

## СОСТАВ И СОДЕРЖАНИЕ КАРОТИНОИДОВ ГАСТРОПОД *Tritia reticulata* В ЧЕРНОМ МОРЕ

© 2023 г. А. В. Бородина<sup>а</sup>, \*, П. А. Задорожный<sup>б</sup>

<sup>а</sup>Федеральный исследовательский центр Институт биологии Южных морей Российской академии наук, Севастополь, Россия

<sup>б</sup>Институт химии Дальневосточного отделения Российской академии наук, Владивосток, Россия

\*e-mail: borodinaav@mail.ru

Поступила в редакцию 07.11.2022 г.

После доработки 16.02.2023 г.

Принята к публикации 07.06.2023 г.

Представлены результаты по двухлетнему исследованию состава и содержания каротиноидов морских улиток *Tritia reticulata* (L., 1758), обитающих в смешанном донном сообществе двустворчатых моллюсков песчаной зоны верхней сублиторали (глубина 0–1 м) бух. Казачья (г. Севастополь). Наиболее высокое содержание суммарных каротиноидов выявлено в июне (1.8–2.09 мг/100 г сырой массы), среднее для всех проб за оба года – 1.54 мг/100 г сырой массы. В качественном составе пигментов улиток *T. reticulata*, взятых на пастбищах двустворчатых моллюсков на песчано-иловом грунте, идентифицировано 15 свободных каротиноидов: β-каротин, эхиненон, гидроксизехиненон, астаксантин, дидегидроастаксантин, диадиноксантин, диатоксантин, фукоксантин, галоцинтиаксантин, фукоксантинол, мактраксантин, гетероксантин, лютеин, зеаксантин, аллоксантин и эфиры последних четырех каротиноидов. Обсуждается возможность метаболических преобразований каротиноидов.

**Ключевые слова:** морские улитки, *Tritia reticulata*, каротиноиды, пути трансформации каротиноидов, Черное море

**DOI:** 10.31857/S0320965223060062, **EDN:** KEEEEAV

### ВВЕДЕНИЕ

Гастропода *Tritia reticulata* (L., 1758) относится к эвритермным средиземноморско-барийным видам, широко распространенным в Черном (Еремеев и др., 2011) и Средиземном морях, в Атлантике вплоть до Северного моря (Чухчин, 1984). По спектру питания вид относится к плотоядным. Обычно моллюски зарываются в грунт и выставляют наружу сифон размером до 2 см, при обнаружении пищи моллюски быстро выползают и двигаются по направлению к этому источнику (Киселева, 1981). При кормлении мясом особи тритии поглощают до 25% массы своего тела, включая ракушку (Киселева, 1981). В питании вид отдает предпочтение трупам животных, однако может употреблять водоросли и детрит или вести хищный образ жизни, нападая на двустворчатых моллюсков с тонкостенными створками (Чухчин, 1984; Бондарев, Ревков, 2018). Встречается у уреза воды до глубины 100 м на различных грунтах (Киселева, 1981), но предпочитает песоч-

но-иловые грунты; в поисках пищи может заходить в заморные зоны. Имеются сведения о консортной связи между тритиями и рапаной (Бондарев, Ревков, 2018). Иногда моллюски тритии образуют скопления (Киселева, 1981), однако причины их возникновения в литературе не описаны. В последние годы отмечено широкое распространения *T. reticulata* в вершинных частях севавтопольских бухт с песочно-иловым грунтом (Макаров, 2018).

Несмотря на широкое распространение тритий, их биохимический состав изучен мало. Известно, что тритии – источник стеролов, холестерина, фитостерола и минеральных добавок, что делает их объектом добычи в некоторых европейских странах (Fiordelmondo et al., 2020). Однако сведения о качественном составе каротиноидов *T. reticulata* ограничиваются β-каротином и суммой неизученных ксантофиллов, описанными в прошлом веке (Goodwin, 1984; Shahidi, 1998). Информация о динамике суммарных каротиноидов этого вида позволяет выделить весенний период с марта по июнь как период наибольшего их накопления (Karnaukhov et al., 1977), что, скорее всего, связано с периодом созревания гонад и нерестом

