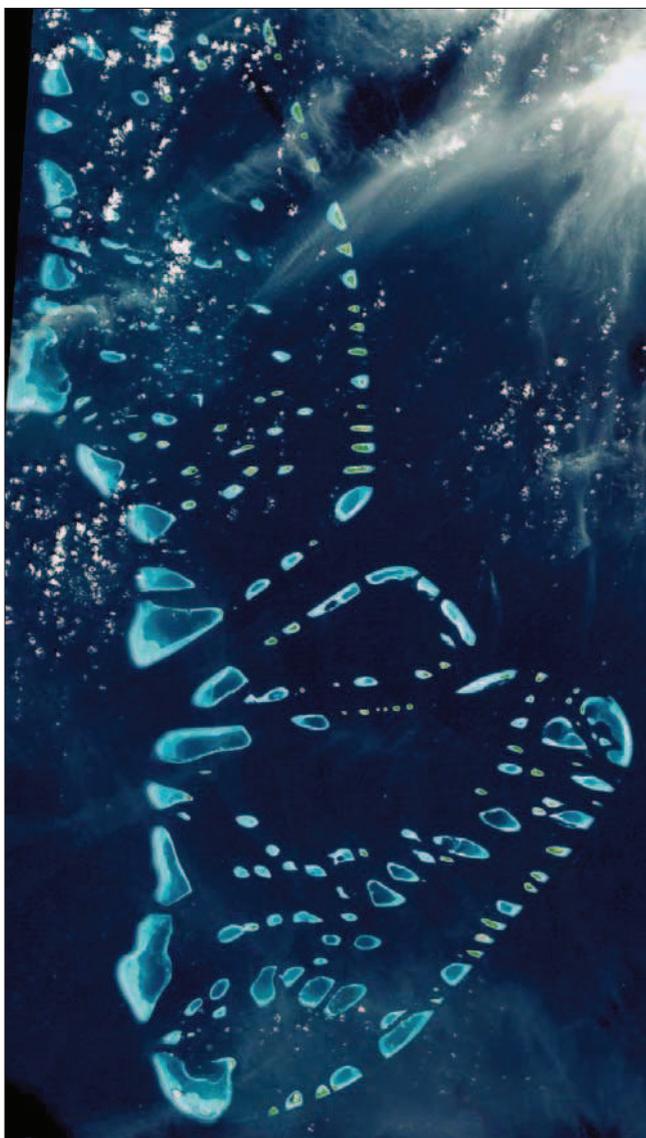


ОКЕАН – ЕДИННЫЙ ЖИВОЙ ОРГАНИЗМ

Доктор технических наук Владимир АВИЛОВ,
доктор биологических наук Светлана АВИЛОВА,
главные научные сотрудники Института океанологии
им. П.П. Ширшова РАН



Мировой океан – одно из немногих уникальных природных образований на нашей планете. Он многолик в восприятии: вызывает неподдельный интерес, восхищение, будоражит воображение бездной и мощью, служит домом, пищей и защитой для его обитателей. Водная гладь, занимая приблизительно 71% поверхности Земли, до сих пор скрывает много загадок. И немудрено: тысячелетиями человек «ходил за три моря», ловил рыбу, а изучать его начал лишь три века назад.

Отметим, морская наука зародилась с момента разработки и внедрения новых технологий – способа и устройства измерения глубины (лот) и отбора проб воды (пробоотборник), в чем преуспел основоположник отечественной океанографии адмирал Степан Макаров (1849-1904). Успехи интересующей нас ветви океанологии – биогеохимии – также связаны с появлением инновационных методов исследования. Химический этап изучения начался с открытия необыкновенного свойства основной массы океанической воды – постоянства солевого состава, который, по мнению многих ученых (например специалиста в области аналитической химии и геохимии, академика АН СССР (с 1953 г.) Александра Виноградова), практически не менялся последние 250 млн лет. И хотя впервые такое предположение высказал еще в 70-х годах XVII в. английский химик Роберт Бойль, полномасштабного объяснения ему до сих пор нет.

Мальдивские острова. Вид из космоса.



