

УДК 551.25:551.583

## ВАРИАЦИИ КЛИМАТИЧЕСКИХ ЗОН И ПОВЕРХНОСТНЫЕ ОКЕАНИЧЕСКИЕ ТЕЧЕНИЯ В МЕЛОВОМ ПЕРИОДЕ

*Ю. В. Волков, Д. П. Найдин*

Вариации солнечной активности в прошлом изменяли климатическую зональность и положение зон высокого и низкого атмосферного давления [7]. Этими изменениями были обусловлены широтные перемещения поясов пассатных ветров и вызываемых ими пассатных течений. Была построена серия карт (как на фиксистой, так и мобилистской основе) реконструкций поверхностных геострофических течений для отдельных веков мелового периода. В статье помещены карты только для турона и маастрихта. Приводится краткий обзор литературных материалов по меловым течениям. Модельные реконструкции для позднего мела сопоставляются с некоторыми палеобиогеографическими материалами. Проведенное исследование показало, что в познании палеогеографии мелового периода как планеты в целом, так и отдельных ее регионов огромная роль принадлежит восстановлению поверхностных течений обширного моря (океана) Тетис и меридиональных проливов, соединявших его с Арктическим бассейном.

Среди физико-географических параметров морей и океанов прошлого, как и ныне, одно из ведущих мест принадлежит течениям. Роль их в процессах осадконакопления и расселения организмов давно понята. Поэтому многие работы по стратиграфии и палеогеографии, хотя бы в краткой форме, содержат информацию о возможных течениях. Появились и специальные работы, посвященные реконструкциям палеотечений. Число таких работ в последние годы заметно возросло прежде всего в связи с расширением исследований по палеоклиматологии и колебаниям уровня Мирового океана.

В данной статье предлагаются наброски реконструкций системы течений мелового периода, основанные на развиваемых одним из авторов [7] представлениях о резонансных эффектах в солнечной системе, влияющих на солнечную активность. Согласно этим представлениям, изменялось во времени положение зон высокого и низкого атмосферного давления, что приводило к периодическим изменениям климатической зональности в геологическом прошлом. С изменением широтного положения зон высокого и низкого давления и климатической зональности связаны также широтные изменения системы пассатных ветров — основной силы, создававшей, как и в настоящее время, глобальную систему поверхностных течений.

Помимо глобальных реконструкций предлагаются реконструкции течений морей Европейской палеобиогеографической области (ЕПО), являвшихся эпиконтинентальными морями западной части океана Тетис. Рассматриваются только поверхностные течения, осредненные за годы. Муссонные эффекты и вариации течений по сезонам не рассматривались.

Океанические поверхностные течения в геологическом прошлом могут быть реконструированы по аналогии с системой современных течений, если известны положения климатических зон на земном шаре и распределение океанов и суши. Теоретические модельные расчеты климатической зональности, предложенные в [7], позволяют восстановить положение границ климатических зон и вместе с тем получить такие важные характеристики, как положения и вариации положения

зон высокого и низкого атмосферного давления, зон пассатных и западных ветров, которые имеют определяющее значение для структуры и интенсивности циркуляционных процессов в океане.

Задача восстановления глобальных и региональных течений в меловом периоде ставилась неоднократно во многих работах [13, 29, 36—54]. Положения зон высокого давления и пассатных ветров либо предполагались близкими современной эпохе, либо менялись достаточно произвольным образом. В то же время сложность гидродинамической задачи обтекания течениями тел с таким сложным профилем, какой имеют континенты (см., например, [26]), заставляет обращаться к тем или иным упрощениям в математических моделях [27, 29]. Всегда следует рассмотреть ряд упрощенных моделей, чтобы на простых примерах вскрыть те закономерности и основные взаимосвязи величин, которые характеризуют циркуляцию вод и ее связь с климатической зональностью, и уже затем путем сопоставления с геологической информацией пытаться восстановить общую картину течений в отдельные века мелового периода. Этому и посвящена настоящая работа.

