

## **ПАЛЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОБЫТИЕ ОАЕ 2 В ВОСТОЧНО-КАВКАЗСКОМ БАССЕЙНЕ СЕВЕРНОГО ПЕРИТЕТИСА: СЕДИМЕНТОЛОГИЯ, ГЕОХИМИЯ, БИОТА**

**Ю.О. Гаврилов, Е.А. Щербинина, О.В. Голованова, Б.Г. Покровский**

*Геологический институт РАН, Москва, yugavrilov@gmail.com*

В разрезах мела океанов и эпиконтинентальных морей выделяются уровни отложений, обогащенных органическим веществом (ОВ) и соответствующих так называемым глобальным «океанским аноксическим событиям» (Oceanic Anoxic Events, OAEs) (Arthur et al., 1987; Schlanger et al., 1987 и др.). Они характеризуются резкими аномалиями изотопов углерода и кислорода, широким развитием обстановок дефицита кислорода, вплоть до аноксических, накоплением обогащенных ОВ отложений, перестройками состава морской биоты и др. Все эти признаки характерны также для события ОАЕ 2, произошедшего в конце сеноманского времени. Поскольку углеродная аномалия зафиксирована как в морских отложениях, так и в растительных остатках континентальных толщ (Hasegawa, 1999), по нашему мнению, событие ОАЕ 2 можно классифицировать как биосферное.

В осадочной летописи северо-восточного Перитетиса позднесеноманское событие выражено весьма отчетливо, и прежде всего та его часть, которая представлена горизонтом высокоуглеродистых отложений (мощность до 1 м). Эти отложения описаны в разных районах Крымско-Кавказской области, но в наиболее полном виде они развиты в разрезах Восточного

Кавказа. В Дагестане отложения переходного сеноман/туронского интервала изучены в 7 разрезах, степень стратиграфической полноты которых различна: выделяются разрезы с полным комплексом отложений, соответствующих событию ОАЕ 2, разрезы, в которых сохранился только горизонт обогащенных ОВ пород, и разрезы с полностью эродированными во время раннетуронской регрессии отложениями ОАЕ 2.

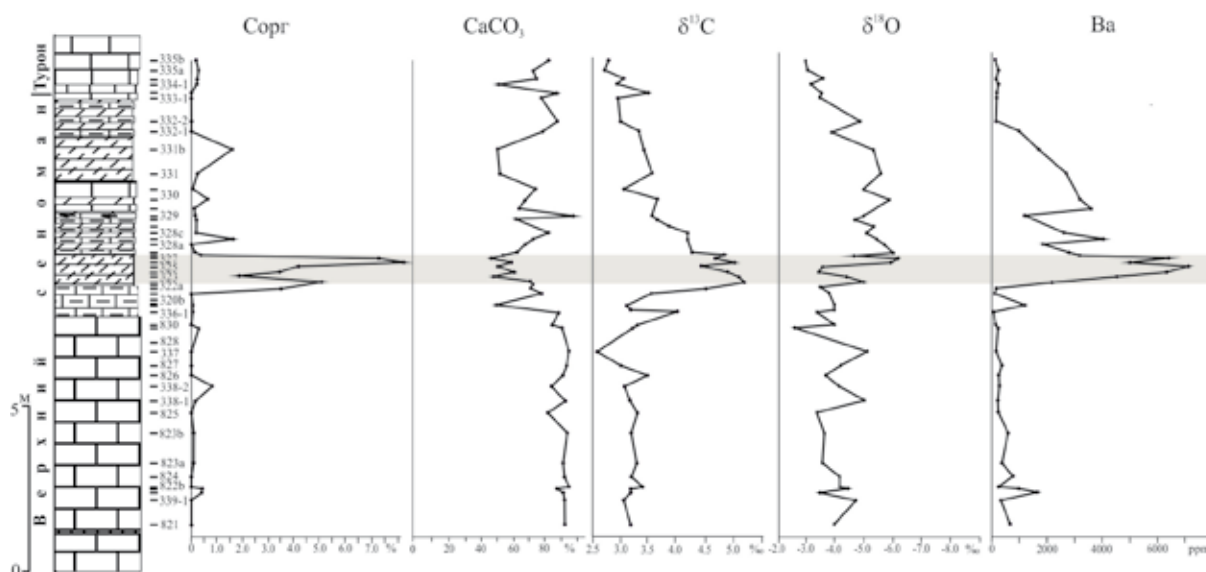
В разрезах прослежена последовательность появлений и исчезновений первичных и вторичных зональных маркеров нанопланктона, что позволило выделить в сеноман-туронском интервале все зональные подразделения по стандартным нанопланктонным шкалам и с высокой точностью скоррелировать отложения ОАЕ 2 с их аналогами в других районах мира.