**Отбор проб
из интегрирующего батометра.**

Определенный рубеж океанологическая наука прошла в 70-е годы XX в. Так, в ходе многочисленных длительных экспедиций на кораблях научного флота страны отечественные исследователи собрали колоссальный фактический материал, опубликованный по инициативе директора Института океанологии им. П.П. Ширшова академика РАН (с 2000 г.) Андрея Мони́на в десятитомной монографии «Океанология» (1977 г.). Здесь изложена вся накопленная в мире сумма знаний по главным перспективным проблемам данной дисциплины. Дальнейшее совершенствование средств и методов морских работ существенно расширило знания о распределении растворенного и взвешенного органического вещества (ОВ) в водной массе, к наиболее репрезентативным показателям которого относится органический углерод ($C_{орг}$).

Натурные наблюдения утвердили на тот период общие для океана закономерности: максимальные количества ОВ характерны для слоя фотосинтеза, особенно в прибрежных и высокопродуктивных районах ($C_{орг} > 100$ мкг/л); с глубиной же его количество падает (ниже 1000 м составляет < 50 мкг/л). В целом между содержанием взвешенного $C_{орг}$ в глубинных водах и величиной продукции фитопланктона в поверхностном слое наблюдается прямая корреляция.

В результате сформировалась генеральная схема образования и трансформации ОВ в океане. Главный его продуцент — фитопланктон. В эвфотической (0–200 м) зоне благодаря фотосинтетической деятельности последнего создается первичная продукция, проходящая сложный путь утилизации в трофических цепях. Остатки организмов (детрит) опускаются в неосвещенные глубины, где их поедают детритоеды, а те, в свою очередь, становятся добычей хищников. Соответственно преобразование ОВ в промежуточных и глубинных водах протекает с не-

большой скоростью, бактериальная активность очень низка и окисление органического вещества замедлено.

Однако некоторые исследователи отмечали: в толщах воды встречаются слои (облака) сгущения жизни. Еще в 1967 г. французский океанограф Жан-Луи Фелл обнаружил там высокую концентрацию дрожжевых организмов и объяснил этот феномен Сомалийским течением. Американский исследователь Дэвид Карл, изучавший в 1970-х годах распределение содержания аденозинтрифосфорной кислоты (АТФ) по океаническим профилям, выявил некоторые неоднородности и связал их с кислородными минимумами. Ряд закономерностей установили отечественные биологи (Юрий Сорокин, Николай Парин, Лариса Пономарева и многие другие), проводившие опыты на сотнях глубоководных станций: биотоп фитоцена* населен жизнедеятельными клетками, продуцирующими органическое вещество; толща вод, лежащая глубже, содержит водоросли, не участвующие в создании первичной продукции. К этому следует добавить вывод из наблюдений упомянутого Сорокина: микрофлора в целом и отдельные ее группы распределены крайне неравномерно. На глубине 450–550 м в Тихом океане у верхней границы промежуточных антарктических вод он отметил постоянный максимум численности биомассы и дал тому свое объяснение: за счет возрастания градиента плотности происходит аккумуляция (как на жидком дне) оседающих органических частичек взвеси и отмирающих клеток, имеющих плавучесть, близкую к нейтральной, что создает более благоприятные, чем в выше- и нижележащих слоях, условия для питания бактериопланктона. Известные отечественные мик-

*Биотоп фитоцена — верхний слой до глубины нижней границы пикноклина (слоя резкого скачка плотности воды, находящегося на глубине 20–80 м) (прим. ред.).



Операция по выделению газовой фазы из морской воды с помощью дегазационной установки.

робиологи Ирина Мицкевич и Анатолий Крисс, исследуя в середине 1970-х годов водную толщу западной котловины Индийского океана, выделили на глубинах 300–500 м и у верхней границы в слое 1000–1500 м повышенную плотность сапрофитной микрофлоры, утилизирующей детрит. Сведения о максимумах численности гетеротрофов, обнаруженных отечественными и зарубежными учеными во всех океанах, обобщены в монографии Крисса «Микробиологическая океанография» (1976 г.). Автор предположил, что их существование и причины формирования обусловлены различными гидрологическими и гидрохимическими факторами.

Другими словами, разрозненные наблюдения вписывались в существующую схему, поэтому им и не придавали существенного значения. Общий же процесс по-прежнему воспринимался незыблемым: образование органического вещества происходит только в верхнем фотическом слое океана, а все, что ниже, — его производные. При этом глубинной массе вод отводилась роль транспортировки биогенных остатков в донные отложения.

