Алешковский, А. В. Андриянов, Е. А. Антипов. [Электронный ресурс]. Москва : МАКС Пресс, 2018.
3. Collins A. J., LaBarre B. A., Wong Won B. S., Shah M. V., Heng S., Choudhury M. H., Haydar S. A., Santiago J., Nyholm S. V. Diversity and Partitioning of Bacterial Populations within the Accessory Nidamental Gland of the Squid *Euprymna scolopes* // Applied and Environmental Microbiology. 2012. Vol. 78, no. 12. P. 4200–4208. <https://doi.org/10.1128/AEM.07437-11>

ОСМОТИЧЕСКАЯ СТОЙКОСТЬ ГЕМОЦИТОВ ДВУСТВОРЧАТОГО МОЛЛЮСКА *ANADARA KAGOSHIMENSIS* (BRUGUIERE, 1789)

Кладченко Е. С., Андреева А. Ю.

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

Ключевые слова: осмолярность, гемоциты, двустворчатые моллюски, осмотическая стойкость

По особенностям стратегии адаптации к соленосному стрессу гидробионты разделяются на осмоконформеров и осморегуляторов. К организмам осморегуляторов относится большинство видов костистых рыб. Независимо от солености окружающей среды осмолярность жидких сред организма осморегуляторов остается постоянной, приблизительно на уровне 300–400 мОсмоль/кг. К осмоконформерам относятся миксины, акулы, скаты и двустворчатые моллюски. Среди осмоконформеров особый интерес представляют двустворчатые моллюски. Единственный механизм адаптации к соленосному стрессу на организменном уровне – изоляция мягких тканей. Кроме этого, осмолярность плазмы моллюсков изменяется вслед за изменением солености морской воды. Очевидно, что широкий диапазон соленосной толерантности моллюсков должен обеспечиваться за счет клеточных механизмов адаптации. В качестве модельного объекта для проведения исследований в области клеточной осморегуляции моллюсков целесообразно использовать гемоциты. Данный тип клеток выполняет функцию транспорта, заживления тканей, пищеварения и иммунного ответа.

Настоящая работа посвящена изучению осмотической стойкости гемоцитов эвригалинного двустворчатого моллюска *Anadara kagoshimensis*.

Особей *A. kagoshimensis* собирали в марте 2020 г. в прибрежной акватории г. Севастополя. Исследовано 10 экземпляров массой $16,3 \pm 1,2$ г и высотой створки $29,5 \pm 0,9$ 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 ‰). Согласно стандартной методике гемо-лимфу отбирали стерильным шприцом из мышцы-замыкателя и трижды отмывали в стерильной морской воде. Испытание осмотической хрупкости проводили путем серийных разведений стерильной морской воды в диапазоне осмолярности от 350 до 20 мОсм/л. Осмолярность среды контролировали на каждом этапе разбавления. Степень изменения гемолиза и объема гемоцитов определяли методом малоуглового рассеяния света.

В ходе серии *in vitro* экспериментов исследован процесс регуляции объема гемоцитов. Средний клеточный объем гемоцитов в норме составил $354,0 \pm 24,4$ фл. Максимальное набухание ($555,5 \pm 57,4$ фл) зафиксировано при осмолярности 194 мОсм·л⁻¹. Оценка осмотической стойкости гемоцитов показала, что лизис гемоцитов анадары начинается при 273 мОсм·л⁻¹ и заканчивается при 20 мОсм·л⁻¹. Лизис 50% гемоцитов суспензии наблюдается при $110,1 \pm 2,9$ мОсм·л⁻¹. Согласно результатам эксперимента гемоциты анадары более осмотически стойкие клетки в сравнении с эритроцитами представителей осморегуляторов – эритроцитами лягушек [1], морских [2] и пресноводных рыб [3]. Высокая осмотическая стойкость гемоцитов анадары вероятно обеспечивается способностью регулировать объем в осмотически нарушенных условиях. Механизмы, лежащие в основе реакции RVD у моллюсков до конца не ясны. Bregante с соавторами предположили, что реакция RVD в гемоцитах средиземноморской мидии может осуществляться за счет активации K⁺-Cl⁻ котранспорта [4], поскольку инкубация клеток пищеварительной железы с ингибиторами K⁺-Cl⁻ котранспорта (DIDS или глибенкламид), полностью

блокировала реакцию RVD после гипоосмотического набухания. По всей видимости, способность к восстановлению объема в условиях гипоосмотической нагрузки обуславливает широкий диапазон галлотолерантности анадары.

Высокая осмотическая стойкость гемоцитов *A. kagoshimensis* может свидетельствовать о способности гемоцитов регулировать объем в условиях солевого стресса.

Госзадание АААА-А18-118021490093-4 «Функциональные, метаболические и токсикологические аспекты существования гидробионтов и их популяций в биотопах с различным физико-химическим режимом» при частичной финансовой поддержке гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых - кандидатов наук (номер проекта МК609.2020.4).

Список литературы

1. Andreyeva A. Y., Skverchinskaya E. A., Gambaryan S., Soldatov A. A., Mindukshev I. V. Hypoxia inhibits the regulatory volume decrease in red blood cells of common frog (*Rana temporaria*) // Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology. 2018. Vol. 219. P. 44–47. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2018.02.016>
2. Demanche R. The osmotic fragility of red blood cells of marine animals: A comparative study. Dissertations, Theses, and Masters Projects. Paper 153962508. 1980. 27 p. <https://dx.doi.org/doi:10.21220/s2-1jmc-wk51>
3. Andreyeva A. Y., Soldatov A. A., Krivchenko A. I., Mindukshev I. V., Gambaryan S. Hemoglobin deoxygenation and methemoglobinemia prevent regulatory volume decrease in crucian carp (*Carassius carassius*) red blood cells // Fish Physiology and Biochemistry. 2019. Vol. 45, no. 6. P. 1933–1940. <https://doi.org/10.1007/s10695-019-00689-4>
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.

ЛЕЙКОЦИТАРНЫЙ СОСТАВ КРОВИ БЫЧКА-КРУГЛЯША (*COBITIS COBITIS* PALLAS, 1814) В УСЛОВИЯХ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ГИПОКСИИ

Кухарева Т.А., Зинькова Д.С.

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

Ключевые слова: лейкоциты, кровь, бычок-кругляш, гипоксия

Гипоксические акватории широко представлены в шельфовой зоне Мирового океана [1,2]. Недостаток кислорода вызывает ряд физиологических нарушений у гидробионтов и оказывает пагубное влияние на экосистему водоема в целом.

Провести оценку состояния водной среды можно методом биоиндикации. Этот метод позволяет контролировать качество водной среды по состоянию биообъекта, находящегося в ней.

В большинстве случаев в качестве объектов биоиндикации используются малоподвижные виды гидробионтов, которые не способны избежать токсического действия среды, и вынуждены адаптироваться к нему на уровне тех или иных физиологических систем. Чаще всего, контроль функционального состояния биообъекта проводится по изменениям, происходящим на уровне циркулирующей крови или гемолимфы.

В настоящей работе в условиях эксперимента исследуется влияние гипоксии на относительное содержание и лейкоцитов бычка-кругляша.

Работа выполнена на взрослых особях бычка-кругляша (*Cobitis cobitis* Pallas, 1814)

массой – 50–100 г и длиной – 15–19 см. Это типичный представитель донной ихтиофауны Крыма и встречается практически по всем побережьям [3]. При проведении экспериментальной части работы использовали специально изготовленный стенд, который позволял поддерживать заданную температуру и концентрацию кислорода в воде. Длительность эксперимента составила 21 сутки. В работе исследовали три группы рыб. Первая – опытная группа – содержалась при концентрации кислорода 2,1–2,2 мг л⁻¹ (насыщение около 25%). Вторая – контрольная группа – содержалась при концентрации кислорода в воде 8,5–8,7 мг л⁻¹ (95–97 % насыщения). Третья группа – рыбы, полученные сразу после отлова. В течение опыта контрольную и экспериментальную группы рыб не кормили. У исследуемых особей проводили отбор крови, изготавливали мазки, на которых подсчитывали относительное содержание отдельных видов лейкоцитов и их соотношение (лейкоцитарная формула) в крови бычка-кругляша.

В крови бычка-кругляша обнаруживали в основном лимфоциты и моноциты. Среди гранулоцитов встречали единичные сегментоядерные нейтрофилы. Базофилы и эозинофилы не обнаруживали совсем. Это соответствует лейкоцитарному составу крови у других костистых рыб.

Лимфоциты были самыми массовыми клетками белой крови у бычка-кругляша. Принципиальных отличий в относительном содержании лимфоцитов у опытной и контрольной групп рыб почти не было, их число находилось на уровне 90 %.

В отличие от лимфоцитов, относительное содержание моноцитов в крови бычка-кругляша в течение эксперимента претерпевало однозначные изменения. Содержание моноцитов в крови экспериментальной группы рыб существенно повышалось и достигало 10,2±3,9 %, что на 26 % выше, чем у контрольной группы рыб. Однако различия не были статистически выражены. В сравнении со свежельвленной группой особей, напротив, различия были весьма значительны – 2,3 раза и статистически значимы ($p < 0,05$).

Причина роста числа моноцитов в крови рыб в условиях гипоксии не вполне ясна. Можно допустить увеличение численности микрофлоры во внутренней среде рыб, вызванное низким энергетическим статусом тканей рыб, что вызвало компенсаторный рост числа клеток с высокой фагоцитарной активностью. Однако это предположение требует экспериментальной проверки.

Сегментоядерные нейтрофилы были обнаружены только у свежельвленных рыб в очень небольшом количестве – 0,25–0,30 % от общего числа клеток белой крови. У остальных групп они не регистрировались на мазках крови совсем.

Известно, что сегментоядерные нейтрофилы обладают, как и моноциты, выраженной фагоцитарной активностью. Однако в виду низкого их содержания в крови, эти качества, по-видимому, не имеют такого решающего значения, как у высших позвоночных животных.

Таким образом, представленные выше результаты исследования позволяют констатировать, что в лейкоцитарной формуле бычка-кругляша явно преобладают клетки агранулоцитарного ряда. Около 90 % из них приходится на лимфоциты и менее 10 % на моноциты. Клетки гранулоцитарного ряда представлены сегментоядерными нейтрофилами, содержание которых не превышает 1 % от общего числа лейкоцитов. Данный вид лейкоцитов обнаруживается не у всех особей бычка-кругляша. Гипоксия повышает относительное содержание моноцитов в крови рыб более чем в 2 раза. Содержание лимфоцитов при этом не претерпевает статистически значимых изменений.

В виду неоднозначности полученных результатов, считаем, что использовать показатели лейкоцитарной формулы для диагностики гипоксических состояний у донных рыб не представляется возможным.

Работа выполнена в рамках госзадания № АААА-А18-118021490093-4.

Список литературы

1. Levin L. A. Oxygen minimum zone influence on the community structure of deep-sea benthos // Fish physiology, toxicology, and water quality : Proceedings of the 6th international symposium (La Paz). 2002. P. 121.
2. Gewin V. Dead in the water // Nature. 2010. Vol. 466, no. 7308. P. 812–814. <https://doi.org/10.1038/466812a>
3. Световидов А. Н. Рыбы Черного моря. Москва : Наука, 1964. 551 с.

КАТИОНЫ МАРГАНЦА И НИТРАТ-АНИОНЫ КАК ГЛАВНЫЕ МАРКЕРЫ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД СЕВАСТОПОЛЬСКОГО РЕГИОНА

Ляшко Т. В.^{1,2}

¹ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь,

²Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского РАН, г. Севастополь

Ключевые слова: подземные воды, мониторинг, качество воды, загрязнение, севастопольский регион, марганец-катионы, нитрат-анионы

В настоящее время подземные водные ресурсы являются ценнейшим резервом, позволяющим решить актуальные проблемы водообеспечения Крымского полуострова. Но использование ряда нецентрализованных подземных водоисточников (в частности родников и колодцев) может быть ограничено в связи с ухудшением качества воды. Планирование мониторинга и выбор периодичности его проведения должны проводиться после выявления компонентов, наиболее опасных для здоровья человека и окружающей среды.

