

# Меловые аноксические события в Тихом океане

О.Л.Савельева

**М**еловой период — один из самых интересных в истории Земли. Это время очень теплого климата, когда на полюсах отсутствовали ледяные шапки. В океанах происходили гигантские подводные излияния базальтов, животный и растительный мир стремительно менялся. Любопытными явлениями, характерными для так называемых «greenhouse» (тепличных) условий, в том числе и для мелового периода, были океанские аноксические события (ОАЕ — oceanic anoxic event) — короткие (менее 1 млн лет), но глобальные эпизоды дефицита кислорода в морях и океанах [1]. Недостаток кислорода мог охватывать лишь придонную область бассейнов или распространяться на значительную часть водной толщи. Отсутствие в достаточных количествах кислорода предохраняло от окисления органические остатки, и на дне отлагались темные, обогащенные органическим углеродом ( $C_{org}$ ) прослойки — черные сланцы. Таким образом захоранивались органическое вещество (ОВ) морского (планктонного или бентосного) происхождения, а также остатки наземной растительности, снесенные с суши. Углеродистые прослойки встречаются в морских осадочных разрезах по всему земному шару. Следы одного и того же аноксического события обнаруживаются, например,



**Ольга Леонидовна Савельева**, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН (Петропавловск-Камчатский), доцент кафедры географии, геологии и геофизики Камчатского государственного университета им. Витуса Беринга. Область научных интересов — литология, стратиграфия.

в разрезах Европы, Северной Америки, северной Африки, Тибета, Японии, в скважинах глубоководного бурения в океанах и, следовательно, помогают в сопоставлении этих разрезов. Наибольшей концентрацией таких событий характеризуется средняя часть мелового периода (рис.1).

Существуют различные гипотезы, объясняющие происхождение ОАЕ. Недостаток кислорода в океане, море или озере возникает, во-первых, из-за вялой циркуляции водных масс: кислород на дне расходуется на окисление органики, а нового не поступает. Во-вторых, аноксия может быть связана с активным размножением планктона в поверхностных водах. В слое воды — зоне кислородного минимума, — который располагается непосредственно ниже фотической зоны, происходит биохимическое и химическое разложение поступающего сверху ОВ. При этом расходуется содержащийся в воде кислород. Для осуществления такого механизма необходимо поступление в поверхностные воды большого количества питательных веществ, обычно не хватающих планктону. Вялая циркуляция и повышенная биопродуктивность могут действовать как одновременно, так и порознь. Чтобы восстановить палеообстановки и механизмы, приводящие к дефициту кислорода, для каждого конкретного бассейна и для каждого уровня ОАЕ необходимы тщательные исследования.

Наиболее детально изучены и подробно освещены в литературе проявления аноксии в узких океанах и полузакрытых морях мелового периода. Это Западный Тетис и прилегавшие к нему эпиконтинентальные моря, расширяющиеся Атлантический и Индийский океаны, Западный внутренний бассейн Северной Америки. В этих бассейнах действовали оба описанных механизма, хотя роль их меня-