Для отложений ОАЕ 2 характерна отчетливо выраженная циклическая структура. В обогащенных ОВ отложениях выделяются 11–12 циклитов толщиной до 15–17 см, которые состоят из чередующихся слоев черных мергелей (в основании) и серых глинистых известняков. Горизонт углеродистых отложений и непосредственно подстилающие и перекрывающие его слои отвечают единому осадочному циклу более крупного порядка.

В пределах углеродистого горизонта, по сравнению с вмещающей толщей, резко меняются литолого-геохимические и биотические характеристики. Наиболее ярко выраженными геохимическими чертами отложений ОАЕ 2 являются положительная аномалия  $\delta^{13}\text{C}$  и отрицательная  $\delta^{18}\text{O}$ . Изменения значений  $\delta^{13}\text{C}$  и  $\delta^{18}\text{O}$  в стратиграфически наиболее полном разрезе «Аймаки» вполне закономерны (рисунок). В породах, залегающих ниже отложений ОАЕ 2, величина  $\delta^{13}\text{C}$  варьирует от 2,7 до ~3,5 ‰. Относительное повышение значений  $\delta^{13}\text{C}$  отмечается уже в подстилающем слое. Переход к обогащенным ОВ отложениям сопровождается ростом значений  $\delta^{13}\text{C}$  до 5 ‰ и более. Однако, внутри пласта эти значения не одинаковы: максимальные — в нижней (5,1–5,2 ‰) и верхней (5–5,6 ‰) частях горизонта, в средней части наблюдается их относительное уменьшение до 4,4–4,8 ‰. Выше значения  $\delta^{13}\text{C}$  постепенно снижаются и достигают минимальных величин в низах туронской толщи. Сходная картина в поведении  $\delta^{13}\text{C}$  наблюдается и в других разрезах Дагестана.

Значения  $\delta^{18}\text{O}$  также закономерно меняются. В самом основании горизонта углеродистых отложений и в его верхней части выделяются два резко отрицательных пика  $\delta^{18}\text{O}$ , разделенных позитивным сдвигом в средней части пласта. Низкие значения присущи отложениям самых верхов сеномана и только непосредственно у границы с туроном  $\delta^{18}\text{O}$  существенно возрастает. Таким образом, нижняя граница обеих изотопных аномалий довольно резкая, тогда как восстановление значений до предкризисных величин происходит постепенно.

Внутри горизонта углеродистых отложений значения  $\delta^{13}\text{C}$  не показывают корреляции с содержаниями  $\text{C}_{\text{орг}}$  или  $\text{CaCO}_3$  в отличие от значений  $\delta^{18}\text{O}$ , для которых такая корреляция



Литологическая колонка переходных отложений от сеномана к турону в разрезе «Аймаки» (Дагестан) и распределение в них  $\text{C}_{\text{орг}}$ ,  $\text{CaCO}_3$ ,  $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{18}\text{O}$ , Ba

прослеживается. В разрезах с циклической структурой увеличение содержаний  $C_{\text{орг}}$  (на несколько %) нередко сопровождается некоторым уменьшением значений  $\delta^{18}\text{O}$  (до 1 ‰). Повидимому, такое поведение  $\delta^{18}\text{O}$  обусловлено влиянием диагенетических процессов.