Севастопольский регион остается мало изученным в области комплексных гидрогеохимических исследований. На базе кафедры «Техносферная безопасность» Севастопольского государственного университета был впервые на единой методической основе проанализирован химический состав 72 подземных источников нецентрализованного снабжения (42 родника, 18 скважин и 12 колодцев). Проводился пространственно-временной мониторинг состояния подземных водоисточников. Всего было взято и проанализировано более 200 проб воды [1].

Анализ наиболее нестабильных из ряда химико-аналитических показателей проводили непосредственно в полевых условиях. С помощью стационарных приборов анализу подвергались более устойчивые параметры. Химические и физико-химические показатели собранных проб из водоисточников определяли титриметрическими, гравиметрическими, потенциометрическими и спектрофотометрическими методами, дополнительно использовали тест-системы и тест-комплекты. Оценке подлежали 23 показателя, вкратце это: ионный состав, обобщенные химические показатели и органолептические свойства.

Исходя из списка оцениваемых параметров, были выбраны «индикаторы загрязненности», которыми стали содержание хлоридов, нитрат-ионов и катионов марганца. Эти индикаторы служили для присвоения «степени загрязненности» каждому исследованному водоисточнику. Всего было выделено три группы: «чистые» – 25 источников; «условно чистые» – 11 источников; «загрязненные» – 34 источника.

Однако отдельные полученные данные, а именно – резкое повышение концентрации поллютантов в воде ряда родников – вынуждают переосмыслить важность «индикаторов загрязненности» для оценки риска влияния на здоровье водопользователей. Так, превышение нормативного содержания хлоридов

проявляется, в основном, в ухудшении вкусовых характеристик употребляемой воды. Только при длительном употреблении воды с многократным превышением ПДК хлоридов могут наблюдаться такие последствия, как нарушения общего водно-солевого баланса, недуги суставов, пищеварительной и выделительной систем. Согласно нормативам, концентрация хлоридов в питьевой воде нецентрализованных источников не должна превышать 350 мг/л [2].

В свою очередь, нитрат-ионы способны нанести значительный ущерб здоровью водопользователей. В организме человека под воздействием фермента нитратредуктазы происходит восстановление нитратов до нитритов. В результате реакции нитрит-ионов и гемоглобина образуется вещество метгемоглобин, неспособное обеспечивать тканевое дыхание. При содержании 30 % метгемоглобина значительно снижается кислородная емкость крови, что проявляется одышкой, тахикардией, слабостью, головной болью. При содержании 50 % метгемоглобина возможен летальный исход. Так, смертельная доза нитратов – 20 грамм на 1 кг массы человека. Хроническое отравление нитратами значительно нарушает обменные процессы и повышает риск онкологических заболеваний [3].

Превышение ПДК нитрат-ионов в подземных источниках севастопольского региона наблюдается почти повсеместно. Наибольший уровень превышения зарегистрирован в родниках, расположенных в черте города и крупных селах. К «лидерам» по уровню загрязненности относятся такие родники, как источник на территории природного парка «Максимова дача» (в среднем нормы превышены в 4,8 раза), источник на Северной стороне (на пересечении улиц Громова и Гвардейской) – 3,5 раза, в СТ «Сапун-гора» – 3,3 раза, Сарандиновский родник – 3,2 раза. В единичных источниках были зарегистрированы аномальные превышения ПДК нитрат-ионов, например, в 37 раз (до 1669 мг/л) в «общественном» колодце в с. Вилино. В случае аномальных скачков концентрации загрязняющих веществ пробоотбор проводился еженедельно.

Превышения нормативного содержания катионов марганца были зарегистрированы в скважинах на Северной стороне и в Байдарской долине – при норме в 0,1 мг/л вплоть до 2,5 ПДК – до 0,25 мг/л в поверхностных водах Чернореченского водохранилища. Содержание марганца можно назвать особенностью местности, и оно вряд ли связано с повышенной антропогенной нагрузкой. Однако проводить мониторинг по этому показателю необходимо даже при условии «естественности» причин его нахождения. Это объясняется высокой биологической активностью катионов марганца (ПДК для водоемов рыбохозяйственного назначения составляет всего 0,001 мг/л). В биосфере марганец играет важную роль. Он способствует утилизации углекислого газа растениями, чем повышает интенсивность фотосинтеза, участвует в процессах восстановления нитратов и ассимиляции азота растениями. Марганец способствует переходу активного двухвалентного железа в трехвалентное, что предохраняет клетки от отравления и ускоряет рост организмов. В организме человека марганец активно влияет на обмен белков, углеводов и жиров. Суточная потребность человека в марганце составляет 5,0–10,0 мг. Организмы страдают как от недостатка марганца, так и от его избытка. Соединения марганца относятся к числу сильных протоплазматических ядов. Они действуют на центральную нервную систему, вызывая в ней органические изменения, поражают почки, легкие, органы кровообращения [4].

Ключевым моментом работы является донесение до населения информации о качестве подземной воды. Помимо размещения данных в открытом доступе в сети Интернет (в том числе в социальных сетях), необходим монтаж табличек-аншлагов, отражающих химический состав воды в каждом исследованном источнике и предупреждающих знаков, если нормативы превышены.

Исследование выполнено при поддержке РФФИ и г. Севастополя в рамках научного проекта №18-35-50004.

Список литературы

1. Сигора Г. А., Хоменко Т. Ю., Ляшко Т. В., Ничкова Л. А. Проблема исследования экологического состояния родников Севастопольского региона // Экономика строительства и природопользования. 2019. № 1 (70). С. 115–123.
2. СанПиН 2.1.4.1175-02. Требования к качеству воды нецентрализованного водоснабжения. Санитарная охрана источников: утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 17.11.02. Москва : МинюстРФ, 2002. 17 с.
3. Стожаров А. Н. Медицинская экология : учеб. пособие. Минск : Выш. шк., 2007. 368 с.
4. Крамаренко В. Ф. Токсикологическая химия. Киев : Выща шк. Головное изд-во, 1989. 225 с.

ФЛЮИДНАЯ ЭМИССИЯ МЕТАНА ИЗ ДНА ЭСТУАРИЯ Р. ЧЕРНОЙ (Г. СЕВАСТОПОЛЬ)

Мурашова А. И., Малахова Т. В., Евтушенко Д. Б.

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

Ключевые слова: р. Черная, парниковый газ, флюидная метановая разгрузка

Оценка эмиссии природных парниковых газов является одним из важных вопросов в контексте проблемы глобального потепления климата. Особый интерес представляет изучение флюидных потоков из дна с целью оценки их вклада в общий поток и влияния на биологические и геохимические процессы на границе раздела сред. Количественные данные о поступлении метана из донных осадков в виде флюидной разгрузки или диффузионных потоков в настоящее время недостаточно полны. Особенно мало данных прямых *in situ* измерений, в связи со сложностью их проведения в морских акваториях.

Исследования, проведенные в Севастопольской акватории в 2011 г. показали, что содержание метана в верхних 50 см донных отложений внутренней части бухты достигало нескольких ммоль·л⁻¹ и для некоторых районов превышало значения его растворимости в поровой воде. Рассчитанные диффузионные потоки метана были направлены из донных отложений в воду и достигали 544,5 мкмоль·м²сут⁻¹ [1].

Цель работы заключалась в оценке потоков флюидной метановой разгрузки ловушечным методом из осадков мелководных районов с различной геохимической обстановкой.

В направлении от устья вглубь по течению р. Черной на 4 станциях были инсталлированы флюидные ловушки. Расстояние между крайними станциями составляло около 1,5 км, соленость воды на станциях была равна 14,7; 12,6; 3,9 и 0 ‰. Ловушки представляли собой пластиковые цилиндрические контейнеры объемом 1,6 л с нижним открытым основанием, укомплектованные в верхней части шлангом и краном для отбора аликвоты воды. Ловушки были погружены открытым основанием в донные осадки глубину 6–8 см, таким образом, что рабочий объем ловушки составлял 1 л. Для отбора пробы к соединительному шлангу прикреплялся шприц объемом 60 мл, после чего кран открывался и производился отбор 50 мл воды и тут же перемещался в две 25-мл виаллы. Для всех ловушек первый пробоотбор был выполнен сразу после установки, затем в течение 5 часов с шагом в 1 час. Одновременно на каждой станции были взяты фоновые пробы воды вне ловушки

также в двух повторностях. Отбор проб донных осадков и придонной воды проводили акриловой грунтовой трубкой с вакуумным затвором. Керны донных осадков длиной до 13 см были разрезаны послойно в полевых условиях при помощи экструдера. Содержание CH_4 в воде измерялось газохроматографическим методом после фазово-равновесной дегазации на хроматографе HP 5890 с набивной колонкой и пламенно-ионизационным детектором. Расчет флюидных потоков производился по формуле (1):

$$F_{\text{CH}_4} = \frac{V_{\text{CH}_4}}{S \cdot T}, \quad (1)$$

где F_{CH_4} – флюидный поток CH_4 (ммоль/м²сут);

V_{CH_4} – объем CH_4 (ммоль/м²сут);

S – площадь сечения ловушки ($1,3 \cdot 10^{-3}$ м²);

T – время экспозиции (0,042 сут).

Объем газа рассчитывался по формуле (2):

$$V_{\text{CH}_4} = (C2_{\text{CH}_4} - C1_{\text{CH}_4}) \cdot V_{\text{inst}}, \quad (2)$$

где $C2_{\text{CH}_4}$ – концентрация CH_4 в конечный момент (ммоль/л);

$C1_{\text{CH}_4}$ – концентрация CH_4 в начальный момент (ммоль/л);

V_{inst} – объем установки (л).

Растворимость метана в поровых водах оценивали из расчёта коэффициента растворимости Бунзена [2]. Для сравнения с растворимостью метана в поровой воде ($C_{\text{CH}_4\text{pw}}$) его концентрация в донных осадках ($C_{\text{CH}_4\text{sed}}$) была пересчитана на объем поровой воды по формуле (3):

$$C_{\text{CH}_4\text{pw}} = C_{\text{CH}_4\text{sed}} / \varepsilon. \quad (3)$$

Для этого была рассчитана пористость осадка ε (4):

$$\varepsilon = \frac{V_{\text{pw}}}{V_{\text{sed}}}, \quad (4)$$

где V_{pw} – объем, занимаемый поровой водой, л;

V_{sed} – объем, занимаемый осадком, дм³.

Пористость осадков изменялась от 62 до 84 %, что свидетельствует о различии гранулометрического состава донных осадков: с удалением от устья реки осадки характеризовались большим содержанием мелкодисперсной фракции и, как следствие, большей обводненностью. Высокие концентрации метана в донных осадках, измеренные на 3 и 4 ст., достигали $1,1$ ммоль·дм⁻³ (горизонт 8 см, ст. 3), что соответствовало концентрации в поровой воде $1,4$ ммоль·л⁻¹. На 1 и 2 ст. содержание метана в поровой воде было на 2 порядка ниже, с максимумом $0,02$ ммоль·л⁻¹. Для каждой станции были рассчитаны значения растворимости метана с учетом температуры, солености, пористости осадка, глубины залегания осадка и глубины станции. Рассчитанные значения растворимости находились в диапазоне $1,53$ – $1,68$ ммоль·л⁻¹ и превышали значения концентрации в поровой воде. При этом на ст. 3 и 4 в момент отрыва колонок от дна наблюдалось интенсивное пузырьковое газовыделение. Вероятно, объем газа, превышающий величины растворимости, высвобождается во время механического воздействия. Линейный рост концентрации CH_4 во флюидных ловушках на ст. 3 и 4 (R^2 0,8 и 0,7 соответственно) свидетельствует о постоянном подтоке растворенного метана. На ст. 1 и 2 также наблюдался рост концентрации CH_4 в ловушках, однако с меньшим градиентом и с низкими коэффициентами детерминации. Увеличение концентрации метана вне ловушек не наблюдалось, средние значения составили 285, 323, 678, 813 нмоль·л⁻¹ для 1 – 4 ст. Рассчитанные величины потоков составили 4 и 339 ммоль·м⁻²сут⁻¹ для ст. 3 и 4, соответственно. Невысокие концентрации и потоки метана для солоноводных 1 и 2 ст. очевидно связаны с жизнедеятельностью метанотрофных бактерий, где при

наличии сульфат-иона осуществляется сульфатзависимое окисление метана в верхнем слое донных осадков.