Однако имевшейся информации было недостаточно для понимания сути океанических процессов. Поэтому, изучая взвешенные органические вещества,

мы избрали комплексную методологию, предусматривающую определение наиболее значимых биохимических показателей и газообразных компонентов*. Кроме того, разработали новые пробоотборники компенсационного типа, обеспечивающие герметичность образцов морской воды, другую аппаратуру, способную работать в судовых условиях. И только после этого в марте-июле 1976 г. отправились на исследовательском судне «Академик Курчатов» в Индийский океан**.

В данной экспедиции мы использовали более 20 современных методов изучения водной толщи. Специфическим и высокочувствительным способом определяли наличие аденозинтрифосфата — универсального носителя энергии, содержащегося только в живых клетках, ферментную активность (липолитическую, амилолитическую, протеолитическую и щелочную фосфомоноэстеразу), концентрацию белка, углеводов и фосфора, газовых компонентов — гелия, водорода, аргона, двуокиси углерода, перманентных и углеводородных смесей. Изучали две формы орга-

*См.: А. Геодекян, В. Авиллов, С. Авилова. Океан глазами геоэколога. — Наука в России, 1993, № 1 (прим. ред.).

**См.: В. Авиллов, С. Авилова. Жизнь на океаническом дне. — Наука в России, 2001, № 3 (прим. ред.).



**Пробоотборники требуют ухода –
стерильной чистоты внутренней полости.**

нического вещества – растворенную и взвешенную (условную границу между ними определяют прохождением водной массы через фильтры с порами 0,45–1,0 мкм). К первому типу относят соединения в фильтрате, ко второму – оставшуюся после предварительного отделения крупных фрагментов (более 200 мкм) часть, задерживающуюся на фильтре. Отметим, для изучения растворенного ОВ мы разработали метод с применением сефадекса (нейтрального вещества, состоящего из гранул различного размера) для мягкого его выделения с сохранением нативных (собственных) свойств, что позволило разделить состав по молекулярной массе и определить активность внеклеточных ферментов в каждой фракции. Полученные данные были опубликованы в журнале «Океанология» (1977 г.). Запрос на статью поступил из 20 стран мира.

Для достоверности информации мы ввели понятие «активное живое вещество». Его характеризует количественный показатель – биомасса микроорганизмов, измеряемая по АТФ. Поясним: океанологи еще в начале XX в. пытались определить соотношение живого и неживого во взвеси, например, в планктоне. При этом использовали методы, основанные на микроскопии. Однако тогда они не могли надежно

отделить живую клетку от погибшей – отсюда и ошибочность некоторых оценок. Доля живого во взвеси, измеренная таким способом, составляла 1–28%, а в период цветения в фотическом слое достигала 100%. Примененный нами АТФ-метод принципиально менял ситуацию, однозначно идентифицируя живую клетку и определяя количество микроорганизмов в воде с погрешностью, не превышающей 10%.

Комплекс соответствующих измерений мы провели, как говорят, «одними руками» в водной толще от поверхности до дна практически на всех станциях по маршруту судна. Неожиданные данные получили в Красном море на глубинах 1000 и 2030 м, на экваторе (1500 и 4900 м), над Маскаренским хребтом (3800 и 1200 м) и по широте острова Мадагаскар (500 м). И на всех указанных горизонтах АТФ содержался в повышенных количествах по сравнению с окружающими водами, а иногда был выше, чем в фотической зоне, его концентрация колебалась от 10 (2,5) до 60 нг/л (15 мкгС/л). С еще большей убедительностью не вписывалось в общепринятые рамки соотношение биологически активной живой массы и органического углерода, доходившее до 80%, что свидетельствовало о необычайно высокой доле ОВ во взвеси. Повышенная функция микроорганизмов здесь была

сравнима с таковой в районе Перуанского апвеллинга — одного из самых продуктивных регионов Мирового океана. Аналогичную картину наблюдали и в распределении белка: его содержание составляло 0,8-3,0 мкг/л, а доля взвешенного $C_{орг}$ поднималась до 20%. Эти и другие чрезвычайно важные натурные опыты указывали на образование активного живого вещества в промежуточных и глубинных водах. Причем установленные концентрации и соотношения АТФ, белка и $C_{орг}$ в изученных пробах не были связаны с первичной продукцией в фотическом слое.