© Савельева О.Л., 2014

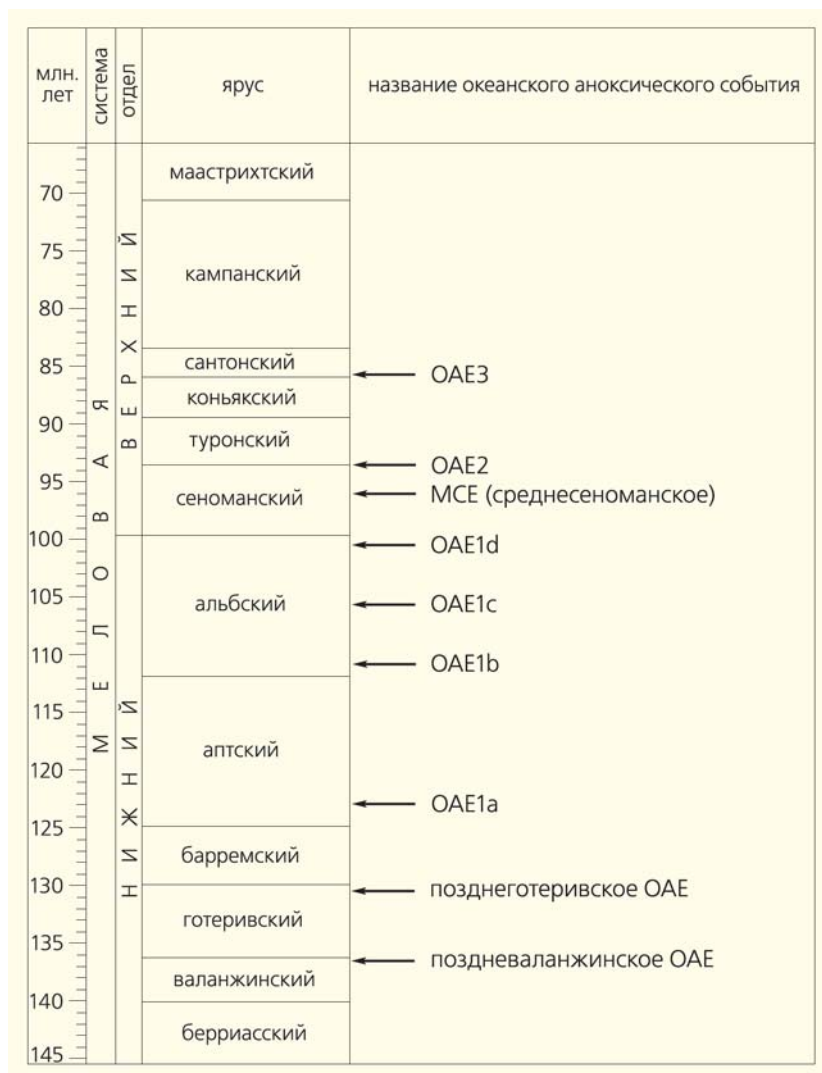


Рис.1. Стратиграфическая позиция аноксических событий мелового периода [2, с добавлениями].

лась от события к событию [2]. В условиях открытого океана (Восточный Тетис, Тихий океан) аноксия, скорее всего, была связана только с повышенной биопродуктивностью. Именно здесь (особенно в областях, удаленных от берега) возможно изучение данного механизма в чистом виде.

### Что известно об OAE в Тихом океане?

При глубоководном бурении были получены интересные данные о следах меловых аноксических событий в Тихом океане (рис.2). Сразу надо оговориться, что OAE в разрезах могут распознаваться не только по наличию углеродистых прослоев, но и по изменению соотношения изотопов углерода  $^{13}\text{C}$  и  $^{12}\text{C}$ . Органическое вещество морского происхождения обогащено изотопом  $^{12}\text{C}$ , и увеличение доли его захоронения в осадках влечет за собой

утяжеление углерода морской воды, а следовательно, и биогенных карбонатов.

Осадки мелового возраста, обогащенные  $\text{C}_{\text{орг}}$ , очень локализованы в своем проявлении. Морское, не переотложенное ОВ встречается лишь на подводных возвышенностях. Слои такого же возраста в Тихом океане, образовавшиеся на большей глубине, не содержат горизонтов, богатых  $\text{C}_{\text{орг}}$ . Предполагается, что во время аноксических событий содержание кислорода в зоне кислородного минимума падало, а сама зона становилась более мощной и протяженной. В нее входили и вершины подводных возвышенностей. В связи с этим в придонных водах не хватало кислорода для окисления органического вещества, и оно накапливалось в осадках. Причем органические прослои наблюдаются именно на тех возвышенностях, вершины которых совпадали с зоной кислородного минимума [5]. Вне ее, т.е. на мелководье и в пределах абиссальных равнин океана, органическое вещество окислялось.

В связи с активизацией внутриплитного вулканизма подводные вулканические возвышенности в Тихом океане формировались в течение всего раннего мела и частично в позднем. На их вершинах накапливались пелагические карбонатные осадки с многочисленными горизонтами

и прослоями кремней, нередко чередующиеся с вулканокластическим материалом. На этом фоне хорошо заметны тонкие (от нескольких сантиметров до 1.2 м) углеродистые прослои. ОВ в них морского, наземного или смешанного происхождения. Наземный растительный детрит и гумус принесены с островов. Анализ микрокомпонентов морского ОВ показал, что главными его производителями были одноклеточные водоросли и иногда — цианобактерии [4].