ОВ в породах верхнего сеномана присутствует в различной форме. В прозрачных шлифах углеродистых пород видно, что преобладает бесструктурное ОВ, соответствующее коллоальгиниту. ОВ часто образует тонкие слойки, цепочки линзочек длиной от сотых долей до нескольких мм. Для бесструктурного ОВ характерна бурая окраска различных оттенков. Пиролитические исследования показывают, что ОВ в высокоуглеродистых слоях ОАЕ 2 отличается от ОВ вмещающих отложений верхнего сеномана. В отложениях, образовавшихся до и после ОАЕ 2, величина водородного индекса (НІ) в большинстве образцов менее 200 мг УВ/г ТОС, т.е. соответствует керогену II–III типа. В самих углеродистых породах ОАЕ 2 значения НІ возрастают, достигая значений 500–700 мг УВ/г ТОС (кероген I–II типов). Вместе с тем в этом горизонте имеются прослойки с низким содержанием  $C_{\text{орг}}$  и невысокой величиной НІ, которая опускается до 130 (кероген III типа). Эти данные свидетельствуют о том, что при накоплении углеродистых осадков в них существенную роль играло бассейновое ОВ при резко подчиненной доле ОВ, поступавшего с суши; периодически соотношение между ними менялось, и доля бассейнового ОВ падала, а наземного, напротив, существенно возрастала.

В углеродистых отложениях ОАЕ 2 и вмещающей их толще изучено поведение ряда химических элементов. Часть из них демонстрирует ярко выраженную тенденцию к концентрации в обогащенных ОВ отложениях (V, Ni, Cu, Zn, Mo, Se, S; в меньшей степени Fe, P, Co, Cr, Rb, Sr.), другие слабо реагируют на увеличение содержания ОВ или не реагируют вообще (Ti, Pb, Ga и Ge), наконец, содержания третьих уменьшаются (Mn,  $\text{CaCO}_3$ ). Схожие тенденции наблюдаются также в отложениях других аноксических событий Северного Перитетиса — ОАЕ 1a (Selly) и на палеоцен/эоценовой границе (PETM) (Гаврилов и др., 1997, 2002).

Одним из элементов, содержания которого резко меняются на интервале отложений ОАЕ 2, является барий. Если в подстилающих отложениях его среднее содержание — около 400 ppm, то в углеродистых отложениях содержание Ba возрастает почти до 6000 ppm, т.е. в среднем более чем на порядок. В отложениях над углеродистым горизонтом содержание  $C_{\text{орг}}$  резко падает, а количество Ba уменьшается в них лишь немногим более чем в 2 раза (~2500 ppm) и только в вышележащей пачке сокращается до уровня, предшествовавшего накоплению углеродистых осадков (~350 ppm), то есть постепенно. Аналогично Ba ведет себя в отложениях ОАЕ 2 других разрезов Дагестана. Высокие содержания Ba характерны также для отложений ОАЕ 2 западных районов Крымско-Кавказской области: в Крыму (разрез «Аксудере») они достигают 4100–6200 ppm. Повышение содержания Ba в отложениях ОАЕ 2, видимо, вообще является устойчивой закономерностью. Так, в разрезах центральной Италии в породах этого интервала концентрации Ba достигают значений в 1,4% (Turgeon, Brumsack, 2006). Поведение Ba в отложениях ОАЕ 2 определялось как интенсивностью биопродуктивности различных форм биоты, так и процессами диагенеза в восстановительных условиях углеродистых осадков.

Характер распределения элементов в значительной мере определяется циклическостью отложений ОАЕ 2, обусловленной вариациями в содержании  $C_{\text{орг}}$  и  $\text{CaCO}_3$ : в обогащенных  $C_{\text{орг}}$  нижних частях циклитов концентрации максимальны, в верхних они уменьшаются, но остаются заметно выше, чем в отложениях, подстилающих и перекрывающих ОАЕ 2. Несмотря на то, что для многих элементов характерна положительная корреляция с концентрацией  $C_{\text{орг}}$ , не всегда наибольшим содержаниям  $C_{\text{орг}}$  соответствуют максимальные концентрации элементов, то есть между ними отсутствует количественная прямо пропорциональная зависимость.