Далее. По вертикальным профилям активность щелочной фосфоэстеразы (алкилфосфатазы) уменьшалась с глубиной. Мы установили прямую зависимость между этим показателем и содержанием белка, а вот его связь с присутствием во взвешенном веществе общего фосфора (Р) не обнаружили. Отмечали ее лишь в тех случаях, когда Р находился и в неживых компонентах взвеси. Тогда концентрация фосфора возрастала от обычных значений 0,02 мкг/л до аномальных 0,14. Высокая липолитическая активность наблюдалась в различных слоях океана до дна, она не коррелировала с содержанием белка, а амилитическая активность (расщепление крахмала) находилась в прямой зависимости от его концентрации, но не зависела от количества углеводов, находящихся в пределах 0,7-4,3 мкг/л. Мы измерили также четыре вида внеклеточной ферментной активности, оказавшейся на 2-3 порядка ниже, чем в живом веществе.

Результаты опытов продемонстрировали хорошее физиологическое состояние развивающегося здесь сообщества микроорганизмов. Это в принципе меняло представление о происходящих в морской среде процессах и привело нас к открытию, зарегистрированному в 1996 г. под № 92 с приоритетом от 1976 г. Сущность его состоит в обосновании и подтверждении вывода о том, что в промежуточных и глубинных водах океана происходит жизнедеятельность микроорганизмов с хемолитоавтотрофным (использующим неорганические соединения) типом обмена, которая и ведет к образованию активного живого вещества.

Данное явление не находится в прямой зависимости от фотосинтеза в поверхностных водах, а обусловлено потоками вещества и энергии при дегазации Земли. Исследования показали аномально высокие концентрации газовых компонентов и АТФ в нескольких метрах от дна и их связь с глубинными процессами в геодинамически активных зонах, в том числе в придонной части срединного океанического хребта Индийского океана.

Однако продуцирование органических веществ отмечено не во всех опробованных точках. В некоторых мы наблюдали типичное затухание жизни с глубиной. В иных — на отметке 500 м — нашли слои с аномально высоким содержанием взвешенного $C_{орг}$ и белка (71,4 мкг/л) при аналитическом нуле АТФ.

Обогащенные соленые воды Персидского и Оманского заливов затягиваются в промежуточные и глубинные воды Аравийского моря, при этом микроорганизмы испытывают стрессовую ситуацию и погибают, что отражается на концентрациях АТФ, и поэтому взвешенное органическое вещество представлено детритом (в этой ситуации белок не успевает разрушаться). Словом, природные процессы в океане гораздо сложнее установившихся схем.

Положение, выдвинутое нами, спустя 8 лет нашло подтверждение в работах американских исследователей Дэвида Карла и Джорджа Кнауэра: в опытах *in situ* они наблюдали на горизонтах 500 и 1100 м пятнистость с повышенной функцией микроорганизмов и тем самым установили, что в недрах океана идет продукция органического углерода.

Хотя образование ОВ в глубинных и промежуточных водах обнаружено нами 30 лет назад, многие исследователи до сих пор не придают этому явлению должного значения. Между тем оно проливает свет на общие вопросы геоэкологии Мирового океана и дает основание рассматривать его как единую глобальную систему. Единую в том смысле, что все слои водной толщи населены живыми организмами. Их взаимодействие и взаимосвязь с общей средой обитания сопровождаются идентичными процессами, в частности образованием бактериопланктона, «представители» которого создают собственную первичную продукцию. Кроме того, наши комплексные исследования показали: в океане развиты своеобразные механизмы передачи наследственной информации (уникальный признак живых организмов). Эту функцию несут растворенные органические соединения (например, внеклеточные ферменты) и отдельные группы микроорганизмов.

И еще. Авторы статьи не раз поднимали вопрос о создании экологического международного заповедника в центральных глубоководных районах всех океанов с целью сохранения уникального микробного сообщества. Идея становилась все более очевидной по мере расшифровки новых геномов, при обнаружении эффекта «горизонтального переноса» генов, в котором, как полагают, главную роль играет микробиота. Ее актуальность ныне возрастает многократно в связи с увеличивающимся антропогенным загрязнением Земли и необходимостью постоянного экологического мониторинга. Наличие такой акватории, несомненно, способствовало бы сохранению биосферы и, в конечном счете, — генофонда нашей планеты.

Иллюстрации предоставлены авторами