**Сокращения:** ВЭЖХ – высокоэффективная жидкостная хроматография, ССК – суммарное содержание каротиноидов.

в это время (Чухчин, 1984). У представителей порядка Neogastropoda, к которым относится *T. reticulata*, не отмечены метаболические преобразования каротиноидов, значит состав каротиноидов должен во многом зависеть от пищи (Маока, 2011; Maoka et al., 2011). Так, у *Drupella fragum* (Blainville, 1832) (Neogastropoda), обитающей на коралловых рифах, основные каротиноиды — перидинин и диатиноксантин, которые эти улитки могли получить непосредственно из зооксантелл (симбиотических ассоциаций кораллов и микроводорослей) (Maoka et al., 2011). У плотоядной улитки *Buccinum bayani* (Jousseume, 1883) (Neogastropoda) при питании ракообразными основным каротиноидом считается астаксантин, характерный для ракообразных (Маока, 2011). Специфический метаболизм по окислительному типу был отмечен у тихоокеанских хищных гастропод *Fusinus* sp., относящихся к одному надсем. с *Tritia reticulata* (Matsuno et al., 1985; Matsuno et al., 1989). Наиболее подробно состав каротиноидов у хищных видов моллюсков черноморского региона изучен на примере *Rapana venosa* (Valenciennes, 1846) (Neogastropoda) (Borodina et al., 2013). Большинство каротиноидов этой гастроподы, взятой для исследования непосредственно с мидийных банок, содержали каротиноиды, характерные для черноморских мидий:  $\beta$ -каротин, диатоксантин, аллоксантин, митилоксантин, пектенонин. Исключением был 4-кетоаллоксантин, продукт окислительного метаболизма аллоксантина (Borodina et al., 2013). Удлинение окислительного пути метаболизма и наличие кето-каротиноидов характерно для хищных гастропод. Так, тихоокеанские гастроподы *Fusinus* sp. (Matsuno et al., 1989) имеют окислительный путь метаболизма  $\beta$ -каротин  $\rightarrow$  эхиненон  $\rightarrow$  гидроксизехиненон. Роды *Fusinus* и *Tritia* принадлежат одному надсемейству и разделяются на уровне семейств Fasciolaridae и Nassariidae соответственно.<sup>1</sup> Степень близости на филогенетическом древе, родство видов сближают метаболические процессы в организме, в частности, наличие ферментов, обеспечивающих ту или иную трансформацию каротиноидов. Соответственно, можно предположить наличие того же пути окислительного метаболизма у *Tritia*, что и у *Fusinus*. Из-за малой изученности каротиноидов *Tritia reticulata* и близких к ней хищных видов гастропод процессы метаболических преобразований этих соединений в организме и дальнейшая их трансформация по пищевым цепям остается неизвестной и требует исследования. Изучение метаболических преобразований каротиноидов хищных гастропод в период их максимального накопления, и в период нереста даст информацию для дальнейших экологических исследо-

ваний, выявления трофических взаимосвязей и звеньев в цепи “жертва—хищник”.

Цель работы — исследовать количественный и качественный состав каротиноидов гастропод *T. reticulata* в местах их скопления на пастбищах двустворчатых моллюсков, а также рассмотреть возможные пути трансформации каротиноидов.