Бурение скважин в известняках с прослоями кремней сопряжено с большими трудностями, так как эти породы сильно различаются по прочности. Чаще всего на поверхность удается поднять только обломки кремней размером до 6 см с примазками мела или известняков. Около 80% материала просто истирается и теряется. При таких обстоятельствах трудно установить мощность отдельных слоев, в том числе и углеродистых прослоев. Реконст-

руируются (обычно по фораминиферам, наннопланктону, радиоляриям) только общая последовательность напластования и возраст пород. К счастью, океанические отложения можно исследовать не только в океанах, но и на суше — в складчатом обрамлении Тихого океана. Здесь среди образований островных дуг и окраинных вулканических поясов обнаружены отдельные блоки, сложенные породами, которые сформировались в открытом океане на разном удалении от берега, в том числе и на подводных вулканических возвышенностях. Однако у разрезов складчатых комплексов есть свои недостатки. Они нарушены разломами, иногда перевернуты, заключены в отдельных глыбах и не имеют кровли и подошвы, органические остатки в них как правило сохранены хуже, чем в океане. Тем не менее, по этим разрезам можно изучать строение толщ, проводить детальное опробование, строить изотопно-углеродные кривые. Таким образом, данные, полученные из скважин глубоководного бурения и из разрезов складчатых комплексов, взаимно дополняют друг друга.

В разрезах Японии, а именно в группе Езо в центральной части о. Хоккайдо, обнаружены следы большинства известных меловых аноксических событий (ОАЕ1а,с,д, МСЕ и ОАЕ2) [6]. Терригенные (обломочные) вмещающие отложения образовались сравнительно недалеко от берега, в преддуговом прогибе, куда сносилось большое количество остатков наземной растительности. Здесь органикой обогащены не отдельные слои, а весь разрез. Уровни ОАЕ выделяются по данным изотопно-углеродного анализа, которые в очередной раз подтверждают глобальный характер аноксических событий.

Проявления аноксических событий отражены и в породах, принадлежащих Францисканской формации Калифорнии [7]. Известняки в ассоциации с базальтами и радиоляриевыми кремнями накапливались в середине мелового периода (с апта по ранний турон). Они не содержат обломочного материала, принесенного с суши. В то же

