

Ю.О. ГАВРИЛОВ (ГИН РАН)

О ВОЗМОЖНЫХ ПРИЧИНАХ НАКОПЛЕНИЯ ОТЛОЖЕНИЙ, ОБОГАЩЕННЫХ ОРГАНИЧЕСКИМ ВЕЩЕСТВОМ, В СВЯЗИ С ЭВСТАТИЧЕСКИМИ КОЛЕБАНИЯМИ УРОВНЯ МОРЯ

Эвстатические колебания уровня моря и связанные с ними трансгрессии и регрессии оказывали значительное влияние как на осадочный процесс в целом, регулируя накопление, размыв, перемещение крупных осадочных масс, так и на поведение отдельных элементов, создавая в определенных условиях предпосылки к их концентрации. Так, в результате работ, выполненных в основном в последнее десятилетие, была установлена достаточно отчетливая связь эвстатических колебаний с образованием некоторых типов месторождений железа, марганца, свинца, цинка, фосфоритов, бокситов, отмечено влияние флуктуаций уровня моря на доломитизацию карбонатных пород и т.д. Однако одним из наиболее важных проявлений влияния эвстатических колебаний на геохимический облик отложений является связь между трансгрессиями (обычно короткопериодными) и накоплением отложений, обогащенных органическим веществом (ОВ) [6]. Эпохи образования углеродистых отложений представляют большой интерес не только в связи с приуроченностью к толщам черных сланцев различных полезных ископаемых, но также и потому, что во время их накопления в водоемах часто возникали аноксические обстановки, оказывавшие весьма существенное влияние на судьбу биоса, особенно бентосных организмов. Для реконструкции условий формирования горизонтов

черных сланцев важно установить, каковы были причинно-следственные связи между флуктуациями уровня морей и накоплением осадков, обогащенных ОВ.

При рассмотрении этой проблемы прежде всего должен решаться вопрос о происхождении ОВ, обогащавшего осадки древних водоемов. Как показывают исследования, в большинстве горизонтов черных сланцев мезозоя и кайнозоя наряду с морским ОВ (прежде всего планктоногенным) присутствует аллотигенное ОВ наземного происхождения [10]. Установление смешанного состава ОВ играет важную роль в решении вопроса о механизме образования углеродистых отложений.

Сопоставление кривой эвстатических колебаний для мезозоя-кайнозоя [7] с распространением обогащавших ОВ отложений показывает, что не все морские трансгрессии сопровождались образованием горизонтов черных сланцев. Очевидно, должны были существовать некоторые обстоятельства, так или иначе регламентировавшие формирование осадков такого рода. Как нам представляется, на успешную реализацию этой закономерности оказывали существенное влияние этапы, предшествовавшие трансгрессиям, - предварявшие их в большинстве случаев регрессии.

В результате регрессий обнажались обширные участки морского дна в области шельфа. Геоморфологически они представляли собой низинную, выровненную морской эрозией и последующим осадконакоплением местность. В условиях теплого и влажного климата эти обширные по площади вновь образованные прибрежные равнины являлись идеальным местом для развития озерно-болотных и смежных с ними лагунных ландшафтов. Формирование озерно-болотных ландшафтов происходило очень быстро; как показывают данные по четвертичному торфонакопленению, мощные многометровые торфяники образуются в течение сотен-первых тысяч лет [5]. Учитывая то, что мы рассматриваем эвстатические, т.е. носившие глобальный или субглобальный характер, колебания, регрессии обуславливали появление на поверхности Земли обширных территорий, на которых происходили процессы заболачивания. В результате возникала ситуация, когда морские водосмы в большей или меньшей степени оказывались оконтуренными прибрежными равнинами, на которых накапливались значительные количества растительного ОВ.

Однако регрессивный этап развития водосмов через некоторое время - в случае короткопериодных эвстатических флуктуаций обычно через несколько десятков тысяч лет - сменялся быстро развивавшейся трансгрессией, во время которой происходило активное взаимодействие наступавшего моря с прибрежными озерно-болотными ландшафтами. Одним из видов этого взаимодействия был простой размыв образовавшихся накоплений растительного ОВ и вынос его в морской водоем. Но процессом механической эрозии взаимодействие морского и прибрежного ландшафтов не ограничивалось. В заболоченных водоемах помимо

ОВ в твердой фазе содержится значительное количество растворенного ОВ, образующегося в результате распада постоянно возобновляемых запасов ОВ. Причем процесс накопления и перевода части ОВ в растворенное состояние шел постоянно в течение всего времени существования этих ландшафтов. Трансгрессировавшее море непосредственно соприкасалось с заболоченными водоемами, что сокращало до минимума пути стока дренажных вод и существенно облегчало поступление растворенного ОВ в морской водоем. Судьба поступавшего в море ОВ была двоякой: часть его могла захороняться в осадках, повышая в них содержание $C_{орг}$, другая же - преимущественно, видимо, растворенное ОВ - вступала в новый биологический цикл, утилизируясь планктоном и тем самым способствуя увеличению его биопродуктивности, что также приводило к увеличению $C_{орг}$ в илах.