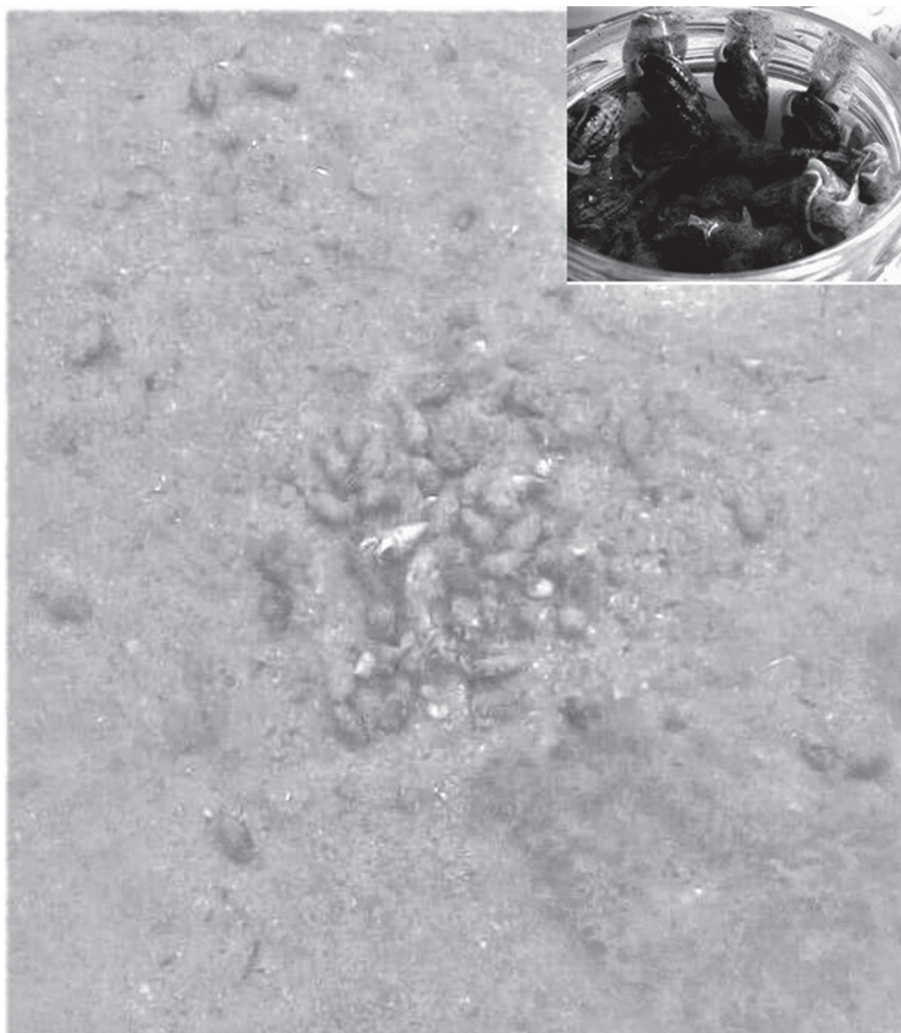
## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования послужили морские улитки *Tritia reticulata*, обитающие во время сбора в смешанном донном сообществе двустворчатых моллюсков (*Chamelea gallina* (L., 1758), *Polittapes aureus* (Gmelin, 1791), *Cerastoderma glaucum* (Bruguière, 1789)), состав каротиноидов которых был подробно изучен ранее (Borodina, Zadorozhny, 2020, 2021, 2022). Улиток собирали на глубине 0–1 м в песчано-иловом грунте бух. Казачья (г. Севастополь). Исследования проводили в течение двух лет (2021, 2022 гг.) в период максимального накопления улитками каротиноидов — весенне-летний период (Karnaukhov et al., 1977) с апреля по июнь. Всего за этот период было собрано и проанализировано 86 особей, сумма мягких тканей достигала 53.1 г сырой массы.

ССК определяли спектрофотометрическим методом, описанном ранее (Karnaukhov et al., 1977). Мягкие ткани гомогенизировали в фарфоровой ступке с пестиком, затем экстрагировали 100%-ным ацетоном. После определения ССК суммарный экстракт каротиноидов путем экстракции переводили в хлороформ, упаривали на роторном испарителе, герметично упаковывали в атмосфере азота и транспортировали при низкой температуре в Институт химии Дальневосточного отделения РАН для дальнейшей идентификации методами ВЭЖХ и масс-спектрометрии (MS).

ВЭЖХ проводили на хроматографе Shimadzu LC-20 с диодно-матричным детектором SPD-M20A; колонка Zorbax Sil 4.6  $\times$  250 мм, скорость потока 1 мл/мин, в градиенте гексан-ацетон (0–20 мин — гексан-ацетон 8 : 2 изократические условия; с 20 до 25 мин линейный градиент от 20 до 80% ацетона, 25–35 мин изократический режим гексан-ацетон 2 : 8). Фракции каротиноидов собирали после разделения (~10–15 разделений), объединяли, упаривали досуха на роторном испарителе при 40°C, перерастворяли в метаноле и хроматографировали на колонке Zorbax ODS 4.6  $\times$  250 мм, скорость потока 1 мл/мин, элюент метанол, детектор масс-спектрометрический низкого разрешения Shimadzu LCMS-2010EV, источник АРСІ, в режиме положительных ионов. Омыление каротиноидов проводили повторным растворением их в 5%-ном растворе КОН в метаноле.

<sup>1</sup> <https://www.marinespecies.org/index.php>



**Рис. 1.** Фото скопления морских улиток *T. reticulata* над двустворчатыми моллюсками *Chamelea gallina*, *Polittapes aureus* и остатками скелета ракообразных на глубине 0.4–0.5 м. Масштаб 1 : 1.

Количественное содержание каротиноидов оценивали по результатам ВЭЖХ с учетом коэффициента  $A_{1\%}^{1\text{см}}$  2500 при 450 нм, для фукоксантина и его производных – 1600. Отношение максимумов III/II, % в спектрах поглощения рассчитывали по работе (Бриттон, 1986). Количество каротиноидов в этерифицированном виде оценивали после щелочного гидролиза.