Следует отметить, что в данной работе рассматриваются лишь поверхностные течения океанов и морей, а эффектами глубинных течений пренебрегалось. С целью упрощений был сделан еще ряд допущений: не учитывались искажения климатических зон, вызванные теплыми и холодными течениями, а брались лишь средние положения зон; не учитывались сезонные вариации циркуляции атмосферы и гидросферы, в том числе и муссоны.

### Модельные реконструкции поверхностных течений

О модели вариаций климатических зон. Подробное описание модели можно найти в работе [7], здесь же дадим краткое описание ее сущности и основы расчетной схемы. В модели предполагается, что границы климатических зон в геологическом прошлом могли изменять свое положение по многим причинам, но главной из них является изменение солнечной светимости и активности. Такие изменения происходили циклически во времени и наложением многих циклов можно объяснить всю картину климатических изменений в геологическом прошлом [5—12, 25, 32, 34].

Допустим, что имеются лишь две планеты с периодами обращений на орбите  $T_1$  и  $T_2$ . Как найти, с какой частотой эти две планеты будут давать максимум возмущений? Ответ прост: согласно теории вероятности такие моменты наступают с частотой  $f=f_1 \cdot f_2$  или периодом  $T=T_1 \cdot T_2$ , где  $T=1/f$ . В этом суть дела. Если имеются не две, а три планеты, то формула для частоты резонансов примет вид:  $f=f_1 \cdot f_2 \cdot f_3$  или для периода  $T=T_1 T_2 T_3$ . Увеличивая последовательно число планет, участвующих в резонансе, найдем так называемые базовые периоды:  $T_1=1,881$ ,  $T_2=22,3$ ,  $T_3=657$  в годах и  $T_4=55,2$  тыс. лет,  $T_5=9,1$ ,  $T_6=2260,35$  млн лет. Второй из этих периодов известен как полный, или магнитный, цикл солнечной активности [6].

Представим формулу для частот или периодов в форме аддитивной записи

$$\ln T(k) = \ln T_1 \mp k \cdot \ln T_2 \quad (k=0, 1, 2 \dots) \quad (1)$$

Эта формула выражает собой как базовые периоды резонанса  $k=0$ , так и «серии». В силу того что действие резонанса на солнечную активность тем больше, чем больше сам период  $T$ , выделяются две

группы серий, названные [7] *N*- и *S*-сериями. Для их получения в (1) необходимо взять  $T_2=1+1,881=2,881$  — *N*-серии или  $T_2=1,881$  — *S*-серии. Вводя представление о комбинированных *NN*, *NS*, *SS*, *NNS* и т. д. ( $T_{12}=T_1+T_2$  и т. п.) периодах, получаем все многообразие резонансных периодов, от которых зависят солнечная полицикличность и, как следствие, вариации климатических зон на земном шаре в геологическом прошлом. С вариациями климатических зон и поясов — экваториального, высоких и низких давлений и др. — связаны зоны пассатных ветров и системы циркуляции атмосферы и гидросферы.

Модели циркуляции подвижных оболочек Земли. Атмосферные движения описываются системой уравнений, включающей уравнения движения, неразрывности, состояния и притока тепла [24]:

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\vec{v}}{dt} &= -2[\vec{\omega} \times \vec{v}] - \frac{1}{\rho} \text{grad } P + \vec{g} + \vec{F}, \\ \frac{d\rho}{dt} &= -\rho \text{div } \vec{v}, \quad P = \frac{R}{\mu} \rho T, \\ \frac{dT}{dt} &= -\left(\frac{C_p}{C_v} - 1\right) T \text{div } \vec{v} + \frac{Q}{C_v}, \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

где  $\vec{v}$  — скорость,  $\rho$  — плотность воздуха,  $g$  — ускорение силы тяжести,  $\vec{F}$  — результирующая сил турбулентной вязкости,  $T$  — температура,  $Q$  — приток тепла к единице массы,  $R$  — газовая постоянная,  $\mu$  — молекулярный вес воздуха,  $P$  — давление,  $\omega$  — круговая частота вращения Земли,  $C_p$  и  $C_v$  — теплоемкости атмосферного воздуха при постоянном давлении и постоянном объеме. Система уравнений (2) должна решаться при заданных начальных распределениях скоростей, давлений, плотностей и температур. Приток тепла является заданной функцией времени и места.