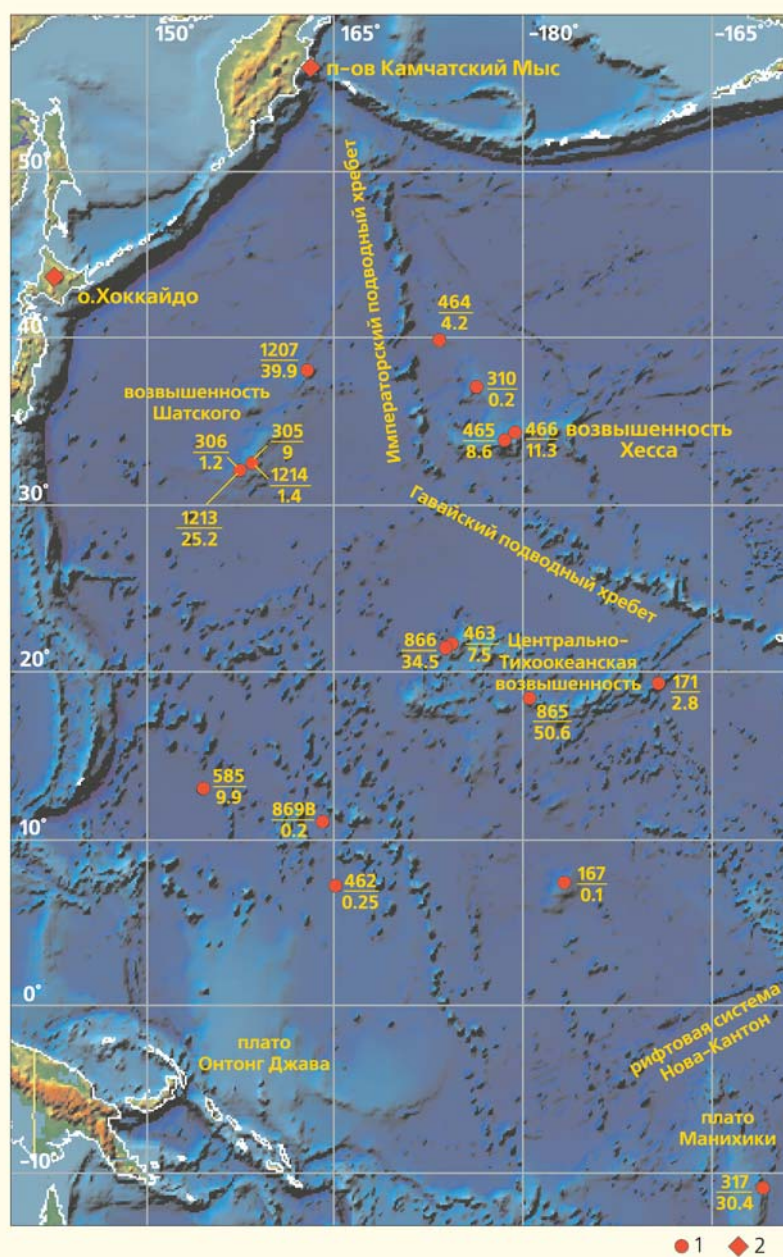


Рис.2. Следы меловых ОАЕ в Тихом океане (1) и его северо-западном обрамлении (2) [3, 4]. В числителе — номера скважин глубоководного бурения, в знаменателе — содержание  $C_{org}$ , %.

время сам факт наличия известняков говорит об отложении выше критической глубины карбоната накопления — по-видимому, на подводных возвышенностях, подобных асейсмичным хребтам и океаническим плато. В частности, отмечено сходство известняков и кремней с аналогичными породами возвышенности Шатского, расположенной на северо-западе Тихого океана. По фораминиферам определен точный возраст известняков и вычислена скорость накопления осадков — 2.3–4.3 мм/тыс. лет, что также характерно для

океанических отложений. Во Францисканской формации различают два типа известняков: серые (апт—сеноманские) и розово-красные (альб—нижнетуронские), формировавшиеся почти одновременно на разной глубине. Красные тона характерны для более глубоководных отложений, поскольку глубинные воды насыщены кислородом. В серых известняках обнаружены прослой, обогащенные ОВ, и изотопно-углеродные аномалии на уровнях ОАЕ1а и ОАЕ1d [8]. Отмечается также углеродистый прослой среднеаптского возраста. В розовых и красных известняках органических

прослоев не найдено. Они накапливались ниже зоны кислородного минимума. Однако послойное изучение характерных ассоциаций фораминифер в этих породах показало, что в среднем и позднем сеномане (время, соответствующее событиям МСЕ и ОАЕ2) усиливался апвеллинг (подъем вод), выносящий на поверхность океана питательные вещества [7].

Сходная ассоциация пород наблюдается на Восточной Камчатке, на п-ове Камчатский Мыс. Здесь в составе смагинской свиты альб-сеноманского возраста среди ритмично переслаивающихся