Список литературы

1. Малахова Т. В., Егоров В. Н., Малахова Л. В., Пименов Н. В. Элементы баланса метана в донных осадках Севастопольской акватории // *Екологічна безпека прибережної та шельфової зон та комплексне використання ресурсів шельфу*. 2012. Вып. 26 (1). С. 217–231.
2. Yamamoto S., Alcauskas J., Crozier Th. Solubility of methane in distilled water and seawater // *Journal of Chemical and Engineering Data*. 1976. Vol. 21. P. 78–80. <https://doi.org/10.1021/je60068a029>

МОДЕЛИ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ (SPECIES DISTRIBUTION MODELS) ГОЛОЖАБЕРНЫХ МОЛЛЮСКОВ (*NUDIBRANCHIA*) БЕЛОГО МОРЯ

Орлов М. А., Шелудков А. В., Екимова И. А.

Институт биофизики клетки Российской академии наук – обособленное подразделение
Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Федеральный
исследовательский центр «Пушинский научный центр биологических исследований
Российской академии наук», Пушкино

Ключевые слова: SDM, экология, моделирование, Белое море, биогеография, моллюски

Моделирование пространственного распространения видов (Species Distribution Models, SDMs) пользуется возрастающим интересом ученых на протяжении 20 лет. Среди специалистов, применяющих SDM - ботаники, зоологи, эволюционисты, специалисты в области охраны окружающей среды и многие другие. Большая часть соответствующих исследований посвящена наземным местообитаниям и меньшая – морским акваториям. При этом для морских SDM характерно значительное смещение по областям исследования (главным образом - умеренный пояс Атлантического океана, а также умеренная Пацифика), а также крупным таксонам-объектам исследования (по большей части это морские рыбы, млекопитающие, птицы и кораллы). В настоящей работе в качестве региона исследования использовано Белое море, а в качестве организмов-объектов - голожаберные моллюски. Известно, что бореальные и арктические моря имеют наиболее богатую биоту и описываются большим разнообразием местообитаний (соленость, доминирующие грунты, состав сообществ, концентрация хлорофилла и др.). Организмами-объектами исследования являлись голожаберники-планктонные крылоногие моллюски (Gastropoda: Heterobranchia: Pteropoda) Белого моря. Моделируемые виды - *Clione limacina* и *Limacina helicina* относятся к близким отрядам (Gymnosomata и Thecosomata) и связаны тесными трофическими связями: *L. helicina* служит главной базой *C. limacina*.

При построении моделей использованы свободная программная среда R и специализированные библиотеки для SDM. Данные о фактических местах нахождения получены из открытой базы данных GBIF [1] (свыше 300 точек для каждого вида). Речь идет по большей части об образцах из музейных коллекций, что определяет достоверность данных и возможность дальнейшего изучения источников. Набор переменных-предикторов получен из баз данных MARSPEC [2] и Bio-oracle [3]. В него исходно входили свыше 300 переменных, которые описывают физико-географические условия данных местообитаний (глубина, экспозиция склонов дна,

расстояние до берега, скорость течения, толщина льда и т.д.), свойства морской воды, существенные для биоты (концентрации биогенных элементов и других минералов, растворенного кислорода), и ее собственные параметры (первичная продукция, концентрация хлорофилла, углерода и т.д.).

Из исходного набора на основе данных о географии этой акватории, биологии моделируемых видов, а также эксплораторного анализа отобраны наиболее информативные переменные. Полученный набор предикторов использован для обучения моделей на основе алгоритма Random Forest. Для каждого из двух видов построено десять моделей; для подтверждения их высокого качества использовали площади под ROC-кривыми. Отобрано по одной модели с максимальной площадью под кривой, которые в дальнейшем использованы для предсказания ареалов, а также оценки вкладов переменных в работу классификаторов.

Полученные предсказанные ареалы в целом схожи и характеризуются разорванностью в центральной части Белого моря. При этом для *C. limacina*, но не *L. helicina*, характерно присутствие в области Соловецких островов. Вклад переменных в работу классификаторов говорит о важности для *C. limacina* концентрации хлорофилла А, рН, среднегодового разброса солености на поверхности, концентрации кальцита. В случае *L. helicina* решающее значение имеют концентрации нитрата, растворенного кислорода, солености, минимальная глубина, а также количество льда. Мы полагаем, что переменные, которые вносят максимальный вклад в работу классификаторов, обозначают факторы окружающей среды, определяющие экологическую нишу исследованных видов и, как следствие, их географическое распространение. Это открывает возможность прогнозировать состояние популяций и ареалы их обитания при изменении условий окружающей среды, в частности, на основе прогнозов об изменении климата.

Видеоматериал о нашей работе: Теория экологической ниши (https://www.youtube.com/watch?v=V7LuAvtvN2s&_amp;list=UURW1ZAZCIU1zDd-VGD8KMsw&index=18).

Пленарный доклад о SDM (<https://www.youtube.com/watch?v=ZA6EW2QkqWQ>).

Список литературы

1. Free and open access to biodiversity data/Global Biodiversity Information Facility. URL: <https://www.gbif.org/>
2. Sbrocco E. J., Barber P. H. MARSPEC: ocean climate layers for marine spatial ecology // Ecology. 2013. 94 (4). P. 979–979. <https://doi.org/10.1890/12-1358.1>
3. Bio-ORACLE. Marine data layers for ecological modelling. URL: <http://www.bio-oracle.org/>

РАРИТЕТНЫЕ ВИДЫ СОСУДИСТЫХ РАСТЕНИЙ Г. СЕВАСТОПОЛЯ: РАСПРОСТРАНЕНИЕ И АНАЛИЗ ПРИНЯТЫХ МЕР ДЛЯ ОХРАНЫ

Павшенко Д. А.¹, Бондарева Л. В.²

¹Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского, г. Симферополь,

²Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского РАН, г. Севастополь

Ключевые слова: Красная книга, Севастополь, ООПТ, сосудистые растения

Наиболее уязвимые компоненты биоразнообразия - виды, имеющие узкую экологическую пластичность, ареал и низкий потенциал самоподдержания популяций. Многие из них весьма чувствительны к антропогенному воздействию на экосистемы. Для сохранения видов, редких в природе или сокращающих численность

и ареалы в результате прямого или косвенного влияния хозяйственной деятельности человека, предпринимаются целенаправленные меры. К главным из них можно отнести ведение Красных книг международного, регионального и локального уровней, а также действия, направленные на сохранение редких таксонов в естественных местообитаниях (*in situ*) и в условиях культуры (*ex situ*). Основной механизм поддержания стабильного существования редких видов *in situ* - формирование сетей особо охраняемых природных территорий (ООПТ). Для Севастопольского региона актуальным является мониторинг популяций, выявление ареалов раритетных видов и разработка мероприятий для их охраны.

Город федерального значения Севастополь расположен на юго-западе Крымского полуострова. Его площадь составляет около 107,96 тыс. га, из них 86,36 тыс. га. – суша, около 30 % территории является заповедной. Для региона в настоящее время указано 1859 видов и подвидов сосудистых растений, многие из которых нуждаются в охране, прежде всего, это виды, не встречающиеся на остальной территории Крымского полуострова. В Красную книгу города Севастополя (2018) занесено 176 видов сосудистых растений, из которых 54 охраняются Красной книгой РФ (2008) [1 – 3]. В список охраняемых видов Севастопольского региона входят 24 вида, которые не находятся под защитой Красной книги Республики Крым (2015). Для охраны биологического разнообразия региона создано 14 ООПТ регионального значения: 1 природный парк, 6 государственных природных заказников (далее ГПЗ) и 7 памятников природы (ПП) [2].

Цель нашей работы выявление достаточности принятых мер для охраны раритетных видов сосудистых растений в границах города. Для достижения цели, были проанализированы данные Красной книги города Севастополя (2018) [2]: определено количество видов для каждой ООПТ, проанализированы карты их распространения, составлен список видов, для сохранения популяций которых необходимо создать ООПТ. Для расчетов использовали программу MS Excel 2016, номенклатура растений указана по [2].

Выявлено, что в целом популяции раритетных видов флоры региона отмечены в ООПТ: 157 видов, 89 % от числа таксонов, занесенных в Красную книгу города Севастополя. Во флоре природного парка «Максимова дача», выявлено 17 видов (9 %). Наиболее богаты охраняемыми видами флоры ГПЗ «Байдарский» (106; 60 %), «Мыс Айя» (74; 42 %), «Ласпи» (60; 34 %) и «Караньский» (47; 27 %). Несмотря на сравнительно небольшие площади на территориях ГПЗ «Мыс Фиолент» и «Бухта Казачья» отмечены 22 (13 %) и 19 (11 %) видов, соответственно, высокую экологическую ценность имеет флора ПП «Заповедное урочище «Скалы Ласпи» – 26 (15 %). Другие ООПТ региона являются гидрологическими ПП, предназначенными для охраны прибрежных биоценозов, но на их территориях встречается заметное количество раритетных таксонов: «Прибрежный аквальный комплекс (ПАК) у мыса Сарыч» – 12 (7 %), «ПАК у мыса Фиолент» 20 (11 %), «ПАК у мыса Лукулл» – 5 (3 %). На территории ПП «Ушакова балка» произрастает только один охраняемый *Pistacia mutica*. Наименее изученным объектом г. Севастополя является ПП «Мыс Фиолент» для которого отмечен один охраняемый вид: *Glaucium flavum*. Для ПП «ПАК у Херсонеса Таврического», где ранее были указаны редкие виды, есть перспектива разработать мероприятия по восстановлению уничтоженных популяций [2].

Вне границ ООПТ находятся популяции 19 видов, или 10,8 % краснокнижных сосудистых растений. Большинство из них имеют узколинейный ареал, характерный для растений прибрежной зоны (*Eryngium maritimum*, *Cakile maritima*, *Calystegia soldanella*, *Raphanus maritimus*, *Schoenoplectus hippolyti* и др.), их местообитания отмечены на западном побережье региона Севастополя и в районе мыса Херсонес, где отсутствуют ООПТ. Анализ карт ареалов показал, что для некоторых видов охрана в

рамках ООПТ не является эффективной, поскольку большая часть популяций находится за ее пределами. К таким видам относятся виды побережий моря и рек *Cladium mariscus*, *Plantago coronopus*, *Crambe maritima*, *Iris pseudacorus*, узкорегionalные эндемики Крыма *Trinia biebersteinii*, *Bellevalia lipskyi*, а также другие stenotopные виды, например, *Crepis purpurea*. Не обеспечена в полной мере охрана *Pinus brutia* var. *pityusa*, природная популяция которой распространена шире, чем территория заказника «Мыс Айя». В целом, для 78 видов (44 %) краснокнижных сосудистых растений с широким ареалом указано от 1 до 2 ООПТ, что в большинстве случаев не обеспечивает охрану трех популяций – необходимого условия успешной охраны растений [4].

Таким образом, на территории г. Севастополя *in situ* обеспечена охрана 157 видов, 89 % от числа таксонов, занесенных в Красную книгу города Севастополя. Вне границ ООПТ находятся популяции 19 видов (11 %), большинство из которых произрастают в прибрежной зоне. Принятых природоохранных мер недостаточно, чтобы поддерживать стабильную численность популяции некоторых узкорегionalных эндемиков Крыма и редких видов сосудистых растений. Для охраны всех объектов, занесенных в Красную книгу, необходимо оптимизировать систему ООПТ региона.

Благодарности. Авторы благодарят доцента кафедры ботаники и физиологии растений и биотехнологий КФУ им. В. И. Вернадского, к.б.н. Л. П. Вахрушеву и ведущего научного сотрудника ФИЦ ИнБЮМ, к.б.н. Н. А. Мильчакову. Работа подготовлена в рамках Государственного задания по плану научно-исследовательской работы ФИЦ ИнБЮМ № Тема АААА-А18-118020890074-2.