Изучение изменений в составе комплексов нанопланктона переходных сеномантуронских отложений показало, что палеоэкологические изменения в ходе события ОАЕ 2 сопровождалось относительным похолоданием. В то же время соотношение изотопов кислорода может свидетельствовать об относительном потеплении климата или распреснении вод бассейна. Последнее представляется возможным в некоторых частях бассейна, исходя из общей существенной обедненности нанопланктонных ассоциаций этого интервала и увеличении численности видов, резистентных к таким изменениям среды (*Watznaueria* spp.). После окончания накопления обогащенных ОВ отложений предкризисное соотношение

таксонов наннопланктона восстановилось примерно на уровне завершения изотопно-углеродного сдвига. Это свидетельствует о том, что нормализация палеоэкологических условий происходила постепенно и относительно неблагоприятные для нанофлоры условия сохранялись продолжительное время после завершения наиболее критических обстановок, отвечающих периоду накопления обогащенных ОВ отложений.

Событие ОАЕ 2 традиционно относится к наиболее ярко выраженным глобальным событиям, во время которых развивались аноксидные обстановки в наддонных водах морей и океанов (Arthur et al., 1987; Schlanger et al., 1987 и др.). Полученные нами данные не дают основания предполагать существование долговременных устойчивых аноксидных обстановок в позднесеноманском бассейне Восточного Кавказа. В пользу пониженного содержания кислорода в придонных водах может свидетельствовать количественное сокращение или исчезновение бентосной фауны. Вместе с тем в отложениях ОАЕ 2 Дагестана установлены относительно невысокие содержания Мо, Se, достигающие соответственно 40 и 15 ppm, тогда как редокс-чувствительные элементы обычно активно накапливаются в осадках бассейнов с устойчивым сероводородным заражением вод и их содержания гораздо более высокие. Например, в палеоцен/эоценовом аноксидном бассейне (событие PETM) концентрации Мо в высокоуглеродистых осадках достигают 300–400 ppm, а в некоторых образцах — 1700 ppm, содержания Se — 80–280 ppm (Гаврилов и др., 1997; Гаврилов, Щербинина, 2004). Нужно также иметь в виду, что глубина позднесеноманского моря была сравнительно небольшой, а это могло ограничивать процесс развития аноксии. Поэтому, по нашему мнению, если аноксидные обстановки в наддонных водах и возникали, то, во-первых, охватывали сравнительно небольшую часть столба воды, во-вторых, в связи с цикличностью седиментации степень дефицита кислорода могла существенно варьировать во время формирования углеродистого горизонта, и, наконец, вследствие относительной мелководности водоема аноксия должна была ослабевать в периоды усиления его гидродинамической активности.

Поскольку устойчивой аноксии в водах позднесеноманского бассейна Восточного Кавказа не было, она не могла быть основной причиной накопления углеродистых осадков. Другим фактором, который мог привести к образованию обогащенных ОВ осадков, был интенсивный рост биопродуктивности органикостенного фитопланктона и бактериопланктона.

Образование углеродистого горизонта во время ОАЕ 2 наиболее удовлетворительно объясняется поступлением в водоем биофильных элементов с прибрежных наземных ландшафтов при развитии быстрой эвстатической трансгрессии. Эта модель разрабатывалась на основе анализа условий образования обогащенных ОВ осадков раннего тоара Кавказа, аптских отложений Русской плиты (событие ОАЕ 1a), палеоцен/эоценового аноксического события (PETM) в северном Перитетисе (Гаврилов, 1994; Гаврилов и др. 1997, 2002; Гаврилов, Щербинина, 2004).

Накоплению в осадках ОВ способствовали следующие обстоятельства. Многочисленные литологические данные показывают, что трансгрессиям, во время которых накапливались высокоуглеродистые осадки, неизменно предшествовали регрессивные эпизоды. Во время этих регрессий по периферии морей и вокруг архипелагов обнажались обширные пространства морского дна, на которых возникали озерно-болотные ландшафты, где происходило быстрое накопление ОВ (как растительного в твердой фазе, так и растворенного). Кислая среда торфяников способствовала переводу в раствор многих элементов, в том числе биофильных. Таким образом, во время регрессии возникали специфические геохимически активные прибрежные ландшафты, где скапливались реакционноспособные вещества (ОВ, Р, N, Fe и др.). Позднее регрессию сменяла быстро развивавшаяся трансгрессия, во время которой наступавшее на сушу море активно взаимодействовало с этими ландшафтами и обуславливало вынос в водоем значительных масс биофильных элементов. Вовлечение биофилов в биологический цикл приводило к интенсивному цветению фито- и бактериопланктона, обогащению осадков ОВ, иногда развитию аноксидных обстановок в придонных частях столба воды. Причем в условиях пологого рельефа даже относительно небольшой подъем уровня моря приводил к затоплению обширных территорий и мобилизации оттуда значительных количеств веществ, которые при поступлении в водоемы обуславливали резкий рост биопродуктивности.