Известные решения системы (2) при различных упрощающих предположениях, например когда поверхность земного шара однородна по своим физическим свойствам, указывают на появление системы циркуляционных ячеек, вызванных пригоком тепла к области экватора, оттоком тепла из полярных областей и воздействием на возникающие потоки воздуха сил Кориолиса. Так образуются зоны высокого и низкого давлений, зоны западных и пассатных ветров.

Океаническая циркуляция кроме уравнения баланса энергии описывается системой уравнений гидродинамики [26—29]:

$$\left. \begin{aligned} \rho \frac{d\vec{v}}{dt} &= \vec{f} - \text{grad } P + \eta \left( \Delta \vec{v} + \frac{1}{3} \text{grad div } \vec{v} \right), \\ \frac{d\rho}{dt} + \rho \text{div } \vec{v} &= 0, \quad P = P(\rho), \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

здесь  $\eta$  — вязкость,  $\vec{f}$  — поле внешних сил; остальные обозначения имеют такой же смысл, что и в (2). Первое из уравнений системы (3) носит название уравнения Навье—Стокса, второе и третье — уравнения неразрывности и состояния.

Существует довольно простой метод решения системы уравнений (3). Он заключается в том, что дифференциалы заменяются конечными разностями и решается задача с краевыми и начальными условиями. Этот метод требует больших объемов памяти ЭВМ и доста-

точно громоздок. Тем не менее этим методом задача решалась в работах [15, 27, 29] и были получены многие интересные результаты. При этом сила трения ветра о поверхность воды не находилась из (2), а задавалась на основании современных климатологических данных. Главный вывод, который получается как из решений (3), так и из эмпирических данных по современным океаническим течениям, заключается в том, что поверхностные системы течений в океанах и морях образуют замкнутые и связанные между собой циркуляционные ячейки, имеющие различное направление циркуляции в разных зональных поясах. С одной стороны, это позволяет решать систему (3) совершенно иным методом — вариационным методом Рунге — более простым и удобным при реализации на ЭВМ. С другой — оказывается возможным, раскрыв систему закономерностей для циркуляционных ячеек и их связей с зональной климатической структурой, восстанавливать многие черты и характеристики систем палеотечений непосредственно исходя из зональной структуры палеоклиматов какой-либо геологической эпохи.

Закономерности структуры системы океанических течений. Изложим здесь основные закономерности, которым подчиняется система океанических течений, без подробностей рассмотрения деталей.

А. Если имеется течение струйного типа, направленное от положительного источника, скажем, апвеллинга или просто фиктивного источника, к отрицательному (или стоку), скажем, даунвеллингу или просто к фиктивному стоку, и если на пути такого течения оказывается препятствие в виде стенки (это относится как к воздушным течениям — препятствия горы, так и к океаническим — препятствия берега), то вблизи препятствия происходит накопление положительных источников, которые сами создают течения.

Б. Если течения имеют меридиональную компоненту, то они подвергаются действию сил Кориолиса.

В. В океаническом полушарии течения расслаиваются по зонам и состоят из течений западных ветров (ЗВ), пассатных течений (ПТ), пассатных противотечений (ПП), экваториального течения (ЭТ). Кроме того, если перед полярными областями имеются зоны низких давлений, то существует приполярное восточное течение (ВТ). Зоны высокого давления (ЗВД) и низкого давления (ЗНД) задают направления господствующих ветров, определяющих поверхностные океанические течения. Таким образом, структура течений океана оказывается зональной, и эта зональность связана с климатической зональностью посредством положения ЗВД — ЗНД и определяемой ими циркуляции атмосферы.