Список литературы

1. Красная книга города Севастополя / отв. ред. И. В. Довгаль, В. В. Корженевский. Калининград ; Севастополь : ИД «РОСТ-ДОАФК», 2018. 432 с
2. Корженевский В. В., Багрикова Н. А., Крайнюк Е. С., Рыфф Л. Э., Бондарева Л. В., Перминова Я. А. Охраняемые виды высших растений города Севастополя (Крым) // Научные записки природного заповедника «Мыс Мартыан». 2016. № 7. С. 137–161.
3. Красная книга Российской Федерации (растения и грибы) / отв. ред. Р. В. Камелин, В. С. Новиков. Москва : Т-во науч. изд. КМК, 2008. 885 с.
4. Перспективы создания Единой природоохранной сети Крыма. Симферополь : Крымучпедгиз, 2002. 92 с

ИЗУЧЕНИЕ СЕДИМЕНТАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В ЧЕРНОМ МОРЕ С ПОМОЩЬЮ РАДИОИЗОТОПОВ ПЛУТОНИЯ

Параскив А. А., Проскурнин В. Ю.

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

Ключевые слова: Черное море, плутоний, седиментация, осадконакопление

Поступление техногенных радиоизотопов в окружающую среду и их включение в круговорот вещества позволяет проводить исследования процессов, происходящих в экосистемах в естественных условиях, используя данные изотопы в качестве радиотрассеров. Данный метод применяют в океанологии, используя радиоизотопы как природного, так и антропогенного происхождения. Этот метод основывается, как правило, на особенностях изотопной композиции, или же характере распределения того или иного изотопа, способа его образования и поступления в среду или отдельные ее компоненты [1]. Так, стало возможным применять этот метод в акватории Черного моря благодаря отличающейся на порядок величине отношения

активностей $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$ в глобальных (0,036) и чернобыльских (0,45) радиоактивных выпадениях [2]. При этом большую роль так же играет разобщенность во времени максимумов радиоактивных выпадений от этих двух источников: максимум глобальных выпадений – 1962–1963 гг., а чернобыльских – 1986 г.

Целью данной работы было изучение седиментационных процессов в глубоководной и прибрежной зонах Черного моря с применением радиоизотопов плутония, как инструмента исследования.

В рамках работы проанализированы два керна донных осадков, отобранных в 2013 г. в западной части котловины Черного моря (глубина 2030 м) и устьевой части Севастопольской бухты (глубина 15 м). Керн из глубоководной части нарезался на слои по 2,5–5 мм, а из прибрежной – по 1 см. В дальнейшем каждый слой подвергнулся комплексной радиохимической обработке и подготавливались счетные образцы для измерений на альфа-спектрометрическом комплексе [2]. Результаты определения концентрации активности ^{238}Pu и $^{239+240}\text{Pu}$ в кернах приведены в Бк·кг⁻¹ сухой массы осадков. Ошибка определения $^{239+240}\text{Pu}$ не превышала 13%, а для определения ^{238}Pu лежала в пределах 10–45 % из-за низких уровней активности.

На основании изучения вертикального распределения радиоизотопов ^{238}Pu и $^{239+240}\text{Pu}$, а также характеристического отношения $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$ в кернах, была выполнена геохронологическая датировка донных отложений, определены скорости седиментации осадочного вещества и скорости осадконакопления в исследуемых районах.

Вертикальный профиль распределения плутония в керне глубоководных донных отложений характеризуется наличием двух ярко выраженных пиков $^{239+240}\text{Pu}$: в слое 2,75–3 см и 4–4,5 см. Так, в слое 2,75–3 см концентрация активности $^{239+240}\text{Pu}$ составила $18,3 \pm 1,9$ Бк·кг⁻¹, а отношение активностей $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$ – $0,34 \pm 0,06$. В слое 4–4,5 см концентрация активности $^{239+240}\text{Pu}$ была равна $25,45 \pm 3,80$ Бк·кг⁻¹, а $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$ – $0,035 \pm 0,009$, т.е. на порядок величин меньше, чем в верхнем пиковом слое. Эти данные согласуются с величинами, характерными для основных источников поступления плутония в Черное море, что позволяет датировать слой 4–4,5 см 1962 годом, а слой 2,75–3 см – 1986 годом.

По полученным глобальному и чернобыльскому пикам плутония была рассчитана скорость осадконакопления. Показано, что за период 1962–2013 гг. она в среднем составляла $0,8$ мм·год⁻¹. Средняя величина скорости седиментации осадочного вещества составила 60 г·м⁻²·год⁻¹.

Анализ профиля распределения плутония в донных осадках прибрежной части моря показал, что радионуклиды плутония распределены по всей глубине керна (20 см), в отличие от профиля из глубоководной части моря, где плутоний сосредоточен в верхних 5 см осадка. Максимальные значения концентрации активности $^{239+240}\text{Pu}$ сосредоточены в слоях 10–11 см ($3,70 \pm 0,16$ Бк·кг⁻¹) и 17–18 см ($3,08 \pm 0,12$ Бк·кг⁻¹). Отношение активностей $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$ в отложениях ниже слоя 10–11 см, в среднем составляло величину $0,018 \pm 0,002$. Выше слоя 10–11 см наблюдался небольшой скачок активностей, до величины $0,036 \pm 0,003$. Таким образом, слои 10–11 см и 17–18 см были датированы 1986 годом и 1962 годом, соответственно.

На основе полученных данных так же были рассчитаны показатели седиментационных процессов для устьевой части Севастопольской бухты за два временных периода. В 1962–1986 гг. значения скорости осадконакопления и скорости седиментации осадочного вещества составили $2,5$ мм·год⁻¹ и 1767 г·м⁻²·год⁻¹ соответственно. Однако, для периода 1986–2013 гг. эти показатели увеличились практически на 70%, и составили $4,1$ мм·год⁻¹ и 3012 г·м⁻²·год⁻¹, соответственно.

Данные результаты согласуются с изменением гидрологического режима, произошедшего вследствие строительства заградительных моловых сооружений на входе в Севастопольскую бухту в 1975–1986 гг. Выход из бухты был сужен с 1235 м до 415 м, что повлекло за собой уменьшение водообмена бухты с открытой частью моря на 40–70 % [3]. Это, по-видимому, привело к увеличению скорости седиментации осадочного вещества.

Таким образом, применение радиотрассерного метода с использованием техногенных радиоизотопов плутония, поступивших в Черное море во второй половине XX века, позволило провести геохронологическую датировку донных отложений в глубоководной и прибрежной частях моря, а также определить количественные характеристики биогеохимических процессов, таких как скорость осадконакопления и скорость седиментации осадочного вещества. Установлено, что скорость осадконакопления в прибрежном районе превышает таковую в глубоководной части моря в 5 раз, а скорость седиментации осадочного вещества – в 50.

Исследование выполнено по теме государственного задания ФИЦ ИнБЮМ "Молисмологические и биогеохимические основы гомеостаза морских экосистем", номер гос. регистрации АААА-А18-118020890090-2, а также при финансовой поддержке РФФИ в рамках проекта № 20-34-90041.

Список литературы

1. Терещенко Н. Н., Проскурнин В. Ю., Гулин С. Б., Параскив А. А. Геохронологическая реконструкция седиментационных потоков техногенного плутония на основе радиоизотопного определения скорости седиментации взвешенного вещества в осадки на полувековом масштабе // Система Черного моря / отв. ред. А. П. Лисицын. Москва : Научный мир, 2018. Гл. 7.4. С. 641–659.
2. Радиоэкологический отклик Черного моря на чернобыльскую аварию / под ред. Г. Г. Поликарпова, В. Н. Егорова. Севастополь : НПЦ «ЭКОСИ– Гидрофизика», 2008. 667 с.
3. Иванов В. А., Овсяный Е. И., Репетин Л. Н., Романов А. С., Игнатьева О. Г. Гидролого-гидрохимический режим Севастопольской бухты и его изменения под воздействием климатических и антропогенных факторов. Севастополь : НАН Украины МГИ, 2006. 90 с.

СИСТЕМА СБОРА МИКРОПЛАСТИКА В ВОДНЫХ СРЕДАХ

Полетаев Д. А.

Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского, г. Симферополь

Ключевые слова: автономная платформа, фотоэлектрический преобразователь, центрифуга, загрязнение

Пластик является наиболее экономически выгодным тарным и упаковочным материалом. Наряду с загрязнением океана крупными объектами, такими как бочки, бутылки, присутствует тенденция накопления в водной среде производных от них - мелких пластиковых частиц [1]. Размеры таких структур находятся в диапазоне от 1 до 100 мкм. Учет и рассмотрение более мелких микропластиковых частиц пока не производится. Исследования показывают, что небольшое количество микропластиковых структур разлагаются в соленой воде, оседают на дно, образуя неподвижные структуры [1]. Но при увеличении концентрации пластиковых отходов они встраиваются в цепочки питания морских животных и накапливаются в биологических тканях [2].

Исследователи предлагают способы мониторинга и очистки водных сред от микропластика [3]. Однако данные методы весьма сложны и неэффективны. Предлагаемые методы очистки воды содержат фильтрующие элементы, которые требуют периодической чистки и замены. Кроме того, вместе с микропластиковыми частицами, такие устройства захватывают планктонные организмы, являющиеся звеном цепей питания морских животных. Целесообразно предложить систему сбора

микропластикового мусора в водных средах, свободную от указанных недостатков.

Целью работы является предложение структурной схемы системы для сбора микро-пластика в водных средах, анализ ее достоинств и недостатков.

К системам такого уровня предъявляется ряд требований: эффективность, автономность, экономичность, надежность. Для удовлетворения всем этим требованиям разработана структурная схема системы сбора микропластика в водной среде. Она содержит: плавучий корпус, элементы забора воды, фотоэлектрический преобразователь, накопитель электрической энергии, блок центрифугирования, модули анализа, блок управления, экструзионный автомат, элементы сброса воды, элементы сброса твердых брикетов, блок геопозиционирования и идентификации.

Рассмотрим каждый элемент подробно. Плавучий корпус предназначен для удержания на поверхности воды всех остальных конструктивных элементов. Элементы забора воды производят первичную фильтрацию жидкости, отсеивая крупные частицы, и обеспечивают достаточный напор для движения по системе. Фотоэлектрический преобразователь генерирует электрическую энергию для питания всех остальных компонент. Накопитель электрической энергии необходим для работы системы в темное время суток. При этом, для обеспечения экономичности системы, возможна комплектация накопителем энергии с минимальной емкостью – только для работы блок управления, геопозиционирования и идентификации в темное время суток. Блок центрифугирования производит отделение воды от микропластика с передачей последнего в экструзионный автомат. Модули анализа обеспечивают мониторинг загрязненности входной и выходной жидкостей для контроля работоспособности системы и подстройки частоты вращения центрифуги, в зависимости от размеров частиц пластика. Модули анализа могут быть выполнены с использованием цифровых голографических микроскопов, как наиболее практичных для такого применения приборов

[4]. Блок управления контролирует работу остальных модулей. Экструзионный автомат производит сплавление частиц пластика в цельную структуру – брикет. Для его функционирования может применяться как электрическая энергия, вырабатываемая фотоэлектрическим преобразователем, так и непосредственно солнечное излучение, сфокусированное параболическим зеркалом. Элементы сброса воды необходимы для вывода очищенной жидкости из системы. При регулировке угла вывода воды, они могут также использоваться как движители всей системы. Элементы сброса твердых брикетов осуществляют сброс объединенных частиц пластика. Брикеты могут быть оформлены в виде буйев, других структурных элементов. Следует отметить, что таким образом пластик, даже продолжая оставаться в водной среде, прекращает попадать в организмы животных. Блок геопозиционирования и идентификации необходим для поиска системы в пространстве.