Трансгрессия была быстрой, но развивалась неравномерно, о чем свидетельствует цикличность отложений. Наступление моря на сушу периодически замедлялось или даже приостанавливалось, что было обусловлено короткопериодными флуктуациями уровня моря, по-видимому, связанными с прецессионными циклами Миланковича. Такая прерывистость трансгрессии приводила к уменьшению поставки в море биофилов, падению биопродуктивности фито- и бактериопланктона и накоплению менее обогащенных ОВ осадков, преимущественно более карбонатных. После завершения трансгрессии и прекращения поступления в водоем биофильных элементов интенсивное цветение фитопланктона постепенно заканчивалось и, соответственно, прекращалось обогащение илов ОВ.

Такой механизм формирования углеродистых отложений вполне удовлетворительно объясняет происхождение относительно маломощных их горизонтов (аналогичных ОАЕ 2), распространенных на значительной территории. Как видим, одним из важнейших элементов сценария формирования обогащенных ОВ отложений, общим для ряда мезо-кайнозойских биосферных событий, являются эвстатические колебания уровня моря разного знака, порядка и магнитуды.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект № 12-05-01138 и Программы Президиума РАН № 27.*

#### Литература

*Гаврилов Ю.О.* О возможных причинах накопления отложений, обогащенных органическим веществом, в связи с эвстатическими колебаниями уровня моря // Экосистемные перестройки и эволюция биосферы. М.: Недра, 1994. Вып. 1. С. 305–311.

*Гаврилов Ю.О., Кодина Л.А., Лубченко И.Ю., Музылев Н.Г.* Позднепалеоценовое аноксическое событие в эпиконтинентальных морях Пери-Тетиса и образование сапропелитового горизонта: седиментология и геохимия // Литология и полез. ископаемые. 1997. № 5. С. 492–517.

*Гаврилов Ю.О., Щепетова Е.В., Барабошкин Е.Ю., Щербинина Е.А.* Раннемеловой аноксический бассейн Русской плиты: седиментология и геохимия // Литология и полез. ископаемые. 2002. № 4. С. 359–380.

*Гаврилов Ю.О., Щербинина Е.А.* Глобальное биосферное событие на границе палеоцена и эоцена // Современные проблемы геологии. М.: Наука, 2004. С. 493–531.

*Гаврилов Ю.О., Щербинина Е.А., Голованова О.В., Покровский Б.Г.* Позднесеноманское аноксическое событие (ОАЕ 2) в разрезе Аймаки Горного Дагестана // Бюл. МОИП. 2009. Т. 84. Вып. 2. С. 94–108.

*Arthur M.A., Schlanger S.O., Jenkyns H.C.* The Cenomanian-Turonian oceanic anoxic event, II. Paleooceanographic controls on organic matter production and preservation // Marine Petroleum Source Rocks, Geol. Soc. London, Spec. Publ. 1987. V. 26. P. 401–420.

*Hasegawa T.* Cenomanian–Turonian carbon isotope events recorded in terrestrial organic matter from northern Japan // Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol. 1997. V. 130. P. 251–273.

*Schlanger S.O. et al.* The Cenomanian-Turonian oceanic anoxic event, I. Stratigraphy and distribution of organic carbon-rich beds and marine  $\delta^{13}\text{C}$  excursion // Geol. Soc. London. Spec. Publ. 1987. V. 26. P. 371–399.

*Turgeon S., Brumsack H.-J.* Anoxic vs dysoxic events reflected in sediment geochemistry during the Cenomanian–Turonian Boundary Event (Cretaceous) in the Umbria–Marche Basin of central Italy // Chem. Geol. 2006. V. 234. P. 321–339.