Описанную структуру течений можно получить, если решать (3) для модельного полушария, в котором расположены одни океаны («океаническое полушарие»), и ограниченного прямой «стенкой» континентального берега, располагающейся в противоположном полушарии. Расслоение на ячейки зональной циркуляции получается уже в этом простейшем случае.

Для объяснения циркуляции в бассейнах, окруженных сушей, но сообщающихся между собой, необходимо учитывать законы течений в сообщающихся сосудах и, кроме того, иметь в виду следующее: 1) струя ПТ обладает наибольшей мощностью, далее по мощности идет струя ЭТ, далее — ПП и ЗВ; 2) циркуляция вод в бассейне имеет тенденцию быть такой же, какую циркуляцию имеет данная широтная зона в океаническом полушарии; 3) в изолированном или почти изо-

лированном бассейне циркуляция вод определяется системой ветров в данной зоне.

В выполнимости указанных правил можно убедиться не только путем расчетов, но и непосредственной проверкой их на эмпирических данных, относящихся к современной системе течений в Мировом океане. С учетом привязки этих закономерностей к климатическим зонам, зонам высоких и низких давлений, зонам пассатных и западных ветров, образующих единую систему зон, их можно переносить в геологическое прошлое, для реконструкций поверхностных палеотечений.

Обсуждение результатов реконструкций глобальных течений в меловом периоде. Результаты расчетов широтного положения зон, характеризующих течения в Мировом океане для разных веков мелового пе-

Положение зон течений и давления  
(град. широты)

Век	ЗВ	ЗВД	ПТ	ПП	ЗНД
Маастрихт	72	62	31	16	—
Кампан	37	27	14	7	57
Сантон	31	21	11	6	51
Коньяк	41	31	16	8	61
Турон	40	30	15	8	60
Сеноман	36	26	13	7	56
Альб	44	34	17	9	64
Апт	69	59	30	15	—
Баррем	73	63	32	16	—
Готерив	84	74	37	19	—
Валанжин	79	69	35	18	—
Берриас	62	52	26	13	82