Предлагаемая система работает следующим образом. Находясь в водной среде, жидкость для очистки попадает через элементы забора воды в модуль анализа, где производится контроль загрязненности. В зависимости от размера частиц загрязнения, блок управления регулирует скорость вращения центрифуги, чтобы минимизировать действие на планктон. В процессе центрифугирования частицы пластика отделяются от воды и поступают на вход экструдера. В данном блоке, микропластиковые элементы соединяются в твердый брикет, который выталкивается из системы соответствующим элементом. При этом твердый брикет, будучи легче воды, способен плавать на ее поверхности как буй. Возможно спекание частиц микропластика в более плотную структуру, которая может опускаться на дно и там залегать. Достоинства и недостатки этих способов требуют дополнительного рассмотрений. Очищенная вода выводится из системы через элементы сброса воды. При этом блок геопозиционирования и идентификации контролирует данные телеметрии, сообщая респондентам о нормальном функционировании. В темное

время суток, в зависимости от емкости накопителя энергии, работа по очистке может продолжаться либо останавливаться до утра.

Предлагаемая система может эффективно использоваться для очистки как пресных водоемов, так и соленых. Себестоимость устройства может быть существенно снижена при массовом производстве.

Данная работа была частично поддержана программой развития Крымского федерального университета им. В. И. Вернадского на 2015–2024 годы в рамках гранта для молодых ученых ВГ21/2019.

Список литературы

1. Hansen R. A., Gross A. Determination of micro plastics in coastal beach sediments along Kattegat Sea, Denmark // *Theoretical and Applied Ecology*. 2019. no. 2. P. 75–82. <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2019-2-075-082>
2. Derraik J. G. B. The pollution of the marine environment by plastic debris: a review // *Marine Pollution Bulletin*. 2002. Vol. 44, iss. 9. P. 842–852. [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(02\)00220-5](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(02)00220-5)
3. Пешкова С. М., Мочалова С. А., Васильева А. А. Очистка водной среды от микропластика // *Студенческий форум*. 2019. № 41. С. 21–22.
4. Prisiazhniuk A. V., Sokolenko B. V., Poletaev D. A., Shostka N. V. Digital holographic testing of the optical fiber at welding // *Journal of Physics: Conference Series*. 2019. Vol. 1400, iss. 6. Art. no. 066042 (7 p.). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1400/6/066042>

МИДИЙНАЯ ФЕРМА – БИОФИЛЬТР МОРСКИХ ПРИБРЕЖНЫХ ВОД

Приймак А. В.¹, Штрунц А. С.², Поспелов С. С.², Посторонюк К. М.²,
Поспелова Н. В.¹

¹Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского РАН, г. Севастополь
²ГБОУ ЦДО «Малая академия наук», г. Севастополь

Ключевые слова: марикультура, *Mytilus galloprovincialis*, биофильтр, тяжелые металлы

Среди различных направлений рыбохозяйственных исследований в России в настоящее время трудно назвать более актуальное, чем воспроизводство биологических ресурсов на основе развития марикультуры. Важная роль в управлении продукционными процессами в водоёмах принадлежит хозяйствам по культивированию моллюсков. Основным объектом культивирования на Чёрном море до настоящего времени остаётся мидия *Mytilus galloprovincialis*. При её промышленном выращивании, когда продукция моллюсков на ограниченных акваториях может достигать сотен, тысяч тонн, морские фермы становятся существенными компонентами прибрежных экосистем, участвуя в биотическом потоке вещества и энергии. При этом особую актуальность приобретает оценка влияния марихозяйств на окружающую среду. Мидийные фермы чаще всего организуют в прибрежных акваториях, в зонах наиболее высокой продуктивности и нередко интенсивного антропогенного воздействия. Тяжелые металлы имеют высокий уровень техногенного использования и их концентрации в прибрежных морских водах могут превышать уровни ПДК. Известно, что организмы-фильтраторы играют важную роль в биогеохимических циклах тяжелых металлов в водной среде, в том числе участвуя в самоочищении поверхностных вод и вертикальном транспорте примесей в море.

Цель работы: исследовать участие мидийной фермы в процессах самоочищения морских прибрежных вод.

Исследования проведены на экспериментальной мидийно-устричной ферме, расположенной на внешнем рейде г. Севастополя с февраля по июнь 2020 г. Отбирали часть коллектора с моллюсками, определяли размер раковины, вес раковины и мягких тканей. Скорость фильтрации рассчитывали по уравнениям зависимости между скоростью фильтрации и сухой массой мягких тканей по Г.А. Финенко (1990). Для сбора биоотложений мидий помещали в фильтрованную морскую воду на 4 ч для освобождения содержимого их желудков. Металлы в пробах мидий и биоотложений определяли методом атомно-абсорбционной спектроскопии с электротермической атомизацией (ААС ЭТА) на спектрофотометре С-115 М1, пробоподготовка - кислотная минерализация.

Экспериментальная мидийная ферма располагается в акватории площадью 8 га. По предварительным расчетам, она рассчитана на выращивание 250 тонн мидий. Определена размерно-весовая структура мидий, выращиваемых на мидийной ферме, размещенной в прибрежье г. Севастополя. В зимне-весенний период более 70 % моллюсков составляют мидии товарного размера (более 5 см), при этом суммарная масса этих моллюсков составлял более 92%. В летний период доля моллюсков с длиной раковины более 5 см снизилась до 35%, поскольку после весеннего нереста увеличилась доля осевшей на коллектора молоди, вклад которой в суммарные значения массы моллюсков на коллекторе не превышал 15%. Фильтрационная активность мидий фермы изменялась от 0,05 до 1,1 л/экз/час. Суммарные показатели скорости фильтрации мидий фермы составляет более 335 тыс. м³, что составляет объем биологически обработанной воды. Таким образом вся вода фермы может быть вся профильтрована в среднем за 4 суток. При этом все мидии фермы за сутки потребляют от 181 до 846 кг взвеси, куда входит фитопланктон, детрит и неорганические фракции, а выделяют около 200 кг сухого веса биоотложений в сутки.

Исследована роль культивируемых мидий в транспорте металлов из взвешенного вещества в донные отложения. Содержание Cd, Zn, Cu, Pb в мягких тканях мидий не превышало ПДК для пищевых продуктов. Для расчёта коэффициентов накопления (Кн) металлов (Cd, Zn, Cu, Pb) мягкими тканями мидий мы использовали литературные данные по концентрации металлов в морской воде [1]. Так как до настоящего времени неясно, какая доля металлов в организме моллюсков является поступившей с пищей, а какая парентеральным путем, мы рассчитали Кн элементов в тканях мидий от общего содержания их в среде (вода и взвешенное вещество). Кн составили: Cd – $20 \cdot 10^3$ – $50 \cdot 10^3$, Zn – $10 \cdot 10^3$ – $30 \cdot 10^3$, Cu – $8 \cdot 10^3$ – $50 \cdot 10^3$, Pb – $20 \cdot 10^3$ – $60 \cdot 10^3$. Мидии, культивируемые на ферме, могут изымать из воды за сутки: Cd – от 5 до 23 г, Pb – от 6 до 28 г, Cu – от 62 до 84 г, Zn – от 53 до 830 г. При этом на хозяйстве в составе мягких тканей моллюсков будет сконцентрировано от нескольких грамм до килограмма тяжёлых металлов.

Изымая из взвешенного вещества тяжёлые металлы, морские фермы активно участвуют в биогеохимическом круговороте элементов в прибрежных акваториях, способствуя процессам самоочищения прибрежных экосистем, что может быть перспективным при применении искусственных поселений моллюска как ступени мелиорации водной толщи в шельфовых зонах морских акваторий.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Севастополя в рамках научного проекта № 20-44-925001

Список литературы

1. Информационный бюллетень за 2006 год о состоянии недр континентального шельфа Азово-черноморского бассейна [Электронный ресурс] / Геленджик, ГНЦ ФГУГП «Южморгеология». Геленджик. 2004. 18 с.

2. Печень-Финенко Г. А. Эколого-физиологические закономерности фильтрационного питания черноморской мидии // Журнал общей биологии. 1988. Т. 49, № 5. С. 679–688.

ТРАНСУРАНОВЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ В ЧЕРНОМ МОРЕ: СОВРЕМЕННЫЕ УРОВНИ И ПОТОКИ

Проскурнин В. Ю.

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

Ключевые слова: плутоний, америций, Черное море

Среди всех водоемов мира Черное море, как известно, характеризуется наличием самой обширной аноксической зоны, что обуславливает специфику самоочищения его вод от загрязняющих веществ различной природы, в особенности поливалентных элементов и редокс-чувствительных веществ. Черное море подверглось антропогенному радиоактивному загрязнению во второй половине XX века. Основной вклад в поступление техногенной радиоактивности в его акваторию внесли два главных источника: глобальные радиоактивные выпадения после испытания ядерного оружия в открытых средах (максимум выпадений пришелся на первую половину 1960-х гг.) и атмосферные выпадения после аварии на Чернобыльской АЭС (ЧАЭС) в мае 1986 г. Значительные количества радиоактивных веществ также поступали в северо-западную часть моря в первые годы после аварии на ЧАЭС со стоком рек Днепр и Дунай [1]. Оба источника содержали широкий спектр продуктов деления и активации конструкционных материалов, включая изотопы трансурановых элементов – плутония и америция.

Плутоний, в свою очередь, является одним из наиболее информативных трассеров для датировки морских донных отложений благодаря существенным различиям изотопной композиции в разных источниках его поступления. Так, для плутония глобальных выпадений отношение активностей $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$ для широт 40–50° N, в которых расположено Черное море, составляло 0,036 в 1971 г., а для чернобыльских выпадений была характерна величина 0,45–0,50 в 1986 г. [1]. Важно отметить, что глобальные радиоактивные выпадения явились основным источником плутония в Черном море, акватория которого расположена в зоне максимально интенсивных глобальных выпадений, плотность которых по $^{239+240}\text{Pu}$ достигала $81,4 \pm 18,5 \text{ Бк} \cdot \text{м}^{-2}$ [1].

Помимо альфа-излучающих изотопов ($^{238, 239, 240}\text{Pu}$) техногенный плутоний обычно содержит в большем или меньшем соотношении и низкоэнергетический бета-излучающий изотоп ^{241}Pu с относительно коротким периодом полураспада ($T_{1/2}$) равным 14,4 года, являющийся материнским радионуклидом ^{241}Am ($T_{1/2} = 432,7$ года). Таким образом, ^{241}Pu обуславливает увеличение содержания общего пула ^{241}Am в природных экосистемах, по крайней мере, на масштабе десятков лет после его поступления в окружающую среду [1]. Как известно, изотоп ^{241}Am не образовывался непосредственно при испытаниях ядерного оружия, а постепенно накапливался в окружающей среде в результате распада ^{241}Pu . А в аварийном выбросе ЧАЭС ^{241}Am присутствовал в значимых количествах – его активность составляла от 6,1 до 11,7 % от активности $^{239+240}\text{Pu}$ [1].

В свою очередь, донные отложения глубоководной части Черного моря, за счет сохранности их стратификации, являются своеобразным уникальным природным архивом, содержащим доступные для получения разного рода методами данные о поступлении в акваторию веществ различной природы. Так, по результатам изучения вертикального распределения трансурановых элементов в донных отложениях западной части котловины Черного моря было показано, что полученные профили

отражают историю поступления их изотопов в акваторию. При этом оказалось, что история накопления ^{241}Am за счет распада ^{241}Pu как в водной толще, так и непосредственно в донных отложениях после его элиминации из толщи вод в значительной степени повлияла на характер распределения этого изотопа в профиле.