Результаты расчета ССК представлены как среднее арифметическое ( $\bar{x}$ ) и стандартная ошибка средней ( $S\bar{x}$ ). Для сравнения ССК и фракций каротиноидов у *T. reticulata* применяли U-критерий Манна–Уитни.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Весной на пастбищах смешанного сообщества двустворчатых моллюсков песчано-илового грунта можно увидеть скопления тритий (рис. 1). Эти

скопления *T. reticulata*, покрытые толстым слоем ила, по форме напоминают муравейники, под которыми видны ракушки *Chamelea gallina*, *Polittapes aureus* и даже остатки скелета ракообразных. Показано одно из таких скоплений (рис. 1), которое можно наблюдать в марте–апреле в бух. Казачья. Эти скопления встречаются только весной, образуются они в течение нескольких часов и затем также быстро исчезают, оставляя “островки” пустых ракушек двустворчатых моллюсков.

При вскрытии ракушки *Tritia reticulata* в исследуемый период встречены особи самцов и самок с ярко окрашенными гонадами (на 3–4-й стадиях зрелости), выделяющимися на фоне остальных тканей (рис. 2). У этого вида гонады самок могут быть окрашены в желтый, белый, малиновый или зеленый цвета, у самцов – в белый или розовый (Чухчин, 1984).



Рис. 2. Фото морских улиток *T. reticulata*: а – внешний вид моллюска в ракушке, б – мягкие ткани без ракушки. 1 – нога, 2 – гонады.

Особь с ярко выраженными окрашенными гонадами имели более высокий уровень ССК, чем особи с невыраженными гонадами, что отражалось на величине  $S\bar{x}$  в табл. 1. Средние показатели ССК за апрель–июнь в течение двух лет представлены в табл. 1.

Качественный состав каротиноидов определяли методом ВЭЖХ-МС из суммарного экстракта. Идентифицированы каротиноиды и эфиры каротиноидов (табл. 2). Хроматограмма общего экстракта каротиноидов представлена на рис. 3. Наряду с каротиноидами наблюдается ряд пиков порфириновых пигментов, прежде всего, хлорофиллов и продуктов их деградации. Эти соединения мешают оценке содержания фракции эфиров каротиноидов и эхиненона, поэтому данные фракции определяли после сбора элюатов фракций 2 и 3 и последующего щелочного гидролиза. К сожалению, определить содержит ли эта фракция этерифицированный астаксантин или фукоксантин не представляется возможным из-за

их лабильности в щелочной среде (Britton et al., 1995). Данные по масс-спектрометрии каротиноида, соответствующего пику № 4 (рис. 3), указывают на возможное присутствие в молекуле этого каротиноида двух кислородосодержащих функциональных групп, УФ-видимый спектр имеет типичный для кето-каротиноидов сглаженный вид, с максимумом поглощения 457 нм и небольшим плечом 470–475 нм. По данным (Matsuno et al., 1989), у ряда хищных гастропод имеется каротиноид с такими характеристиками – гидроксизехиненон, который появляется в качестве промежуточного продукта при окислительном метаболизме  $\beta$ -каротина в астаксантин или кантаксантин. Основываясь на полученных нами результатах, сделано предположение, что это соединение – гидроксизехиненон. Присутствие на хроматограмме (рис. 3) диадиноксима обусловлено, скорее всего, изомеризацией диадиноксантина в процессе выделения и анализа, поэтому в таблице их количественные характеристики объединены.

Содержание фукоксантинола и гетероксантина, выходящих на силикагелевой колонке в одном пике, определяли, рехроматографируя эту фракцию на обращенной фазе (колонка Zorbax ODS).

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Результаты по ССК близки к данным работы (Karnaukhov et al., 1977), в которой для моллюсков *T. reticulata* отмечали относительно высокую концентрацию каротиноидов (2.05 мг/100 г сухой массы). Это указывает на высокую устойчивость моллюска при любых неблагоприятных факторах окружающей среды, например, ее загрязнении или недостатке кислорода (Karnaukhov et al., 1977; Карнаухов, 1988). Начало годового цикла моллюска, связанное с началом репродуктивного

Таблица 1. Средние показатели ССК (мг/100 г сухой массы) в мягких тканях *T. reticulata* за апрель–июнь 2021 и 2022 гг.

Апрель (n = 10)	Май (n = 19)	Июнь (n = 14)
<b>2021 г.</b>		
1.13–1.50 1.33 ± 0.04 (8.5)	0.95–3.55 1.77 ± 0.19 (46.7)	1.60–3.00 2.09 ± 0.11 (19.99)
<b>2022 г.</b>		
1.00–1.82 1.43 ± 0.07 (15.1)	0.10–2.00 0.84 ± 0.13 (68.1)	1.16–2.90 1.8 ± 0.11 (23.54)

Примечание. Над чертой – min–max; под чертой – среднее арифметическое и стандартная ошибка среднего, в скобках – коэффициент вариации (%). n – число осредненных проб.

