

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БИОХИМИЯ МОРСКИХ ОРГАНИЗМОВ

З.А.Виноградов

/Одесское отделение Института биологии южных морей
АН УССР/

Бурное развитие биохимических исследований в XX в. и особенно в последние десятилетия, и проникновение их во все области биологических наук оказало существенное влияние на постановку и развитие биохимического изучения морских организмов.

Биохимическое изучение морских организмов, отражая в целом общий ход развития основных направлений современной биохимии, осуществляется в значительной степени на экологической основе, что вполне отвечает огромной важности познания метаболизма и химического состава организмов в различных и изменяющихся условиях окружающей среды их обитания.

Открытие наличия богатой жизни в Мировом Океане до его максимальных (более 11 км) глубин благодаря многочисленным биологическим исследованиям, выполненным в последние годы, обуславливает необходимость биохимического изучения жизни Мирового Океана в экологическом аспекте.

Экология, основной задачей которой являются изучение конкретных взаимоотношений организмов и окружающей среды и выявление адаптаций организмов к условиям обитания, как самостоятельная ветвь биологической науки, также получила наиболее интенсивное развитие в этот же период.

Одно из основных понятий современной экологии - б и о ц е н о з - совокупность растительных и животных организмов определенных участков суши и водоема рассматривается в единстве с его средой - б и о т о п о м.

Понятие б и о г е о ц е н о з, выдвинутое В.Н. Сукачевым, объединяет оба понятия - биоценоз и биотоп - в единое целое и представляет собой элементарную биохорологическую единицу в биосфере, производящую биогеохимическую работу. Понятие биогеоценоз по своему

содержанию близко понятию экосистема Тэнсли (1935). "Экосистема" в понимании Эванса (1956) имеет более широкий смысл, охватывающий и популяции вида и сообщества разных уровней сложности.

Биогеоценоз (либо экосистема) является предметом изучения современной экологии вообще и гидробиологии в частности.

В организмах в течение их жизненного цикла в изменяющихся условиях обитания происходят биохимические изменения, которые в последующем отражаются в видимых морфологических и экологических различиях.

Исследования Флоркена и его школы выявили биохимический механизм осморегуляции пресноводных, проходных и морских организмов (1948), в основе которой лежит не только регуляция обмена и проницаемости ионов химических элементов через клеточные мембраны, но и регуляция аминокислотной компоненты.

Установлена роль свободных аминокислот в процессе осморегуляции водных организмов.

В основе эвригалинности лежит способность организмов мигрировать не столько между низкими и высокими концентрациями солей, сколько между гидратирующими (пресная вода) и дегидратирующими (море и суша) условиями.

Ярким примером биохимической адаптации пресноводных, проходных и морских рыб изменение природы пигментов рыб в их зрительной системе и витаминов А, участвующих в этой системе, изученные Уолдом и сотр. (1950, 1961) и нами (Виноградова, 1953, 1957, 1958).

Работы, посвященные изучению биохимических изменений, происходящих перед и в течение миграций у речного угря и миноги, проходных сельдей, лососей и осетровых (Уолд, 1950, 1961; Крисчители, 1955, 1956; Виноградова, 1953, 1957, 1958) показали, что перед началом миграций рыб из пресной воды в морскую в сетчатке глаз происходит смена формы витамина А, а именно витамин А₂ заменяется витамином А₁, названным нами витамином А морского типа.

В зрительных пигментах мигрирующих из одной среды в другую рыб изменяется не только простетическая группа (витамины А), но и другой компонент пигмента - белок опсин.

Дептон и Уаррен (1957), а также Уолд с сотр. (1957) нашли, что зрительные пигменты глубоководных морских рыб имеют максимум поглощения света около 480 мкм, вместо максимума поглощения около 500 мкм, характерного для родопсинов форм, обитающих в поверхностных слоях. Эта особенность родопсинов глубоководных рыб имеет явно выраженный экологический смысл. Свет, проникающий в наиболее глубокие слои, является голубым, и для лучей с длиной волны около 480 мкм родопсины глубоководных рыб наиболее эффективны, так как их максимум поглощения лежит в этой области спектра.

Изучение витамина А у морских организмов, особенно у рыб, обитающих в различных экологических условиях - в пелагиали и бентали - позволило установить существенные отличия в величине запасов витамина А. Общие его запасы у донных и придонных рыб выше, нежели у пелагических (Виноградова, 1957, 1958).