Анализ полученных данных методом геохронологической реконструкции позволил восстановить также историю изменения седиментационных потоков плутония в донные отложения. По результатам реконструкции определен период полувыведения плутония из водной толщи за счет её седиментационного самоочищения равный 10 годам. При этом показано постоянство этого потока примерно со второй половины 1990-х гг., что указывает на продолжающееся поступление небольших количеств плутония в Черное море. Возможными источниками этого поступления, по всей видимости, являются твердый речной сток, а также выпадение остаточных количеств плутония, образованного при испытаниях наиболее мощных единиц ядерного оружия в атмосфере. В пользу последнего предположения говорят определяемые в некоторых случаях повышенные изотопные отношения (отношения активностей $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$) в поверхностных водах и взвешенном веществе Черного моря. О наличии плутония с повышенным по отношению к плутонию глобальных выпадений изотопным отношением $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$ в стратосфере свидетельствовали данные, полученные при анализе аэрозолей в воздухе над Швейцарией после экстремально мощного извержения вулкана Эйяфьядлайёкюдль в Исландии в 2010 г. [2]. Тогда (в 2010 г.) наблюдалось существенное повышение как концентраций $^{239+240}\text{Pu}$ (до 20 раз), так и отношения активностей $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$ (от $0,05\pm 0,02$ до $0,17\pm 0,07$) в материале аэрозолей, которые позже (в 2011 г.) снизились до значений, характерных для 2000-х гг. Авторы исследования объяснили этот скачок тем, что вулканический пепел и газы спровоцировали ускорение выведения более мелких аэрозолей из стратосферы в тропосферу и дальнейшее оседание их на поверхность планеты [2]. В свою очередь, повышенное изотопное отношение $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$ (до $0,420\pm 0,023$) отмечалось для локальных выпадений после испытаний термоядерных устройств большой мощности [3]. При этом радиоактивные продукты деления и активации именно ядерных устройств мульти-мегатонного класса попадали в наиболее высокие слои атмосферы (в стратосферу) и соответственно характеризовались максимальными резидентными временами [2].

Таким образом, поток поступления изотопов плутония в Черное море в современных условиях может быть обусловлен как ремобилизацией его из загрязненных ранее природных объектов, так и непосредственным оседанием остаточных количеств оружейного плутония из стратосферы.

Работа выполнена в рамках темы государственного задания ФИЦ ИнБЮМ № АААА-А18-118020890090-2.

Список литературы

1. Proskurnin V. Yu. Plutonium and Americium in the Deep Black Sea Bottom Sediments // INSINUME 2019 : 8th International Symposium of In Situ Nuclear Metrology as a Tool for Radioecology, 23-26 April 2019, Kusadasi-Turkey. [Kusadasi], Turkey, 2019. P. 90–93.
2. Alvarado J. C., Steinmann P., Estier S., Bochud F., Haldimann M., Froidevaux P. Anthropogenic radionuclides in atmospheric air over Switzerland during the last few decades // Nature Communications. 2014. Vol. 5. Art. no. 3030 (6 p.). <https://doi.org/10.1038/ncomms4030>
3. Irlweck K., Hrncsek E. ^{241}Am concentration and $^{241}\text{Pu} / ^{239(241)}\text{Pu}$ ratios in soils contaminated by weapons-grade plutonium // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. 1999. Vol. 242. P. 595–599. <https://doi.org/10.1007/BF02347367>

ВЛИЯНИЕ ГИПООСМОТИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ НА МОРФОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ГЕМОЦИТОВ *ANADARA* *KAGOSHIMENSIS* (BRUGUIERE, 1789)

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

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

Ключевые слова: гипоосмотический стресс, анадара, гемоциты, световая микроскопия

Anadara kagoshimensis (семейство Arcidae) (далее анадара) – двустворчатый моллюск, широко распространенный в бассейнах Индийского и Тихого океанов. В Черном море моллюск был обнаружен впервые в 1968 году [1]. В настоящее время анадара является доминирующим видом в макрозообентосных сообществах Северокавказского и Северо-западного шельфа Черного моря, а также массово распространен в Азовском море. Данный моллюск – эврибионтный вид, который не только легко адаптируется к экстремальным формам гипоксии и аноксии, но и способен существовать в широком диапазоне солёностей и температуры. Примером гипоосмотической адаптации анадары может служить освоение Азовского моря, где значения солёности достаточно низкие – 5–12 ‰. При этом функциональные основы устойчивости к распреснению малоизучены.

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

Особей *A. kagoshimensis* собирали в октябре 2019 в прибрежной акватории г. Севастополя. Исследовано 30 экземпляров массой $17,6 \pm 1,9$ г и высотой створки $30,5 \pm 1,0$ 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; солёность 19,6 ‰). Контрольная группа содержалась при солёности 19,6 ‰. Снижение солёности (до 14,8 ‰ и 8,8 ‰) осуществляли путем разбавления морской воды дистиллированной со скоростью $1,3 \pm 0,3$ ‰ в сутки. Для удаления метаболитов вода в аквариумах менялась ежедневно с сохранением величин солёностей. Моллюсков кормили смесью микроводорослей.

Гемолимфу для анализа отбирали стерильным шприцом из экстрапаллиальной полости, затем трижды отмывали в морской воде в течение 5 минут (2500 об./мин) и фильтровали через фильтр с диаметром ячейки 20 мкм. После отмывки концентрат клеток использовался для приготовления мазков. Окраска мазков проводилась по комбинированному методу Паппенгейма. Мазки анализировали при помощи светового микроскопа (Biomed PR-2 Lum), оборудованного камерой (Levenhuk C NG Series). Диаметр клетки (без учета псевдоподий) и ядра измеряли по фотографиям в программе ImageJ 1.44 p. На каждом мазке подсчитывали 1000 клеток. Достоверность различий оценивали при помощи U-критерия Манна – Уитни. Результаты представлены в виде $\bar{x} \pm SE$.

На препаратах гемолимфы анадары идентифицировано 2 типа клеток: эритроциты и амебоциты. Эритроциты представляли собой крупные клетки, с размерами от 10,4 мкм до 23,8 мкм. Они имели округлую форму с небольшим ацентричным ядром, обладающим плотной структурой. Цитоплазма имела светлые оттенки, в ней наблюдали большое число базофильных гранулярных включений, количество которых достигало $23,6 \pm 2,1$ единиц. Амебоциты – более мелкие клетки, диаметр которых составлял $7,1 \pm 0,3$ мкм, округлой или вытянутой формы, способные к образованию псевдоподий. Бобовидное ядро, размером $4,3 \pm 0,1$ мкм, располагалось ацентрично, часто прилегало к одной из сторон цитоплазматической мембраны. Цитоплазма была окрашена в светлые оттенки, гранулярные включения отсутствовали. Поверхность клеток имела неровный контур. Также на мазках

наблюдали эритроцитарные тени – элементы, которые образовались в результате разрушения эритроцитов. Они выглядели как розоватые пятна, у которых отсутствовали четкие контуры.

В ходе эксперимента было установлено, что гипоосмотическая нагрузка не оказала существенного влияния на размерные характеристики гемоцитов анадары. При солёности 14,8 ‰ размер эритроцитов составлял $15,3 \pm 0,4$ мкм, а амебоцитов – $7,8 \pm 0,2$ мкм, а при дальнейшем понижении до 8,8 ‰ диаметры гемоцитов соответствовали $17,2 \pm 0,1$ мкм и $7,2 \pm 0,5$ мкм.

Размер ядер эритроцитов при снижении солёности с 19,6 ‰ до 14,8 ‰ увеличился на 14 % ($p \leq 0,01$), но при 8,8 ‰ оставался на уровне контрольных значений. Что касается величины диаметра ядра амебоцитов, то она не претерпевала статистически значимых изменений.

Увеличение ЯПО отмечалось для эритроцитов анадары при снижении солёности с 19,6 ‰ до 14,8 ‰ на 17 % ($p \leq 0,01$). Дальнейшее уменьшение солёности не оказало существенного воздействия на значения ЯПО у этого типа гемоцитов. Осмотический стресс не повлиял на изменение ядерно-плазматического отношения у амебоцитов. При снижении солёности с 19,6 ‰ до 8,8 ‰ значения ЯПО оставались на уровне контрольных значений $0,6 \pm 0,01$ у. е.

Известно, что у моллюсков изменение солёности окружающей среды приводит к изменению осмолярности внутренних сред и как следствие – изменению клеточного объема [2]. В данном исследовании не установлено различий в метрических характеристиках клеток. Вероятно, это связано со способностью клеток восстанавливать свой объем в анизоосмотических условиях – реакцией регуляторного снижения объема [3]. Вместе с тем, в условиях гипоосмотической нагрузки определенная часть эритроцитов подверглась разрушению. Об этом свидетельствовал рост числа эритроцитарных теней в гемолимфе моллюска. Процесс лизиса, скорее всего, затронул старые эритроидные формы, для которых характерна низкая осмотическая стойкость, такая закономерность описана для низших позвоночных [4].

Уровень солёности водной среды влиял на процентное соотношение типов гемоцитов в гемолимфе анадары. При низкой солёности (8,8 ‰) значительно (в 3,5 раза, $p \leq 0,05$) возрастала доля эритроцитарных теней. Это приводило к относительному понижению числа эритроцитов в образцах гемолимфы: при 19,6 ‰ их доля составляла 87,2 % от общего числа форменных элементов (эритроцитов, амебоцитов и эритроцитарных теней), тогда как при 8,8 ‰ – 78,9 %. Доля амебоцитов также снижалась: с 7,7 % при 19,6 ‰ до 2,9 % при 8,8 ‰. Однако эти изменения не были статистически выражены.

Изменение соотношения типов гемоцитов – один из важнейших диагностических показателей функционального состояния организма. Считается, что реализация клеточного иммунного ответа у моллюсков в большей степени осуществляется гранулярными гемоцитами. Функциональные особенности эритроцитов и амебоцитов анадары до конца не ясны. Однако снижение доли амебоцитов может свидетельствовать о меньшей стойкости данного типа клеток при воздействии стрессовых факторов окружающей среды, в сравнении с эритроцитами. Следует также отметить, что обнаружить тени амебоцитов на препаратах невозможно в отличие от эритроцитов, которые содержат мембранно-связанный гемоглобин и поэтому окрашиваются.

Исследование выполнено при поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-34-50080, а также частично в рамках госзадания ФИЦ ИнБЮМ (рег. номер АААА-А 18-118021490093-4 – светооптическая микроскопия).

Список литературы

1. Киселева М. И. Сравнительная характеристика донных сообществ у берегов Кавказа // Многолетние изменения зообентоса Черного моря. Киев : Наук. думка,

1992. С. 84–99.

2. 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>

3. Cossins A. R., Gibson J. S. Volume-sensitive transport systems and volume homeostasis in vertebrate red blood cells // Journal of Experimental Biology. 1997. Vol. 200, no. 2. P. 343–352.

4. Андреева А. М., Рябцева И. П. Механизмы адаптаций дыхательной функции крови у Teleostei // Вопросы ихтиологии. 2011. Т. 51, № 6. С. 834–843.

РЕЗУЛЬТАТЫ МНОГОЛЕТНЕГО МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ЗООПЛАНКТОНА ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ

Семенова А. С.

Атлантический филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии

Ключевые слова: Балтийское море, мониторинг, зоопланктон, эвтрофирование, долговременные изменения, виды-вселенцы, индикаторные характеристики зоопланктона

Балтийское море обладает важным транспортным, рекреационным и рыбохозяйственным потенциалами. Смена периодов его опреснения и осолонения во второй половине 20 века и начале 21 века на фоне климатических изменений (повышения температуры) и эвтрофирования отразилась на состоянии всей экосистемы моря. Помимо этого, в последние десятилетия наблюдается возрастание антропогенного воздействия. Все это привело к необходимости мониторинга и поиска объективных критериев для оценки состояния Балтийского моря. Изменения в водных экосистемах, в том числе эвтрофирование и загрязнение, прежде всего, отражаются на сообществах, обитающих в них организмов. Зоопланктон важная составная часть экосистемы Балтийского моря, с одной стороны планктонные ракообразные основные потребители взвешенного органического вещества и фитопланктона, с другой стороны служат важным кормовым ресурсом для рыб Балтийского моря. Таким образом, многолетние исследования состояния зоопланктонного сообщества и оценка его изменений в современный период весьма актуальны. Целью работы было изучение состава, структуры и функционирования зоопланктона юго-восточной части Балтийского моря и выявление основных изменений, произошедших в ходе многолетнего мониторинга.

Материалом послужили пробы, которые отбирали в 1995–2019 гг. в ходе научно-исследовательских рейсов в юго-восточной части Балтийского моря на 30–35 станциях. Всего за период исследования было собрано и обработано около 1500 проб. Продукция ракообразных рассчитывалась по балансовому равенству как разность между рационом и тратами на обмен, коэффициент усвояемости пищи принимался равным 0,8, оксикалорийный коэффициент – 4,86 кал/млО₂ [1]. Также были рассчитаны индикаторные характеристики зоопланктона (разработанные HELCOM), отражающие экологическое состояние Балтийского моря и степень доступности и качество пищи для рыб-планктофагов [2].