**Таблица 2.** Идентификация состава каротиноидов и их содержание в тканях *T. reticulata*

Каротиноиды	Доля, % от ССК	$R_t$ , мин	$\lambda_{\max}$ , нм	Отн. макс. III/II, %	m/z иона [M + H] <sup>+</sup>
$\beta$ -каротин	22.2	2.70	425, 451, 477	23	537
Эфиры каротиноидов (лютеин, зеаксантин, аллоксантин, гетероксантин)	6.8	2.9–5.0	—	—	—
Эхиненон	1.2	2.90	453	0	561
Гидроксиэхиненон	1.6	8.36	457	0	567
Астаксантин	6.0	9.94	475	0	597
Дидегидроастаксантин	0.3	10.31	470	0	595
Лютеин	8.5	14.15	444, 471	68	569
Зеаксантин	11.6	15.27	426, 451, 476	34	569
Диадинохром	—	16.46	405, 425, 455	70	583
Диадиноксантин	9.1*	17.06	426, 450, 476	20	583
Диатоксантин	1.6	18.34	428, 453, 480	15	567
Аллоксантин	1.8	19.09	451, 480	54	565
Фукоксантин	16.3	27, 78	449, (469)	0	659
Галоцинтиаксантин	3.1	28.63	451, (471)	0	599
Фукоксантинол	2.9	30.65**	449, (470)	0	617
Гетероксантин	2.3	30.65**	422, 445, 472	53	601
Мактраксантин	0.2	32.99	418, 442, 471	91	—***
Неидентифицированные	4.5	—	—	—	—

Примечание.  $R_t$  — время удерживания, мин;  $\lambda_{\max}$  — максимумы поглощения в элюенте, нм; отн. макс. III/II, % — отношение максимумов III/II, % в спектрах поглощения; m/z — отношение массы иона к его заряду; [M + H]<sup>+</sup> — протонированный молекулярный ион; “—” — отсутствие измерений.

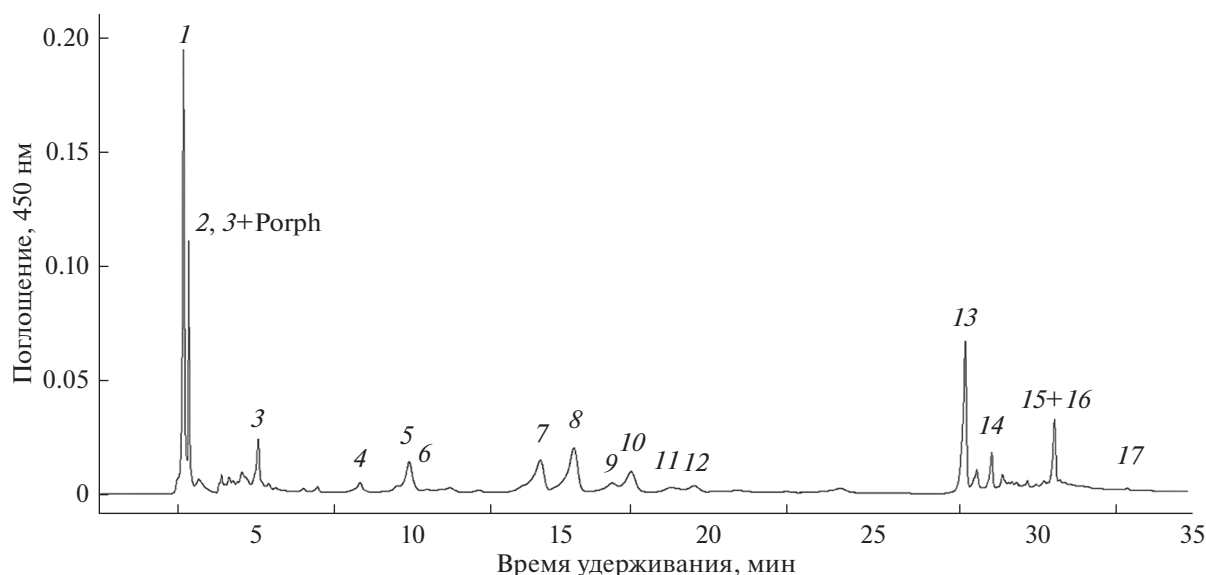
\* Диадинохром — изомер диадиноксантина, приведена суммарная концентрация обоих каротиноидов.

\*\* Фракция была разделена на обращенной фазе на две (гетероксантин и фукоксантинол).

\*\*\* Масс-спектр не был записан из-за малого содержания фракции, хроматографически неразделим со стандартом, выделенным из *Cerastoderma glaucum*.