Многочисленные исследования, посвященные биохимии метаморфоза животных, установили радикальные изменения не только в анатомии, но и в химическом составе и реакциях организмов. Как известно, метаморфозы животных сопровождаются резким переходом в иные условия существования организмов. (Переход от эмбриональной стадии развития к постэмбриональной, достижение половой зрелости и размножение сопровождаются также глубокими биохимическими изменениями).

Одни и те же или близкие виды животных, обитающие в литоральной и сублиторальной зонах моря, обнаруживают специфические особенности в своем химическом составе. Так, химический состав скаловой (прибрежной) мидии подвергается более резким колебаниям, чем химический состав иловой и ракушечной мидий.

В зависимости от экологических условий обитания находится также минерализованность тела и содержание хитина у различных бокоплавов; так, у *Gammarellus carinatus* содержится в два с лишним раза меньше хи-

тина и минеральных веществ, чем у *Gammarus marinus* ; последний вид обитает в прибойной зоне в более суровых условиях, чем *G. carinatus* - обитатель сублиторали (Аблямитова-Виноградова, 1949).

В.И.Вернадский создал новое направление в геохимии - биогеохимию, изучающую роль организмов в исторических процессах миграции, распределения, рассеяния и концентрации химических элементов в земной коре. В основных теоретических положениях биогеохимии, высказанных В.И.Вернадским, придается огромное значение выяснению взаимного влияния организмов и среды на биохимический состав гидросферы.

Работами В.И.Вернадского, А.П.Виноградова и их многочисленных последователей установлены различия химического элементарного состава организмов, обитающих в разных экологических условиях, и различная способность отдельных видов и биоценозов к концентрированию химических элементов из окружающей среды.

Развитие этого направления биогеохимии способствовало обособлению ветви экологии, которую профессор В.В.Ковальский называл г е о х и м и ч е с к о й э к о л о г и е й, в задачу которой входит изучение взаимоотношений организмов с геохимической средой в условиях биогеохимических провинций.

Атомы многих известных химических элементов, задерживаясь в организмах, вовлекаются в обмен веществ, участвуют в образовании не только скелетных и твердых частей их тела, но участвуют в синтезе ряда биологически активных веществ, как ферменты, витамины, гормоны и дыхательные пигменты.

Как и в земной коре вообще, в гидросфере - в морях и океанах - также имеются области (зоны и ареалы), для которых характерно повышенное или пониженное содержание определенных химических элементов. Избыток или недостаток отдельных химических элементов влечет за собой изменение биохимических процессов, происходящих в организмах, изменение хода биологических ритмов в их жизнедеятельности.

Биохимическое изучение морских организмов, осуществляемое в отделе биохимии ИнБЮМ АН УССР, проводится главным образом на экологической основе.

Неритический планктон и планктон открытых районов моря, планктон поверхностного слоя моря и планктон толщи воды, сходные по видовому составу и по показателям количественного развития в одни и те же периоды года, имеют значительные различия по биохимическому составу и калорийности (Виноградова, 1959 - 1967, Виноградова и сотр., 1962, 1967).

Поразительная сопряженность сезонных ритмов интенсивного развития морского планктона с высокими кормовыми показателями (по калорийности, содержанию жира и белковых веществ) с периодами повышения количества белковых веществ, жира и углеводов у крупных беспозвоночных-планктофагов и у планктоноядных рыб, несомненно, является примером биохимической адаптации у организмов, питающихся планктоном в определенных экологических условиях.

Установлены два максимума в содержании органических веществ в планктоне и в планктоноядных организмах Черного моря - весенний и осенний.

Энергетический потенциал, т.е. запасы жира и характер связи его со структурными компонентами состава тела морских веслоногих рачков, совершающих вертикальные миграции и не совершающих таковые, обнаруживают между собой существенные различия (Виноградова, 1964, 1967). Так, у веслоногих рачков *Pontella mediterranea* - типичной формы гипонейстона - содержание жира в 4 - 5 раз меньше, чем у *Calanus helgolandicus*, совершающего вертикальные миграции.

В теле *C. helgolandicus* свободный запасный жир локализуется вдоль наружной стенки кишечника и хорошо виден под микроскопом. У *P. mediterranea* свободные жировые включения не обнаружены, а жиры и жироподобные соединения в виде, вероятно, липопротеидов локализованы тонким сплошным слоем под хитиновой оболочкой тела, образуя как бы непромокаемую пленку, обеспечивающую возможность нахождения этих рачков на границе моря и атмосферы у самой (и на самой) его поверхности.