К основным тенденциям, произошедшим в зоопланктонном сообществе юго-восточной части Балтийского моря за последние 25 лет, можно отнести смену доминирования крупного *Pseudocalanus elongatus* на более мелкоразмерные виды *Temora longicornis*, *Acartia spp.*, *Eubosmina maritima* и *Evadne nordmanni*. Также на фоне снижения роли веслоногих ракообразных, произошло возрастание доли

коловраток в весенний период и ветвистоусых ракообразных в весенне-летний период.

Основная часть продукции (более 90 %) создавалась доминирующими видами ракообразных *Pseudocalanus elongatus* (Boeck), *Temora longicornis* (Muller), видами р. *Acartia*, *Centropages hamatus* (Lilljeborg), *Bosmina coregoni maritima* (Mueller) и *Evadne nordmanni* (Loven). При этом большая часть продукции зимой и более трети осенью создавалась *P. elongatus*, а в весенне-летний период более половины продукции создавали Cladocera. Минимальная величина продукции отмечалась в зимний сезон (1 % годовой) с нарастанием к весне (16 %), максимумом летом (72 %) и резким падением в осенний период (11 %). Максимальное развитие зоопланктона и соответственно максимальная его биомасса и продукция наблюдались в годы наиболее сильного прогрева воды, за счет массового развития Cladocera в весенне-летний период этих лет.

Виды-вселенцы *Cercopagis pengoi* и *Evadne anonyx* успешно натурализовавшиеся в юго-восточной части Балтийского моря могут оказывать существенное влияние на структуру и функционирование планктонных сообществ исследованного района. Одним из ключевых факторов, влияющих на количественные показатели этих видов-вселенцев, является температура. В условиях экстремально теплого лета 2010 г. они достигали своего максимального развития в исследуемом районе, при этом кормовая база рыб-планктофагов и молоди рыб Балтийского моря в период их максимального развития может быть в значительной мере подорвана. Помимо видов-вселенцев, в последние годы обеспокоенность вызывает массовое развитие сцифомедуз *Aurelia aurita* в позднелетний и раннеосенний периоды, что создает дополнительный пресс на зоопланктонное сообщество.

Согласно индикаторным характеристикам зоопланктона наибольшая эффективность утилизации первичной продукции зоопланктоном и наиболее благоприятные условия для удовлетворения пищевых потребностей рыб-планктофагов, отмечались в период с 2001 по 2006 гг., в последние годы, начиная с 2007 г. и по настоящее время они значительно ухудшились. Это связано с продолжительным отсутствием значительных адвекций североморских вод, которое привело к ухудшению кислородного режима и снижению солености, что в свою очередь повлекло за собой значительное снижение количественного развития крупного рачка *Pseudocalanus elongatus*, который является ценным пищевым объектом рыб-планктофагов.

Список литературы

1. Методы определения продукции водных животных. Минск : Выш. шк., 1968. 245 с.
2. Gorokhova E., Lehtiniemi M., Postel L., Rubene G., Amid C., Lesutiene J. Indicator Properties of Baltic Zooplankton for Classification of Environmental Status within Marine Strategy Framework Directive // PLoS ONE. 2016. Vol. 11, no. 7. Art. no. e0158326 (26 p.).

ЭВОЛЮЦИЯ КОРОТКИХ ТАНДЕМНЫХ ПОВТОРОВ (SSR) ПОД ДАВЛЕНИЕМ СЕЛЕКЦИИ: ПРИМЕР КАРПОВЫХ РЫБ (CYPRINIDAE)

Тихонов А. Ю.¹, Орлов М. А.²

¹Группа компаний "Аква-Лого"Москва

²Федеральный исследовательский центр «Пушинский научный центр биологических исследований Российской академии наук», Пушкино

Ключевые слова: SSR, Short Sequence Repeats, Короткие тандемные повторы, *Carassius auratus*

Короткие тандемные повторы (Short Sequence Repeats, микросателлиты) –

повторяющиеся подряд участки ДНК, длиной от 1 до нескольких нуклеотидов. Они широко представлены в различных геномах и подвержены активным мутациям, связанным с выпадениями либо вставками повторов. Это определяет их роль в качестве источника мутационной изменчивости и связь с “горячими точками” различных эволюционных преобразований. В числе последних - локусы хромосомных перестроек и гены, подвергающиеся активному селекционному давлению. Наличие протяженных правильных SSR, как и их длина, коррелируют с выраженностью признака, на который проводится селекция (у видов под интенсивным искусственным отбором, как это показано в работе для пород собак [1]). Локализация таких микросателлитов соответствует положению генов, определяющих целевой признак.

На примере карпообразных рыб Cyprinidae, включая золотую рыбку (*Carassius auratus*) возможно изучение эволюционных преобразований и действия селекционного отбора на SSR. Для данных рыб характерна сложная картина геномных перестроек: полногеномные удвоения, межвидовая и межродовая гибридизация, партеногенез и многовековая история искусственного отбора на простые, внешне отслеживаемые декоративные признаки.

В данной работе рассмотрены полные наборы SSR для 28 представителей Cyprinidae, включая золотую рыбку, а также ее полная геномная последовательность [4]. Положение в геноме и первичная структура SSR выявлены с помощью текстового анализа.

Для всех возможных-олигонуклеотидов (в том числе ди-, три-, тетра-нуклеотиды) получены частоты встречаемости. Они проанализированы с применением иерархической кластеризации (метод Уорда) и метода анализа главных компонент (РСА).

Литературные данные позволили нам разделить 28 рассмотренных видов на группы в соответствии с их степенью одомашненности и, как следствие, степени селекционного давления на них. Мы выделили:

- 1) природные виды (в искусственных условиях не разводятся, могут вылавливаться в аквариумы/пруды);
- 2) промысловые виды (разводятся в искусственных условиях на еду);
- 3) декоративные виды (разводятся в искусственных условиях).

Нами установлено, что нуклеотидный состав наборов SSR карповых варьирует и характеризуется видоспецифичностью, а культивируемые виды более склонны иметь отдельные повторы, достаточно длинные для нестабильности. В то же время первичная структура доступных наборов SSR видоспецифична и может отличать культивируемые виды от диких, что выявлено при помощи метода главных компонент (РСА). Кластерный анализ позволяет разделить геномы "дикой" и "культивируемой" групп. Для "одомашненного" кластера характерна большая представленность TG/CA-динуклеотидов. Что согласуется с данными о большей склонности генерировать мутации и нестабильности именно TG-пар.

Список литературы

1. Fondon J. W., Garner H. R. Molecular origins of rapid and continuous morphological evolution // Proceedings of the National Academy of Sciences. 2004. Vol. 101, no. 52. P. 18058–18063. <https://doi.org/10.1073/pnas.0408118101>
2. Xie K. T., Wang G., Thompson A. C., Wucherpfennig J. I., Reimchen T. E., MacColl A. D., Kingsley D. M. DNA fragility in the parallel evolution of pelvic reduction in stickleback fish // Science. 2019. Vol. 363, no. 6422. P. 81-84. <https://doi.org/10.1126/science.aan1425>
3. Nagpure N. S., Rashid I., Pati R., Pathak A. K., Singh M., Singh S. P., Sarkar U. K. FishMicrosat: a microsatellite database of commercially important fishes and shellfishes of the Indian subcontinent // BMC Genomics. 2013. Vol. 14, no. 1. Art. no. 630 (10 p.).

<https://doi.org/10.1186/1471-2164-14-630>

4. Chen Z., Omori Y., Koren S., Shirokiya T., Kuroda T., Miyamoto A., Wolfsberg T. G. De novo assembly of the goldfish (*Carassius auratus*) genome and the evolution of genes after whole-genome duplication // Science Advances. 2019. Vol. 5, no. 6. Art. no. eaav0547 (13 p.). <https://doi.org/10.1126/sciadv.aav0547>

ВЛИЯНИЕ ПРОДУКТОВ РАЗЛОЖЕНИЯ ПЛАСТИКА В ОКЕАНЕ (ФТАЛАТОВ) НА ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЧЕРНОМОРСКОЙ МИДИИ (*MYTILUS GALLOPROVINCIALIS*)

Ткачук А. А.¹, Андреева А. Ю.², Кладченко Е. С.²

¹Севастопольский государственный университет, г. Севастополь

²Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского РАН, г. Севастополь

Ключевые слова: Пластиковое загрязнение, ди(2-этилгексил)фталат, мидии, гемоциты, АФК.

С момента появления пластика в 1950-х годах 20 века мировое производство пластмасс быстро растет. В настоящее время пластмассы составляют в среднем 75% морского мусора [1]. Пластиковые отходы перемещаются на большие расстояния за счет океанических течений, распадаются на мелкие кусочки и накапливаются [2]. Пластмассовые отходы распространены во всех водах Мирового океана в силу своих универсальных свойств и повсеместного использования в хозяйственной деятельности [3]. Распадающиеся пластмассовые отходы наносят не только физический, но и токсикологический вред живым организмам всех уровней трофической цепи [4].

Цель настоящей работы – провести анализ воздействия различных концентраций продуктов разложения пластикового загрязнения (ди(2-этилгексил)фталата (ДЕНП)) на функциональные показатели средиземноморской мидии (*Mytilus galloprovincialis*).

Особей средиземноморской мидии (*Mytilus galloprovincialis*) весом $12,9 \pm 2,3$ г и размером $57,8 \pm 1,8$ мм отбирали на мидийно-устричной ферме в Севастопольской бухте в феврале 2020 г. После транспортировки мидий размещали в стеклянных аквариумах емкостью 20 л, оборудованных системой аэрации и протока воды. Температура воды в аквариумах соответствовала сезонной температуре воды в Черном море и составляла $+8[U+2103]$. Период акклиматизации к лабораторным условиям составлял не менее 3 дней.

Ди(2-этилгексил)фталат (ДЕНП) (аналитическая чистота $> 99,0$ %) был первично растворен в 96 % этиловом спирте в концентрации $1 \text{ мг} \cdot \text{мл}^{-1}$. Моллюски были распределены случайным образом в аэрируемых аквариумах емкостью 20 л. Объем выборки для каждой точки составлял не менее 14 особей. В работе анализировали воздействие ДЕНП на организм моллюсков в концентрации $0,4 \text{ 1 мг} \cdot \text{мл}^{-1}$ и $4,0 \text{ 1 мг} \cdot \text{мл}^{-1}$ в течение 24 ч. и 48 ч. Контрольная группа мидий ($n = 14$) содержалась в 20 л аквариуме, оборудованном системой аэрации. Гемолимфу отбирали стерильным шприцем из экстрапалиального пространства. Гемоциты трижды отмывали в стерильной морской воде путем центрифугирования (350 g в течение 5 мин). Готовую суспензию гемоцитов разводили стерильной морской водой ($1-2 \cdot 10^6$ гемоцитов на мл) и окрашивали ДНК-красителем SYBR Green I (финальная концентрация в пробе 10 мкМ , 30 мин в темноте). Спонтанная продукция клетками активных форм кислорода оценивалась по флуоресценции красителя DCF-DA. Анализ данных проводили в компьютерной программе Flowing Software 5.2.

Инкубация моллюсков в воде, содержащей ДЕНП, достоверно влияла на клеточный состав гемолимфы, причём более существенные изменения в соотношении типов

гемоцитов отмечались у особей, находившихся под воздействием меньшей концентрации ди(2-этилгексил)фталата ($0,4 \text{ 1 мг}\cdot\text{мл}^{-1}$). Присутствие ДЕНР в воде было ассоциировано с увеличением доли гранулоцитов в гемолимфе мидий в течение первых 24 ч экспериментального периода. На вторые сутки эксперимента (48 ч) у особей, содержащихся в воде с меньшей концентрацией ДЕНР, отмечалась тенденция к нормализации доли гранулоцитов до уровня близкого к контролю. При более высоких дозах ДЕНР доля гранулоцитов возрастала с течением времени. ДЕНР вызвал снижение способности гемоцитов к генерации АФК, которое тоже интенсивнее проявлялось при концентрации в $0,4 \text{ мг}\cdot\text{мл}^{-1}$, что позволяет предположить токсическое воздействие на иммунные функции клеток гемолимфы. У гранулоцитов способность к спонтанной продукции АФК была в большей степени подвержена влиянию ДЕНР, в сравнении с агранулоцитами.