цикла, приходится на весну (Чухчин, 1984), возникающая корреляция между процессами накопления каротиноидов и созреванием гонад становится очевидной. Скопление моллюсков *T. reticulata* (рис. 1) может быть вызвано не только совместным гастрономическим пиршеством, но и активным процессом размножения в этот период. Особи *T. reticulata* в поиске пищи преодолевают большие расстояния (Чухчин, 1984), на разных субстратах они могут встречать различных ракообразных и личинок моллюсков, обрастающих разнообразными поверхностями (Смирнова и др., 2021). Данные по составу каротиноидов (табл. 2) показали, что *T. reticulata* содержит каротиноиды, типичные для моллюсков-фильтраторов, в частности *Chamelea gallina*, *Polititapes aureus*, *Cerastoderma glaucum*. Это диадиноксантин, гетероксан-

тин, фукоксантин и его производные — фукоксантинол, галоцинтиаксантин (Borodina, Zadorozhny, 2020, 2021, 2022). Ранее в составе 90% каротиноидов у *Chamelea gallina* было обнаружено одиннадцать свободных каротиноидов, среди них только четыре (фукоксантинол, амаруциаксантин А, галоцинтиаксантин, гетероксантин) относятся к продуктам животного метаболизма. Остальные семь могут быть получены в результате их ассимиляции из фито- и зоопланктона или детрита (Borodina, Zadorozhny, 2021). Среди 80% идентифицированных каротиноидов у моллюсков *Polititapes aureus* (сем. Veneridae) было обнаружено девять свободных каротиноидов, из них продуктами животного метаболизма были только амаруциаксантин А и мактраксантин. Остальные каротиноиды моллюс-



**Рис 3.** ВЭЖХ неомыленного экстракта каротиноидов проб мягких тканей *T. reticulata*. По оси ординат: интенсивность при 450 нм; по оси абсцисс – время, мин. 1 –  $\beta$ -каротин, 2 – эхиненон, 3 – эфиры ксантофиллов, 4 – гидроксиэхиненон, 5 – астаксантин, 6 – дидегидроастаксантин, 7 – лютеин, 8 – зеаксантин, 9 – диадинохром, 10 – диадиноксантин, 11 – диатоксантин, 12 – аллоксантин, 13 – фукоксантин, 14 – галоцинтиаксантин, 15 – фукоксантинол, 16 – гетероксантин, 17 – мактраксантин, Porph – порфириновые пигменты.

ки-сестенофаги получали с пищей без дальнейшей трансформации.

Изучение состава каротиноидов близкородственных видов из других регионов Мирового океана крайне ограничено. Так, в 2008 г. японскими учеными (Maoka et al., 2008) был исследован состав каротиноидов моллюсков *Paphia amabilis* (Philippi, 1847) (сем. Veneridae) из тихоокеанского региона, который существенно отличался от такового *Chamelea gallina* и *Politiitapes aureus* из черноморского региона (Vorodina, 2022). Сходные особенности были отмечены для *Cerastoderma glaucum* из черноморского региона: наличие всего одного животного каротиноида – мактраксантина (из 90% идентифицированных), не считая процесса этерификации и изомеризации ряда каротиноидов и возможного получения гетероксантина не напрямую через желто-зеленых жгутиковых микроводорослей (Nitsche, 1973), а через конверсию диадиноксантина  $\rightarrow$  гетероксантина (Partali et al., 1989). Следует отметить, что состав каротиноидов черноморских моллюсков существенно отличался от их близкородственных видов из тихоокеанского региона (Vorodina, 2022). По нашим данным, у *T. reticulata* кроме окислительного пути метаболизма (как у *Fusinus*:  $\beta$ -каротин  $\rightarrow$  эхиненон  $\rightarrow$  гидроксиэхиненон (Matsuno et al., 1985)), присутствует метаболическое превращение пектенолона в 7,8-дидегидроастаксантин, отмеченное и у черноморской *Rapana venosa* (Valenciennes, 1846) (Vorodina et al., 2013).