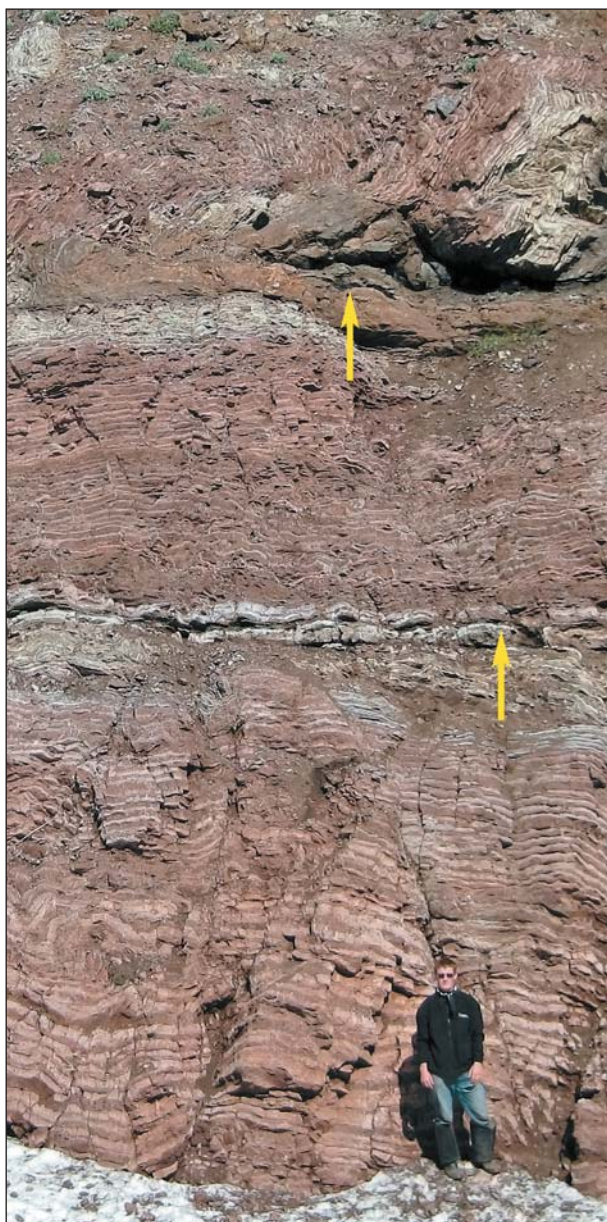


Рис.3. Кремнисто-карбонатный разрез, вмещающий два углеродистых прослоя (показаны стрелками). Камчатка, п-ов Камчатский Мыс.

Здесь и далее фото автора



Рис.4. Переслаивание планктоногенных яшм и известняков, отложившихся в середине мелового периода на тихоокеанской подводной возвышенности. Камчатка, п-ов Камчатский Мыс.



Рис.5. Углеродистый прослой, соответствующий событию ОАЕ2. Камчатка, п-ов Камчатский Мыс.

ся кирпично-красных яшм и розовых кремнистых известняков присутствуют два тонких прослоя, обогащенные органическим углеродом морского происхождения (содержание  $C_{орг}$  от 18 до 53%) [9–11] (рис.2–5). Интервал между углеродистыми прослоями по радиоляриям датируется средним сеноманом [12]. Нижнему прослою соответствуют колебания изотопного состава углерода, сходные с наблюдающимися на уровне МСЕ в разрезах Атлантики, Италии и Японии [11]. Вероятнее всего, на Камчатке обнаружены следы аноксических событий МСЕ и ОАЕ2. В образовании известняков ведущую роль играл наннопланктон, а яшм — радиолярии. Эти породы не содержат обломочного материала, а спектр их редкоземельных элементов характерен для биогенных отложений открытого океана. С осадочными породами ассоциируют магматические породы в виде силлов и потоков толеитовых и щелочных базальтов, а также гиалокластитов. Все это говорит о том, что кремнистые и карбонатные осадки накапливались на подводной вулканической возвышенности. Отмечаются и другие черты сходства этих образований с меловыми отложениями Тихого океана: состав радиоляриевых комплексов [12], низкая скорость осадконакопления и повышенное содержание кремнезема в породах вблизи углеродистых прослоев. В известняково-яшмовых пакетах п-ова Камчатский Мыс углеродистые прослои содержат вулканический материал [11]. Но и в скважинах в Тихом океане на уровнях аноксических событий и вблизи них также обнаружен разложившийся вулканический пепел [13]. Возможно, аноксические события как-то связаны со вспышками вулканизма?

### Как возникали и развивались ОАЕ

Аноксические события в океане совпадают с эпизодами повышения температуры по сравнению со средними довольно высокими значениями мелового периода. Уровень  $CO_2$  в атмосфере в эти промежутки времени был в три—пять раз, а по некоторым оценкам, даже в пять—шесть раз больше, чем ныне. Предполагается также, что повышалось и количество других парниковых газов (водяного пара и метана). Аноксические события можно отнести к разряду геологических катастроф, но с другой стороны, ОАЕ способствовали уравниванию системы океан—атмосфера и приведению в норму глобального цикла углерода. Аккумуляция и захоронение огромного количества  $C_{орг}$  в это время вызывали падение уровня  $CO_2$  и относительное похолодание.