Изучение скорости извлечения жира и жироподобных веществ из тела морских веслоногих рачков позволило выявить весьма существенные различия. Несомненно, сво-

бодный - запасный жир, будучи весьма лабильным, извлекается из тканей организма в первую очередь, а жир, связанный более тесной связью с другими органическими соединениями (главным образом с белками), будет извлекаться труднее и медленнее. Исходя из этого предположения, нами проведено дифференцированное определение жира у разных видов веслоногих рачков наряду с общепринятым методом в аппаратах Сокслета, заключающееся в последовательном, через определенные промежутки времени (3, 6, 9, 12, 15 и 18 ч) определении количества жира, извлеченного серным эфиром.

Предварительные анализы показали, что у морских веслоногих рачков за 15 - 18 ч экстракции жиры и жироподобные соединения практически извлекаются полностью. Эти исследования показали разнокачественность жира и жироподобных веществ веслоногих рачков, совершающих вертикальные миграции и не совершающих таковых (см. табл. 1).

Т а б л и ц а 1

Скорость экстракции жира некоторых *Copepoda* Черного и Каспийского морей (в % от общего содержания жира, полученного за 18 ч экстракции, принятого за 100%)

В и д	Среднее (общее) со- держание жира, %	n	Продолжительность экстракции, ч						
			3	6	9	12	15	18	
<i>Pontella mediterranea</i>	6,44	7	48	56	73	88	94	100	
<i>Colanus helgolandicus</i>	20,79	12	74	80	86	93	98	100	
<i>Ac. clausi</i>	14,72	3	73	80	84	88	96	100	
<i>Limnocalanus grimaldus</i>	13,55	2	58	61	75	86	98	100	

Если у мигрирующих рачков *C. helgolandicus* и *Acartia clausi* за первые 3 часа экстракции извлекается 73 - 74% от общего количества жира, то у несовершенной вертикальные миграции потеллиды за такой же отрезок времени извлекается лишь менее 50% от общих запасов жира и жироподобных веществ, что свидетельствует о более прочной связи жира с другими компонентами тела этих рачков по сравнению с калянусом и акаршией.

Limnocalanus grimaldii из Каспийского моря по скорости извлечения жира занимает промежуточное положение между пантеллидами и мигрирующими веслоногими рачками Черного моря.

У окрашенных суданом Ш *L. grimaldii* при разрыве тела жировые включения не вытекают, как у калянуса, что говорит о том, что у *L. grimaldii* присутствующий жир находится в связанном состоянии, по-видимому, в виде комплексных соединений (например, липопротеидов).

Различия в скорости извлечения жира из тела отдельных видов веслоногих рачков, обитающих в различных экологических условиях, представляют примеры биохимической адаптации перечисленных организмов к факторам окружающей среды их обитания.

Примером биохимической адаптации к условиям приповерхностного слоя являются также бо́льшая в 20 раз по сравнению с пигментированностью калянуса и акаршии пигментированность потеллид и более высокое содержание стерина - провитамина Д, чем у относительно глубоководных рачков калянусов.

Экологические условия оказывают существенное влияние на аминокислотный состав морских организмов, в особенности на количественное распределение определенных свободных и связанных в белках аминокислот (Степанюк, 1966-1967, Нгуен Ким Хунг), на степень активности и термостабильности пищеварительных ферментов рыб (Кандюк, 1965 - 1966), а также на качественный и количественный состав пигментов морских организмов (Виноградова, 1964-1967; Виноградова, Яценко, Анцупова, 1967; Анцупова, 1967).

Эти данные позволили нам (Виноградова, 1960, 1962) сделать вывод о возможности применения учения о биогеохимических провинциях, выдвинутого А.П.Виноградовым (1938) и по отношению к морям и океанам.

Многочисленные материалы, накопленные отделом биохимии по химическому элементарному составу морского планктона, крупных донных беспозвоночных, пелагических и донных рыб (Виноградова, 1962 - 1967; Петкевич, 1962-1967; Виноградова и Петкевич, 1965 - 1967; Петкевич и Степанюк, 1966; Виноградова и Коган, 1966; Коган, 1966 - 1967; Олейник и Костылев, 1967), свидетельствуют о чрезвычайно большом влиянии экологических условий также и на химический элементарный состав организмов и позволяют выявить роль организмов в биогенной миграции химических элементов в морях и океанах, подтверждая тем самым правильность высказанного нами вывода.