**Выводы.** В тканях морских улиток *Tritia reticulata*, в пищевой рацион которых входили двустворчатые моллюски *Chamelea gallina* и *Politiitapes aureus*, а также остатки ракообразных, обнаружено 15 свободных каротиноидов:  $\beta$ -каротин, эхиненон, гидроксиэхиненон, астаксантин, дигидроастаксантин, диадиноксантин, диатоксантин, фукоксантин, галоцинтиаксантин, фукоксантинол, мактраксантин, гетероксантин, лютеин, зеаксантин, аллоксантин и этерифицированные формы последних четырех каротиноидов. Хищный образ жизни этого вида моллюсков и родство с гастроподами *Fusinus* sp. объясняет наличие собственного окислительного метаболизма  $\beta$ -каротин  $\rightarrow$  эхиненон  $\rightarrow$  гидроксиэхиненон, а также получение 7,8-дидегидроастаксантина и кето-каротиноидов путем собственных метаболических преобразований. Наличие в тканях *T. reticulata* каротиноидов, характерных для водорослей ( $\beta$ -каротин, диадиноксантин, диатоксантин, фукоксантин, гетероксантин, лютеин, зеаксантин, аллоксантин), по-видимому, связано с употреблением в пищу мяса моллюсков-фильтраторов *Chamelea gallina* и *Politiitapes aureus*, у которых имеются эти каротиноиды.

#### ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена по теме № 121041400077-1 государственного задания Федерального исследовательского центра Института биологии Южных морей РАН «Функциональные, метаболические и токсикологические аспекты существования гидробионтов и их попу-

лящий в биотопах с различным физико-химическим режимом”. Использовано оборудование Центра коллективного пользования “Дальневосточный центр структурных исследований” Института химии Дальневосточного отделения РАН.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бондарев И.П., Ревков Н.К.** 2018. Консорты брюхоногого моллюска *Rapana venosa* (Valenciennes, 1846) в северной части Черного моря. Ч. III: Mollusca (Gastropoda) // Морской биол. журн. Т. 3. № 1. С. 23. <https://doi.org/10.21072/mbj.2018.03.1.03>
- Бриттон Г.** 1986. Биохимия природных пигментов: М.: Мир.
- Еремеев В.Н., Гаевская А.В., Шульман Г.Е., Загородняя Ю.А.** 2011. Промысловые биоресурсы Чёрного и Азовского морей // НАН Украины, Институт биологии южных морей НАН Украины. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика.
- Карнаухов В.Н.** 1988. Биологические функции каротиноидов. М.: Наука.
- Киселева М.И.** 1981. Бентос рыхлых грунтов. Киев: Наукова думка.
- Макаров М.В.** 2018. Таксоцен Mollusca в эпифитоне морской травы *Zostera* sp. в акватории бухты Казачья (Черное море) // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. Вып. 3. С. 92. <https://doi.org/10.22449/2413-5577-2018-3-92-97>
- Смирнова Л.Л., Кошкарёв А.А., Сизова О.С.** 2021. Развитие сообществ обрастания на антропогенных поверхностях в прибрежных водах Черного моря // Биология внутр. вод. № 5. С. 461. <https://doi.org/10.31857/S0320965221040136>
- Чухчин В.Д.** 1984. Экология брюхоногих моллюсков Черного моря. Киев: Наукова думка.
- Borodina A.V.** 2022. Features of Carotenoid Profile in Black Sea Bivalve Mollusks // J. Evol. Biochem. Physiol. V. 58. № 4. P. 943. <https://doi.org/10.1134/S0022093022040019>
- Borodina A.V., Zadorozhny P.A.** 2020. The Annual Dynamics of Tissue Carotenoids in a Bivalve Mollusk *Cerastoderma glaucum* (Bruguière, 1789) // J. Evol. Biochem. Physiol. V. 56. № 1. P. 1. <https://doi.org/10.1134/S0022093020010019>
- Borodina A.V., Zadorozhny P.A.** 2021. Seasonal Dynamics of Carotenoids in the Black Sea Bivalve Mollusk *Chamelea gallina* (Linnaeus, 1758) // J. Evol. Biochem. Physiol. V. 57. № 3. P. 503. <https://doi.org/10.1134/S0022093021030054>
- Borodina A.V., Zadorozhny P.A.** 2022. Distinctive Variations in Carotenoid Accumulation in Tissues of the Clam *Polititapes aureus* (Gmelin, 1791) from the Black Sea // Russ. J. Mar. Biol. V. 48. № 5. P. 393. <https://doi.org/10.1134/S1063074022050145>
- Borodina A.V., Maoka T., Soldatov A.A.** 2013. Composition and content of carotenoids in body of the Black Sea gastropod *Rapana venosa* (Valenciennes, 1846) // J. Evol. Biochem. Physiol. V. 49. № 3. P. 283. <https://doi.org/10.1134/S002209301303002X>
- Britton G., Liaaen-Jensen S., Pfander H.** 1995. Carotenoids. V. 1A: Isolation and Analysis. Basel: Birkhauser.
- Fiordelmondo E., Roncarati A., Vincenzetti S. et al.** 2020. Sterol and mineral profiles of the Common Sea Snail *Hinia reticulata* and the Long Sea Snail *Nassarius mutabilis* (Gastropods) Collected from the Middle Adriatic Sea // Current Res. Nutrition Food Sci. V. 8. № 3. P. 757. <https://doi.org/10.12944/CRNFSJ.8.3.08>
- Goodwin T.W.** 1984. The biochemistry of the carotenoids: animals. L.: Chapman and Hall.
- Karnaukhov V.N., Milovidova N.Y., Kargopolova I.N.** 1977. On a role of carotenoids in tolerance of sea molluscs to environment pollution // Comp. Biochem. Physiol. A Comp. Physiol. V. 56. № 2. P. 189. [https://doi.org/10.1016/0300-9629\(77\)90183-9](https://doi.org/10.1016/0300-9629(77)90183-9)
- Maoka T.** 2011. Carotenoids in Marine Animals // Mar. Drugs. V. 9. № 2. P. 278. <https://doi.org/10.3390/md9020278>
- Maoka T., Akimoto N., Yim M.J. et al.** 2008. New C37 skeletal carotenoid from the clam, *Paphia amabilis* // J. Agricult. Food Chem. V. 56. № 24. P. 12069. <https://doi.org/10.1021/jf802717b>
- Maoka T., Akimoto N., Tsushima M. et al.** 2011. Carotenoids in Marine Invertebrates Living along the Kuroshio Current Coast // Mar. Drugs. V. 9. № 8. P. 1419. <https://doi.org/10.3390/md9081419>
- Matsuno T., Katagiria K., Maoka T., Komori T.** 1985. Novel reductive metabolic pathways of 4-oxo-b-end group in carotenoids of the spindle shell *Fusinus perplexus* // Comp. Biochem. Physiol. V. 81B. № 4. P. 905. [https://doi.org/10.1016/0305-0491\(89\)90333-7](https://doi.org/10.1016/0305-0491(89)90333-7)
- Matsuno T., Tsushima M.** 1989. Carotenoids of shellfishes-X. Reductive metabolic pathways of echinenone and fritschiiellaxanthin in the spindle shell *Fusinus perplexus* // Comp. Biochem. Physiol. Part B. V. 92. № 1. P. 189. [https://doi.org/10.1016/0305-0491\(89\)90333-7](https://doi.org/10.1016/0305-0491(89)90333-7)
- Nitsche H.** 1973. Heteroxanthin in *Euglena gracilis* // Archiv. Mikrobiol. V. 90. № 2. P. 151. <https://doi.org/10.1007/BF00414517>
- Shahidi F., Brown J.A.** 1998. Carotenoid pigments in seafoods and aquaculture // Crit. Rev. Food Sci. Nutr. V. 38. № 1. P. 1. <https://doi.org/10.1080/10408699891274165>
- Partali V., Tangen K., Liaaen-Jensen S.** 1989. Carotenoids in food chain studies – III. Resorption and metabolic transformation of carotenoids in *Mytilus edulis* (Edible mussel) // Comp. Biochem. Physiol. V. 92B. № 2. P. 239. [https://doi.org/10.1016/0305-0491\(89\)90272-1](https://doi.org/10.1016/0305-0491(89)90272-1)