Рассмотрим более подробно механизм развития аноксии в открытом океане. Здесь наиболее важным фактором, который влияет на отложение углеродистых осадков, выглядит поступление питательных веществ в фотическую зону [14], вызы-

вающее увеличение биопродуктивности планктона. Источники питательного вещества могут быть различными. Оно выносится на поверхность океана в зонах апвеллингов, поступает с суши, а также из вулканов и гидротерм [15]. Увеличение интенсивности этих процессов в меловом периоде создавало предпосылки для возникновения ОАЕ. В частности, с эпизодами глобального потепления в мелу многие исследователи связывают усиление процесса выветривания на континентах, который способствовал ускорению гидрологического цикла (круговорота воды) и увеличению выноса реками в океан питательных веществ. Однако влияние этого явления на биопродуктивность поверхностных вод ограничивалось лишь прибрежными областями.

На удалении от берега большую роль в перемешивании водной толщи, несомненно, играли апвеллинги. В соответствии с климатическим моделированием, движимая ветрами океанская циркуляция в Тихом океане мелового периода имела аналоги всех главных современных течений, кроме Антарктического циркумполярного. Главным было экваториальное течение с зоной дивергенции, которое опоясывало земной шар. В открытом океане заметную роль играли локальные апвеллинги над подводными возвышенностями [7].

В целом замедленная циркуляция океанских вод в меловом периоде, связанная с низким широтным температурным градиентом, казалась бы, способствовала ослаблению апвеллингов. Однако надо принять во внимание, что меловой океан характеризовался пониженным температурным и, следовательно, плотностным градиентами верхней части водной толщи. В современных океанах хорошо развита плотностная стратификация на низких широтах, а также сезонная — на средних широтах. Они сильно ограничивают вертикальное поступление питательных веществ. При таких условиях зоны повышенной продуктивности сосредоточены в прибрежных и высокоширотных водах, а также в узких полосах ветровой дивергенции (например, в районе экватора). В меловом периоде низкий плотностной градиент водной толщи приводил к возникновению апвеллинга при воздействии ветров меньшей силы [16]. Зоны повышенной продуктивности тогда, по-видимому, занимали большую площадь. Изотопно-кислородная палеотермометрия по раковинам фораминифер показала, что события ОАЕ1d и ОАЕ2 сопровождалась полным разрушением температурной стратификации водной толщи океана и резким увеличением глубины перемешиваемого слоя.

Повышение температуры воды само по себе облегчало ее перемешивание. Кроме того, в периоды экстремального потепления возможно и увеличение скорости зональных ветров, вызывающих апвеллинги [15]. Ветровое перемешивание верхней толщи океана вызывало поступление из промежуточных вод питательных веществ, а тем

самым — увеличение биопродуктивности, возрастание протяженности, мощности и интенсивности зоны кислородного минимума.

С чем же связаны эпизоды экстремального потепления в мелу? ОАЕ, как правило, начинались резко. Вероятно, толчком к их возникновению служили внешние относительно кратковременные события, о природе которых существуют разные гипотезы: от обусловленности ОАЕ периодическими изменениями орбитальных параметров Земли, влияющими на климат [17], до связи ОАЕ с интенсивным подводным базальтовым вулканизмом [14, 16, 18, 19].

На подъем глубинных вод к поверхности влиял не только ветер. Выделения газов и тепловой энергии при подводных извержениях могли также вызывать вулканогенный апвеллинг, который способствовал высокой продуктивности и, следовательно, увеличению потока органического углерода на дно [20]. Локальное поступление из гидротерм железа и других биогенных элементов также обеспечивало дополнительное повышение биопродуктивности [21]. Глобальные аноксические события были связаны, по-видимому, лишь с наиболее крупными импульсами вулканизма, с энергией, достаточной для выноса на поверхность океана глубинных вод, обогащенных питательными веществами.

Связь ОАЕ с интенсивным подводным базальтовым вулканизмом подтверждают исследования в Тихом океане. Хорошо изучены изменения палеоусловий в позднем барреме — раннем апте [22], вызванные подводными извержениями на плато Онтонг-Джава и Манихики, а также в расположенной между ними рифтовой системе Нова-Кантон (см. рис.2). В течение 100 тыс. — 1 млн лет происходило извержение огромных объемов базальтов. Короткие импульсы извержений с большим объемом излившегося материала длились от нескольких дней до нескольких десятилетий [18]. С этим крупномасштабным проявлением вулканизма многие исследователи связывают образование осадков, обогащенных  $S_{org}$ , в течение ОАЕ1а не только на тихоокеанских вулканических возвышенностях, но и по всему миру. Как уже упоминалось, на подводных возвышенностях с углеродистыми прослоями нередко ассоциируют слои измененного вулканического пепла [13]. Повышение содержания кремнезема в осадках на уровне ОАЕ1а также легко объяснимо. Вулканизм сопровождался поступлением  $CO_2$  в океан и атмосферу. Это вызвало уменьшение рН морской воды, увеличение растворения карбоната и глобальный кризис известкового планктона. В осадках резко понизилась доля нанноконид с крупными тяжелыми скелетами [22]. В пределах зоны кислородного минимума дополнительные порции  $CO_2$  выделялись при разложении органического вещества, что способствовало активному растворению известковых скелетов как в толще воды, так и в осадке.