Таким образом, интенсивно развиваемое в настоящее время направление биохимии морских организмов, являясь неотъемлемой частью общей биохимии, используя общие с ней методы исследований, вместе с тем должно составить особую ветвь биохимии, ибо ставит основной задачей выяснение закономерностей обмена веществ, состава и биохимических реакций организмов не в море и патологии, как рассматривает общая биохимия, а под влиянием изменяющихся экологических условий (имея в виду совокупное действие абиотических и биотических факторов); поэтому данное направление может быть названо экологической биохимией морских организмов.

Основными направлениями экологической биохимии морских организмов, наметившимися в ходе ее развития, являются:

1. Изучение биохимических адаптаций морских организмов к различным абиотическим (солевой состав, температура, освещенность, глубина) и биотическим (взаимное влияние организмов в сообществе, трофические взаимоотношения, действие прижизненных выделений организмов друг на друга, как стимуляторов либо как ингибиторов биохимических реакций, происходящих в организмах) условиям окружающей среды.

2. Изучение биохимических изменений в организмах, происходящих в ходе метаморфозов, сопровождающихся резкой сменой экологических условий обитания (направление, получившее название б и о х и м и м е т а м о р ф о з а).

Одни и те же биохимические системы при переходе организмов из одной стадии в другую, из одной среды в другую (как, например, в случае эвригалинных форм, при переходе из морской в опресненную и наоборот; организмов, совершающих вертикальные миграции в море при переходе от пелагического образа жизни к донному и т.д.) могут выполнять различные биохимические функции. Поэтому необходимо изучение функций важнейших биологически активных веществ, входящих в биохимические системы в метаболизме организмов в резко отличных условиях их обитания.

3. Изучение вариаций биохимического состава морских организмов в целях установления их систематического положения, внутривидовой и популяционной изменчивости в различных экологических условиях.

4. Изучение перехода и трансформации веществ и энергии через трофические уровни внутри определенных экосистем и в водоеме в целом с учетом сезонных ритмов в развитии организмов и в их биохимических признаках, ибо одной из наиболее постоянных особенностей биологических явлений в море является сезонная цикличность организмов, их функций и заключенных в них питательных веществ.

Лишь систематически проводимые многолетние исследования сезонных изменений биохимических признаков морских организмов позволят выявить общие и частные закономерности, присущие организмам в различных экологических условиях.

5. Крайне важным, но еще очень слабо разрабатываемым направлением экологической биохимии морских организмов являются вопросы радиационной биохимии. Обширные и многосторонние исследования по морской радиоэкологии, особенно работы Г.Г.Полякарпова с сотр., обобщенные в монографии (Г.Г.Полякарпов, 1964), убедительно показали, сколь велико губительное влияние искусственных радиоактивных элементов на организмы морей и океанов.

Радиационная биохимия морских организмов призвана изучать изменения биохимического состава и биохимических процессов, происходящих в облученных организмах, ибо в настоящее время происходит непрерывное увеличение радиоактивного загрязнения морей и океанов.

Ход развития экологической биохимии морских организмов вполне отвечает общему направлению дальнейшего развития морских биологических исследований, сформулированному в "Материалах к составлению биологической программы по морским исследованиям" (М., 1966).

ИТОГИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИЗУЧЕНИЯ НЕКТОНА

Ю.Г.Алеев

/Институт биологии южных морей АН УССР/

Немногим менее 100 лет назад была изобретена конусная сеть, с помощью которой оказалось возможным вылавливать пассивно плавающие и медленно передвигающиеся организмы, находящиеся в толще воды. Совокупность этих организмов, попадающих в конусную сетку, в большинстве своем мелких и микроскопических, в работе В.Гензена (*Henzen*, 1887), получила название планктона. С этого времени улов конусной сети сделался предметом пристального внимания исследователей и очень скоро появился ряд теоретических и обзорных сводок о планктоне, в числе которых, наряду с уже упомянутой работой Гензена, можно назвать труды К.Апштейна (*Apstein*, 1896), В.Оствальда (*Ostwald*, 1903), А.Штеера (*Steuer*, 1910), К.Брандта (*Brandt* 1899) и многие другие.

Такой интерес, проявленный исследователями различных стран к планктону, объясняется многими обстоятельствами.

Во-первых, в планктоне оказалась плавающая икра и личинки рыб. По обилию их в уловах конусной сети оказалось возможным судить об интенсивности размножения рыб, прежде всего - морских промысловых видов. Уже на первых порах исследователи пришли к мысли о возможности сравнительно точного количественного учета икры