**Composition and Content of Carotenoids of Gastropod *Tritia reticulata* in Black Sea****A. V. Borodina<sup>1, \*</sup> and P. A. Zadorozhny<sup>2</sup>**<sup>1</sup>*Institute of Biology of Southern Seas, Russian Academy of Sciences, Sevastopol, Russia*<sup>2</sup>*Institute of Chemistry, Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russia*

\*e-mail: borodinaav@mail.ru

The results of a two-year study of the composition and content of carotenoids of sea snails *Tritia reticulata* (L., 1758), living in a mixed bottom community of bivalve mollusks in the sandy zone of the upper sublittoral (depth 0–1 m) of the Cossack Bay of Sevastopol, are presented. The highest content of total carotenoids was detected in June (1.8–2.09 mg/100 g of crude mass), the average Cossack Bay samples for both years was 1.54 mg/100 g of crude mass. In the qualitative composition of *T. reticulata* taken from the pastures of bivalves on sandy-silt soil, 15 free carotenoids were identified:  $\beta$ -carotene, echinenone, hydroxyechinenone, astaxanthin, didehydroastaxanthin, diadinoxanthin, diatoxanthin, fucoxanthin, halocintixanthin, fucoxanthinol, mactraxanthin, heteroxanthin, lutein, zeaxanthin, alloxanthin and esters of the last 4 carotenoids. The possibility of metabolic transformations of carotenoids is discussed.

*Keywords:* sea snails, *Tritia reticulata*, carotenoids, carotenoid transformation pathways, Black Sea