Анализ минералого-геохимических обстановок в современных болотных системах позволяет заключить, что процесс торфообразования создает условия, способствующие геохимической активности такого важного для биологического цикла элемента, как фосфор; болотный процесс, в целом, можно рассматривать как один из характерных типов проявления геохимической миграции фосфора в зоне гипергенеза [2]. Учитывая это обстоятельство, можно с большой долей вероятности предполагать, что в процессе взаимодействия моря и болотного ландшафта помимо ОВ происходил вынос значительного количества соединений фосфора. Их поступление в море неизбежно должно было влиять на увеличение биопродуктивности и, соответственно, также на обогащение осадков ОВ.

Агрессивная среда болотных систем обуславливала переработку осадочного материала, приносившегося в них реками, а также воздействовала на подстилающие их породы. При этом многие минералы, которые обычно рассматриваются как достаточно устойчивые к выветриванию, в среде торфяников могли растворяться, обогащая воды многими микроэлементами. Последние, попадая с дренажными водами в водоем, также включались в биологический цикл. Таким образом, торфяники являлись своего рода фильтром и системой по переработке осадочного материала, поступавшего с внутренних областей континентов. Следует также учитывать то, что прибрежные озерно-болотные ландшафты развивались прежде всего не на древних породах, а на слаболитифицированных или вовсе нелитифицированных отложениях, сравнительно незадолго до этого бывших донными осадками шельфа. Поэтому их переработка в агрессивной среде торфяников происходила особенно легко.

Таким образом, взаимодействие между наступающим морем и созданными в результате предшествующей регрессии на новообразованных прибрежных равнинах озерно-болотными ландшафтами являлось, как нам представляется, тем механизмом, который, с одной стороны, обуславливал поставку в водоем значи-

тельных масс растительного материала, а, с другой, - преимущественно в результате выноса растворенных биофильных элементов способствовал расцвету зоо- и фитопланктона. Как растительное наземное, так и планктоногенное бассейновое органическое вещество обогащало донные осадки, приводя к образованию высокоуглеродистых толщ. Причем именно совместное присутствие бассейнового и привнесенного с суши ОВ, как правило, устанавливается петрографическими и геохимическими исследованиями горизонтов, обогащенных $C_{орг}$ (рис. 1).

Если трансгрессия по масштабам была меньше или сопоставима с предшествующей регрессией, то море, соответственно частично или полностью "отвоевав" оставленную ранее территорию, прекращало наступление на сушу. При этом поставка в водоем ОВ с прибрежных равнин была сравнительно равномерной и достаточно интенсивной, что приводило к формированию толщи, относительно равномерно обогащенной $C_{орг}$ по всей мощности. Если же трансгрессия была значительно выше предыдущей регрессии и море продолжало наступать на сушу, осваивая новые территории, то, в соответствии с излагаемой схемой взаимодействия моря с прибрежным ландшафтом, следует ожидать со временем - по мере полной переработки накоплений ОВ и исчезновения озерно-болотных систем на территории приморских равнин - уменьшения поступления ОВ (в разных формах) и биофильных элементов в водоем, и, как следствие - падение биопродуктивности и уменьшение количества $C_{орг}$ в осадках. Вместе с тем, следует учитывать следующее. Трансгрессии приводили к изменению, а именно к повышению уровня грунтовых вод на более или менее обширных прилегающих к берегу территориях. Это, в свою очередь, вызывало заболачивание некоторых прибрежных областей. И хотя геоморфологические условия для формирования болотных систем были менее благоприятными, чем на

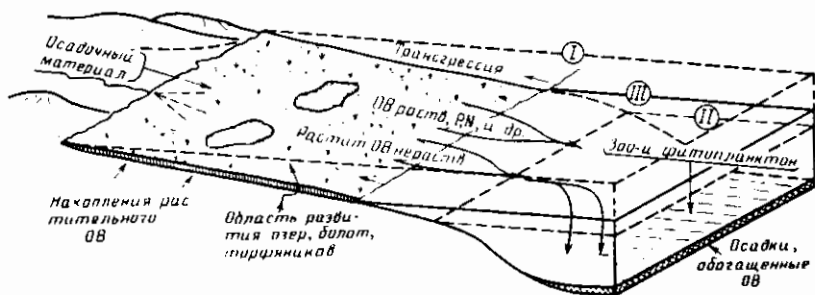


Рис. 1. Схема взаимодействия трансгрессирующего моря с прибрежными озерно-болотными ландшафтами:

I-III - положения уровня моря (I - до регрессии, II - при максимальном развитии регрессии, III - во время трансгрессии)

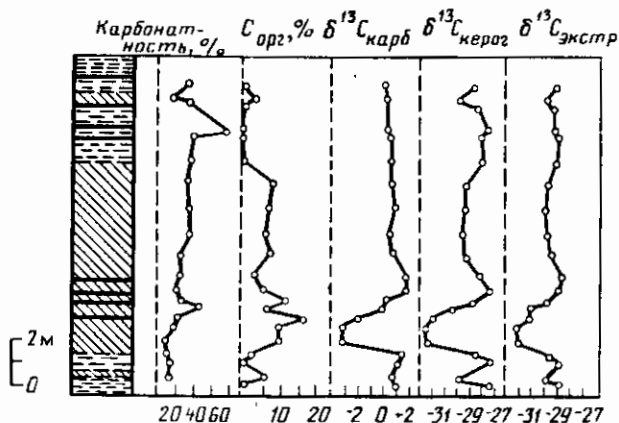


Рис. 2. Содержание $C_{орг}$ карбонатность и изотопный состав углерода карбонатного и органического вещества в тоарских отложениях Германии (Вюртемберг) [3].

Косая штриховка - сланцы, обогащенные $C_{орг}$, горизонтальная штриховка - небитуминовые сланцы, черное - прослой известняка

осушенном шельфе, они все же, видимо, возникали в достаточном количестве, чтобы обеспечить - как и прежде - поставку в водоем растительного ОВ и биофильных элементов, хотя и в меньших количествах. Очевидно, на этом этапе развития трансгрессии происходило некоторое снижение количества $C_{орг}$ в осадках по сравнению с накопившимися ранее. Тем не менее, практически в течение всего периода развития трансгрессий в соответствующих климатических условиях на прибрежных геоморфологически для этого благоприятных участках суши следовало ожидать появления заболачивающихся территорий, что приводило к последствиям, о которых говорилось выше. Таким образом, трансгрессия сопровождалась появлением на суше своего рода "зеленой волны", двигавшейся перед фронтом наступающего моря и в значительной мере влиявшей на геохимический облик поступающих в море веществ. Причем именно трансгрессии - продвижение береговой линии - обеспечивали необходимые условия для развития болотных систем, так как при длительном неподвижном стоянии моря болота (торфяники) быстро заиливались, зарастали, прекращали свое существование и оказывались погребенными под поступающей с суши массой терригенного материала.

Следует отметить, что озерно-болотные ландшафты, торфяники были весьма нестойкими системами и в результате трансгрессии, как правило, полностью разрушались, почти не оставляя после себя следов в разрезах (за исключением районов активного углекислого накопления со специфическим тектоническим режимом). Поэтому прямые свидетельства реальности существования

рассмотренной схемы взаимодействия морских и континентальных прибрежных ландшафтов в разрезах древних толщ встречаются редко. Вместе с тем существует достаточно много косвенных свидетельств, которые, как нам кажется, в целом подтверждают изложенную схему (например, геологические и геохимические данные, характеризующие раннетоарскую (лейас) трансгрессию и связанное с ней аноксическое событие).

В раннем тоаре (в основном аммонитовая зона *falciferum*) в большинстве эпиконтинентальных морей Европы, Канады, Японии, Мадагаскара и других регионов [8] на фоне развивающейся трансгрессии происходило накопление преимущественно глинистых отложений, обогащенных C_{org} . В Западной Европе они известны под названиями "посидониевые сланцы" (Германия), "картонные сланцы" (Франция), "Jet Rock" (Англия). Мощность этих отложений невелика - несколько десятков метров, но сходное до деталей строение их разрезов прослеживается обычно на очень больших территориях. Проведенными исследованиями установлено существование в нижних частях толщи геохимической аномалии, выраженной в заметном уменьшении как в OB , так и в карбонатном материале $\delta^{13}C$ - на 3-5‰ (рис. 2) [3]. Известно, что облегченные значения $\delta^{13}C$ характерны прежде всего для наземной растительности. При развитии раннетоарской трансгрессии в соответствии с рассмотренной схемой именно в ее начале должен был происходить наиболее активный вынос суши в водоем растительного OB : твердые компоненты непосредственно обогащали осадок, а растворенные - утилизировались морским планктоном при формировании мягких тканей и раковинного скелета. В результате появилась параллельная аномалия $\delta^{13}C$ как для OB , так и для карбонатного материала. В дальнейшем, когда море в результате трансгрессии заняло оставленную ранее территорию прибрежной равнины, уничтожив накопления OB , поступление компонентов растительного OB уменьшилось, и аномалия $\delta^{13}C$ исчезла. Уместно отметить, что аналогичная геохимическая аномалия отмечена в разновозрастных отложениях Аляски [9].