Событие ОАЕ2 также совпадает во времени с проявлениями вулканизма. Доказательства этому обнаружены в разрезах Тихоокеанского и других регионов. К сеноману относится вулканическая деятельность на Карибском плато (94—93 млн лет назад), возобновление активности на плато Онтонг-Джава (96—84 млн лет назад) и в центральной части плато Кергелен (95—85 млн лет назад) [16]. Давно установлено обогащение металлами осадков вблизи сеноман-туронской границы в районах, приближенных к Карибскому плато [23]. Металлы поступали из гидротерм в океанскую воду, участвовали в различных химических реакциях и в конце концов транспортировались на дно и аккумулировались в осадках [18]. Импульсы вулканизма также породили изотопные аномалии в осадочных разрезах на уровне события ОАЕ2: уменьшилось соотношение изотопов  $^{87}Sr/^{86}Sr$  [16] и  $^{187}Os/^{188}Os$  [19]. Последнее свидетельство особенно важно, так как короткое время пребывания в океане Os (тысячи лет) позволяет обнаружить короткие флуктуации изотопного состава морской воды. Низкие значения  $^{187}Os/^{188}Os$  сохраняются в течение события ОАЕ2, указывая на вулканическую активность и гидротермальный привнос осмия на протяжении всего времени формирования черных сланцев.

\* \* \*

Десятилетия исследований аноксических событий в океане подтвердили их широкую распространенность и синхронность. Если в бассейнах океана Тетис и ранней Атлантики возникновение аноксии могло иногда определяться локальными факторами (ограниченной циркуляцией водных масс), то в условиях открытого океана особенно отчетливо видна связь ОАЕ с глобальными кратковременными событиями, которые вызывали высокую биологическую продуктивность поверхностных вод. В теплом меловом океане можно представить себе такую схему развития ОАЕ: вспышка базальтового вулканизма → глобальное потепление, усиление апвеллингов → насыщение поверхностных вод питательными веществами → повышение биопродуктивности → увеличение потока ОВ на дно. В итоге на подводных возвышенностях происходило отложение углеродистых осадков.

Океан — огромная очень сложная система, не поддающаяся полностью моделированию даже в ее современном состоянии, не говоря уже о прошлых эпохах. На нее оказывают влияние изменения климата, жизнедеятельность организмов, вулканизм и многие другие факторы. Результатом их взаимодействия в частности представляются ОАЕ, развивавшиеся в обстановках, совершенно не схожих с современными. Тем интереснее изучать причины таких событий, постигать сложную взаимосвязь явлений, по крупицам собирая факты и открывая для себя таинственный мир мелового периода. ■

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проект №10-05-00065.