Список литературы

1. OSPAR Pilot Project on Monitoring Marine Beach Litter. Monitoring of marine litter in the OSPAR region. London, UK: OSPAR Commission, 2007. 75 p. (OSPAR Publication ; no. 306/2007).
2. Law K. L., Thompson R. C. Microplastics in the seas // *Science*. 2014. Vol. 345, iss. 6193. P. 144–145. <https://doi.org/10.1126/science.1254065>
3. Law K. L., Morét-Ferguson S. E., Goodwin D. S., Zettler E. R., DeForce E., Kukulka T., Proskurowski, G. Distribution of surface plastic debris in the eastern Pacific Ocean from an 11-year data set // *Environmental Science & Technology*. 2014. Vol. 48, no. 9. P. 4732–4738. <https://doi.org/10.1021/es4053076>
4. Bjorndal K. A., Bolten A. B., Lagueux C. J. Ingestion of marine debris by juvenile sea turtles in coastal Florida habitats // *Marine Pollution Bulletin*. 1994. Vol. 28, iss. 3. P. 154–158. [https://doi.org/10.1016/0025-326X\(94\)90391-3](https://doi.org/10.1016/0025-326X(94)90391-3)

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД, ФОРМИРУЮЩИХ СУБМАРИННУЮ РАЗГРУЗКУ У М. АЙЯ

Товарчий Я. Ю.¹, Вертерич А. В.², Чайкин Д. Ю.³, Козловская О. Н.⁴,
Довгий И. И.⁴

¹Севастопольский государственный университет, г. Севастополь

²Средняя образовательная школа №15, г. Севастополь

³Московский физико-технический институт, г. Москва

⁴Морской гидрофизический институт РАН г. Севастополь

Ключевые слова: Субмаринная разгрузка подземных вод, мыс Айя, биогенные элементы

Изучение субмаринной разгрузки подземных вод является одним из актуальных вопросов современной гидрогеологии и океанологии.

Источники субмаринной разгрузки у м. Айя изучаются отечественными учеными около 40 лет. Нами были выполнены экспедиционные работы в районе м. Айя в марте 2019 года, для изучения гидрологических (распределения солености, температуры), гидрохимических (распределения фосфатов, силикатов, нитратов, нитритов, аммония) и радиохимических (распределения изотопов ^{226}Ra , ^{228}Ra) особенностей субмаринной разгрузки подземных вод.

При гидрологической съемке, выполненные измерения в поверхностном слое и вертикального распределения показали значительные градиенты солености от 12 до 18,8 ‰ в весенний период. По полученным данным концентрации биогенных

элементов в морской воде коррелируют с соленостью. Аппроксимация значений концентрации биогенных элементов к нулевой солености дают предполагаемые концентрации биогенных элементов в подземной воде. Рассчитанные для «подземной воды» величины концентрации биогенных элементов сравнивали с концентрацией биогенных элементов в воде родника Айязьма-Чокрак. Этот родник является самым близким к м. Айя и очагам субмаринной разгрузки.

Сравнение концентрации биогенных элементов, прежде всего фосфат-, нитрит-и нитрат-ионов, вычисленных для подземной воды, с концентрациями в родниковой воде, показывает более высокие (в 5–7 раз) значения. Выше концентраций в родниковой воде даже значения концентраций биогенных элементов на ряде станций в морской воде, в частности в кутовой части карстовой полости. Формирование родников происходит в зонах аэрации и колебания сезонных уровней, т.е. в горах в данном регионе. Эти территории менее подвержены антропогенному воздействию. Тогда как субмаринный сток формируется в зоне полного насыщения. Учитывая данные геологических исследований о формировании стока субмаринной разгрузки подземных вод у м. Айя в районе Байдарской долины (Скельский источник), причиной высоких значений концентраций биогенных элементов является антропогенный фактор. Села Байдарской долины с населением более 8 000 человек не подключены к сетям водоотведения, в селах развито сельское хозяйство - земледелие и животноводство, что и является причиной загрязнения подземных вод.

Исследование выполнено при поддержке РФФИ и г. Севастополя в рамках научного проекта №18-33-50001 (конкурс «Наставник»), а также в рамках государственного задания (тема «Океанологические процессы» № 0827-2020-0003).

CULTIVATION OF ZOOPLANKTON: MICROALGAE AS A VALUABLE FEED SOURCE

Haydarov S. M.¹, Khujamshukurov N. A.², Kuchkarova D. Kh.³

¹Tashkent State Agrarian University

²Tashkent Chemical-Technological Institute

³Tashkent Architectural-Civil Engineering Institute, Uzbekistan

Ключевые слова: *Daphnia*, *Chlorella*, *Scenedesmus*, *Ankistrodesmus*, *Chlorococcum*, algae, zooplankton.

According to statistics, by 2050, there will be a problem in providing food to more than 9 billion people [1]. Significant research is being conducted to further develop the fishing industry and provide the fishing industry with nutritious feed and supplements, including important research on the production of live feed and their role and importance in nature. One of the important tasks was to fully provide the fishing industry with live feed and to demonstrate their importance in practical research. Zooplankton are one of the important natural sources in the cultivation of fish fry with the storage of crude protein, amino acids, fat kilos, minerals and enzymes. Of the amino acids, lysine and methionine are especially important in that they are found in very small amounts in other types of feed, that is, in large quantities, and in large quantities in zooplankton. All species of zooplankton Numerous scientific studies are being carried out in order to increase arni on an industrial basis and to create a continuous supply for the fishing industry [2]. In this research, microflora, mostly *Chlorella* or *Scenedesmus* species, were used to breed zooplankton.

The aim of this study is to study the protein and fat storage of *Daphnia magna* when used in microalgae as a food source for industrial cultivation. It is known that in world practice it is widely used in the production of protein biomass from *Chlorella*,

Ankistrodesmus and *Scenedesmus* microalgae, as well as in the cultivation of zooplankton (*Daphnia*, *Moina*) under artificially controlled conditions. From zooplankton, the culture of *Scenedesmus quadricauda* is widely used in the reproduction of species such as *Daphnia magna*, *pulex* and *longispina*. Based on the studies, the morphological and biological properties and average sizes of algologically purified microflora were determined depending on the generation.

As a result of the study, it was noted that the output of dry matter from microalgae relative to wet biomass varies on average from 22.99 to 28.84%. In particular, the strains of the *Ankistrodesmus* generation produced an average of 3.24–3.42 grams of dry biomass from 11.36–12.62 grams of wet biomass, which was found to be 27.10–28.52 % of the total wet biomass. In *Scenedesmus* strains, 10.66–11.44 g/l of wet biomass accounted for 2.48–3.08 g/l of dry biomass, or 23.26–26.92% of the total humus biomass. Although similar results were obtained for *Chlorella* and *Chlorococcum* strains, it was noted that this figure was relatively low in *Botryococcus* strains. It was observed that *Botryococcus* strains accounted for 8.62–9.22 g/l of wet biomass, 2.04–2.12 g/l of dry biomass, or 22.99–23.67% of the total wet biomass. In particular, microalgae belonging to the genus *Ankistrodesmus* contain 43.2–46.4 % protein and 27.4–32.2 % fat (*Ankistrodesmus* sp.20; *Ankistrodesmus* sp.15). In the same nutrient medium, micronutrients belonging to the genus *Scenedesmus* can be seen to store up to 48.8–52.8% protein and 27.4–28.6% fat, respectively (*Scenedesmus* sp.7. and *Scenedesmus* sp.1). According to the results of the study, representatives of the genus *Botryococcus* were recorded as a microflora offspring that retained relatively small amounts of protein (46.2–46.8%) and fat (26.2–26.4%).

Studies have shown that members of the *Chlorococcum* and *Chlorella* lineages have high protein retention (46.4–48.8%) but very low fat retention (15.6–18.4%) compared to all micronutrient generations studied. In scientific sources, 46.5% of the strain *Chlorococcum macrostigmatum* UT4 and 35.4% of the strain *Chlorella* sp.2 were studied for fat synthesis. This can be explained by the control of temperature, SO₂ and light levels under growing conditions, and the fact that the study focused on fat synthesis. Subsequent studies have determined the growth rate of *Daphnia magna* Straus, depending on the composition of the nutrient medium. It was noted that the results obtained varied depending on the generation of micronutrients and their nutritional value (based on the amount of protein and fat). In particular, the growth rate of daphnia depending on the composition of the nutrient medium, relative to the controlled nutrient medium (lake water + 20% cattle manure) *Ankistrodesmus* – 0.4969, *Scenedesmus* – 0.4181, *Botryococcus* – 0.5644, *Chlorella* – 0.3267 and *Chlorococcum* – 0.7357 percent. In contrast to scientific sources, the average growth rate of daphnia based on the strains of the genus *Chlorella* was 1.3267%, while the strains of the genus *Chlorococcum* – 0.7357%, 55.5% higher than the strains of the genus *Scenedesmus* – 43.1% higher than the strains of the genus *Chlorella*. found to be this can be explained by the fact that the cells of the strains of the genus *Chlorella* are thicker and more difficult to break down than other species. Although the cell structure and thickness of *Scenedesmus* strains do not differ significantly from those of *Chlorococcum*, the difference in growth rate is due to the relative size of the cell of *Chlorococcum* strains, protein content less than that of *Scenedesmus* strains (47.8–48.2%), low fat content (16.8–48.2%). 8–18.4%), which may have led to faster assimilation of nutrient proteins. Subsequent studies have studied the protein and fat storage of the grown *Daphnia magna* Straus relative to dry matter in a nutrient medium prepared on the basis of algae generations. According to the results obtained, *Daphnia magna* Straus, fed on the basis of representatives of the *Ankistrodesmus* generation from microalgae relative to the control, recorded 28.67% protein and 3.9% fat. The *Scenedesmus* genus has 29.07% protein, 4.03% fat, *Botryococcus* 31.36% protein, 4.12% fat, *Chlorella* 28.60% protein, 3.64% fat, *Chlorococcum* 34.10% protein and 3, 84% fat retention was found. When the results were analyzed, it was found that *Daphnia magna* (31.36%) fed with *Botryococcus* offspring

synthesized 2.76% more protein and 0.48% more fat storage than *Chlorella* offspring. Similar results were observed for *Daphnia magna* fed *Chlorococcum*, which synthesized 5.03% more protein and 0.19% more fat synthesized than *Daphnia magna* fed *Scenedesmus*. *Daphnia magna* was reported to synthesize 2.69% more protein than *Ankistrodesmus*, 2.29% more than *Scenedesmus*, and 2.76% more than *Chlorella* when fed to members of the *Botryococcus* genus. *Daphnia magna* fed with representatives of the botryococcus genus was found to synthesize 0.22% more fat than *Ankistrodesmus*, 0.28% more than *Chlorococcum*, and 0.48% more than *Chlorella*.

Therefore, it is advisable to use zooplankton from the representatives of *Chlorococcum* and *Botryococcus* genera in fisheries, namely *Daphnia* species, as a source of reproduction and feeding of small fish fry.

Список литературы

1. Food wastage footprint. Impact on natural resources : Summary report. Rome : FAO, 2013. 63 p. <http://www.fao.org/docrep/018/i3347e/i3347e.pdf>
2. Haydarov S. M., Mirzayeva D. A., Khujamshukurov N. A., Shakirov Z. S., Kuchkarova D. Kh., Abdinazarov Kh. The Role of Microalgae in the Cultivation of Zooplankton (*Daphnia*) // International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences. 2020. Vol. 9, no. 5. P. 3356–3365. <https://doi.org/10.20546/ijemas.2020.905.399>

Электронное научное издание

Современная гидробиология: глобальные проблемы Мирового океана

XI Всероссийская онлайн-школа-семинар
для молодых ученых, студентов и аспирантов

Материалы школы-семинара

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 978-5-6044865-2-8



9 785604 486528