Раннетоарский трансгрессивный эпизод в Кавказском водоеме в иных фациальных обстановках проявился в образовании толщи, нижняя часть которой обогащена значительными скоплениями диагенетических сидеритов [1]. Пространственная и генетическая связь морских диагенетических сидеритов с наземными болотными системами ранее была убедительно доказана различными исследователями [4]. Поэтому присутствие сидеритоносных горизонтов в нижних частях трансгрессивных толщ, сопровождаемое значительным количеством растительного детрита во вмещающих сидериты аргиллитах, также свидетельствует в пользу существования на южной окраине Скифской плиты в раннетоарское время озерно-болотных систем, взаимодействовавших с наступавшим Кавказским морем. Как видим, в Западной Европе и на Северном Кавказе аналогичные по сути процессы приводили к

различному литологическому, минералогическому и геохимическому отображению их в разрезах.

Рассмотренная в общих чертах схема взаимодействия морских и прибрежных ландшафтов более или менее удовлетворительно объясняет связь трансгрессий с накоплением некоторых толщ, обогащенных ОВ, в фанерозое. Вместе с тем образование углеродистых толщ на фоне трансгрессий известно и в докембрии. Конечно, для этого времени следует исключить наземную растительность фанерозойского типа из возможных источников поступления ОВ в морские водоемы. Однако вполне вероятно допустить существование на докембрийских прибрежных равнинах озерно-болотных систем, в которых накопление органического вещества происходило за счет большой массы водорослей и бактерий; причем геохимическая сущность этих систем могла быть схожей с той, которая установлена для фанерозоя.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Гаврилов Ю.О.* К геохимии терригенных отложений в связи с эвстатическими колебаниями уровня моря (нижняя и средняя юра, Северный Кавказ) // Литология и полезные ископаемые. - 1992. - № 2. - С. 57-70.
2. *Ковалев В.А.* Болотные минералого-геохимические системы. - Минск: Наука и техника, 1985.
3. *Кюсперт В.* Изменения условий среды во время отложения нефтяных сланцев, определяемые по отношениям стабильных изотопов // Циклическая и событийная седиментация. - М.: Мир, 1985. - С. 436-455.
4. *Страхов Н.М.* Основы теории литогенеза. - М.: Изд-во АН СССР, 1962.
5. *Blaine C.C.* Modern analogs of coal formation // U.S. Geol. Surv. Yearb. - Fiscal Year, 1988. - Denver (Colo). - P. 81-84.
6. *Hallam A., Bradshaw M.J.* Bituminous chales and oolitic ironstones as indicators of transgressions and regressions // J. Geol. Sci. - 1979. - V. 136. - Pt. 2. - P. 157-164.
7. *Haq B.U., Hardenbol J., Vail P.R.* Chronology of fluctuating sea levels since the triassic // Science. - 1987. - N 4793. - P. 1156-1167.
8. *Jenkyns H.C.* The early toarcian (Jurassic) anoxic event: stratigraphic, sedimentary and geochemical evidence // Am. J. Sci. - 1988. - V. 288. - P. 101-151.
9. *Magoon L.B., Claypool G.E.* The Kingak shale of northern Alaska-regional variations in organic geochemical properties and petroleum source rock quality // Organic Geochemistry. - 1984. - V. 6. - P. 533-542.
10. *Simoneit B.R.T.* Organic geochemistry of black shales from the deep sea drilling project, a summary of occurrences from the Pleistocene to the Jurassic // Mitt. geol.-Palaont. Inst. - Univ. Hamburg. - 1986. - H. 60. - S. 275-309.

ГОСУДАРСТВЕННАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ПРОГРАММА
"ГЛОБАЛЬНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ СРЕДЫ И КЛИМАТА"

Российская Академия наук
Палеонтологический институт
Геологический институт
Институт географии
Объединенный институт геологии
геофизики и минералогии СО РАН

ЭКОСИСТЕМНЫЕ ПЕРЕСТРОЙКИ И ЭВОЛЮЦИЯ БИОСФЕРЫ

ВЫПУСК 1

*Отв. редакторы: д-р геол.-минер. наук,
проф. А.Ю. Розанов,
академик РАН М.А. Семихатов*



МОСКВА "НЕДРА" 1994