## Литература

1. *Schlanger S.O., Jenkyns H.C.* Cretaceous oceanic anoxic events: Causes and consequences // *Geologie en Mijnbouw*. 1976. V.55. P.179—184.
2. *Jenkyns H.C.* Geochemistry of oceanic anoxic events // *Geochem. Geophys. Geosyst.* 2010. V.11. №3. Article № Q03004.
3. *Басов И.А., Вишневская В.С.* Стратиграфия верхнего мезозоя Тихого океана. М., 1991.
4. *Dumitrescu M., Brassell S.C.* Compositional and isotopic characteristics of organic matter for the early Aptian Oceanic Anoxic Event at Shatsky Rise, ODP Leg 198 // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 2006. V.235. P.168—191.
5. *Dean W.E., Claypool G.E., Thiede J.* Origin of organic-carbon-rich mid-Cretaceous limestones, Mid-Pacific Mountains and Southern Hess Rise / *Reds. J.Thiede, T.L.Vallier, Ch.G.Adelseck* // *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project*. V.62. Washington, 1981. P. 877—890.
6. *Takashima R., Kawabe F., Nisbi H. et al.* Geology and stratigraphy of forearc basin sediments in Hokkaido, Japan: Cretaceous environmental events on the north-west Pacific margin // *Cretaceous Research*. 2004. V.25. P.365—390.
7. *Sliter W.V., Premoli Silva I.* Age and origin of Cretaceous planktonic foraminifers from limestone of the Franciscan complex near Laytonville, California // *Paleoceanography*. 1990. V.5. №5. P.639—667.
8. *Robinson S.A., Clarke L.J., Nederbragt A., Wood I.G.* Mid-Cretaceous oceanic anoxic events in the Pacific Ocean revealed by carbon-isotope stratigraphy of the Calera Limestone, California, USA // *GSA Bulletin*. 2008. V.120. №11—12. P.1416—1426.
9. *Хотин М.Ю.* Эффузивно-туфово-кремнистая формация Камчатского Мыса // *Труды ГИН*. Вып.281. М., 1976.
10. *Савельева О.Л.* Меловые океанические аноксические события: обзор современных представлений // *Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле*. 2010. №1. Вып.15. С.45—55.
11. *Савельева О.Л.* Меловой палеоклимат. Ритмичность осадконакопления и следы аноксических событий в меловых (альб-сеноманских) отложениях Восточной Камчатки. Саарбрюккен, 2011.
12. *Палечек Т.Н., Савельев Д.П., Савельева О.Л.* Альб-сеноманские радиолярии Камчатского Мыса (Восточная Камчатка) // *Стратиграфия. Геологическая корреляция*. 2010. Т.18. №1. С.67—87.
13. *Vallier T.L., Jefferson W.S.* Volcanogenic sediments from Hess Rise and the Mid-Pacific Mountains / *Reds. J.Thiede, T.L.Vallier, Ch.G.Adelseck* // *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project*. V.62. Washington, 1981. P.545—557.
14. *Erba E., Bartolini A., Larson R.L.* Valanginian Weissert oceanic anoxic event // *Geology*. 2004. V.32. №2. P.149—152.
15. *Jones C.E., Jenkyns H.C.* Seawater strontium isotopes, oceanic anoxic events, and seafloor hydrothermal activity in the Jurassic and Cretaceous // *American Journal of Science*. 2001. V.301. P.112—149.
16. *Leckie R.M., Bralower T.J., Cashman R.* Oceanic anoxic events and plankton evolution: Biotic response to tectonic forcing during the mid-Cretaceous // *Paleoceanography*. 2002. V.17. № 3. P.1—29.
17. *Mitchell R.N., Bice D.M., Montanari A. et al.* Oceanic anoxic cycles? Orbital prelude to the Bonarelli Level (OAE2) // *Earth and Planetary Science Letters*. 2008. V.267. P.1—16.
18. *Snow L.J., Duncan R.A., Bralower T.J.* Trace element abundances in the Rock Canyon Anticline, Pueblo, Colorado, marine sedimentary section and their relationship to Caribbean plateau construction and ocean anoxic event 2 // *Paleoceanography*. 2005. V.20. PA3005.
19. *Turgeon S., Creaser R.A.* Cretaceous oceanic anoxic event 2 triggered by a massive magmatic episode // *Nature*. 2008. V.454. P.323—326.
20. *Price G.D.* New constraints upon isotope variation during the early Cretaceous (Barremian—Cenomanian) from the Pacific Ocean // *Geol. Mag.* 2003. V.140. №5. P.513—522.
21. *Sinton C.W., Duncan R.A.* Potential links between ocean plateau volcanism and global ocean anoxia at the Cenomanian-Turonian boundary // *Econ. Geol.* 1997. V.92. P.836—842.
22. *Erba E., Tremolada F.* Nannofossil carbonate fluxes during the Early Cretaceous: Phytoplankton response to nitrification episodes, atmospheric CO<sub>2</sub>, and anoxia // *Paleoceanography*. 2004. V.19. PA1008.
23. *Orth Ch.J., Atrep Jr.M., Quintana L.R. et al.* Elemental abundance anomalies in the late Cenomanian extinction interval: a search for the source(s) // *Earth and Planetary Science Letters*. 1993. V.117. P.189—204.