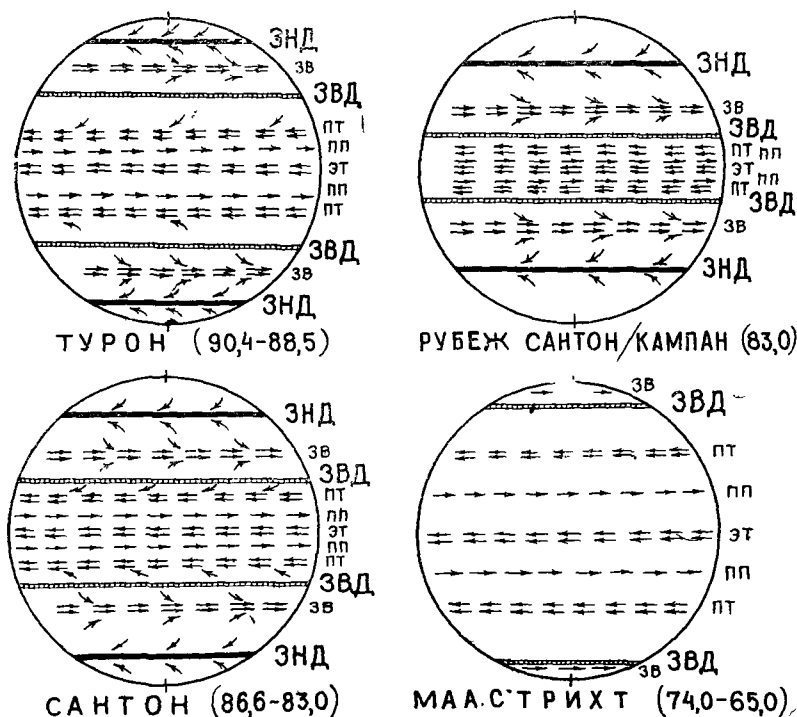


Рис. 1. Зональность течений в модельном полностью «океаническом полушарии». ЗНД — зона низкого давления, ЗВ — течение западных ветров, ЗВД — зона высокого давления, ПТ — пассатное течение, ПП — пассатное противотечение, ЭТ — экваториальное течение. Те же обозначения приняты на рис. 2—7

риода, сведены в таблицу. Зона западных ветров совпадает с границей двух климатических зон: умеренной и субтропической. Расчет вариаций именно этой границы зон выполнен нами в работе [7] и служил отправной точкой для расчетов положения всех других палеоклиматических зон и течений.

Рис. 1 иллюстрирует зональность течений в модельном полностью «океаническом полушарии» для ряда веков верхнего мела. Как видно из рис. 1, широта положения ЗВД менялась с течением геологического времени, то приближаясь к экватору, то удаляясь к полюсам.

Наиболее контрастные картины зон в сантоне и маастрихте. В первом — зоны оказываются наиболее близко расположенными к экватору, а во втором — максимально удалены от него. За исключением одного этого свойства — сужения и расширения зон — картина течений, в общем, однотипна: ветры, дующие от зон высокого давления как в сторону экватора, так и в направлении к полюсу, создают течения, которые, накапливая силу, отклоняются благодаря действию кориолисовой силы (эффект Экмана). Когда нагонный эффект в сторону экватора компенсирует действие пассатных ветров, течение оказывается уже зональным и действие кориолисовой силы прекращается. То же происходит и с течением западных ветров. Пассатное противотечение возникает благодаря нагонному эффекту у западных и восточных берегов суши. Аналогичный нагонный эффект возможен и для течения ЗВ, но из-за небольшой мощности последнего он слабо выражен. В приполярных областях он может, однако, складываться с приполярным восточным течением, усиливая его.

В целом для позднего мела характерно низкоширотное расположение зон высокого давления, что говорит о более холодном климате в это время. Для раннего мела, напротив, (таблица; рис. 1) характерно высокоширотное положение ЗВД и широкое расположение главных струйных течений в Мировом океане. Только в конце раннего мела, в альбском веке, климатические зоны стали сжиматься к экватору, а с ними стали более узкими и промежутки между ЗНД, ЗВ, ЗВД, ПТ, ПП (рис. 1).

Обратимся к рис. 2—7, на которых показаны системы течений в туроне и маастрихте. Карты-схемы 2 и 3 выполнены на фиксистской основе, а карты-схемы 4 и 5 — на мобилистской. Это позволит сравнивать два типа реконструкций и установить главные отличия в их системах течений. Как видно, основные различия касаются Южного полушария.

Обсуждение реконструкций региональных систем течений в Северном полушарии. При построении рис. 6 и 7 учитывалось влияние горных массивов на востоке и юго-востоке рассматриваемого региона на системы ветров и океанические и морские течения. В маастрихте ЗВД располагалась в высоких широтах и к югу от широты  $60^\circ$  с. ш. находилась зона пассатных ветров с их отклонением к западу. Эти ветры создавали пассатное течение, формирование которого завершилось к  $30^\circ$  с. ш. Система ветров над океаном Тетис обеспечивала преобладание течений в западном направлении, а циркуляция в бассейнах небольшого размера направлена в основном против часовой стрелки из-за встречных потоков меридионального направления, тогда как в замкнутых водоемах и полуизолированных заливах намечается циркуляция по часовой стрелке.

В туроне широта зоны высокого давления  $\approx 30^\circ$  с. ш. К северу от нее располагается зона западных ветров, которые создают течения в океане Тетис в основном юго-западного направления. Таким обра-

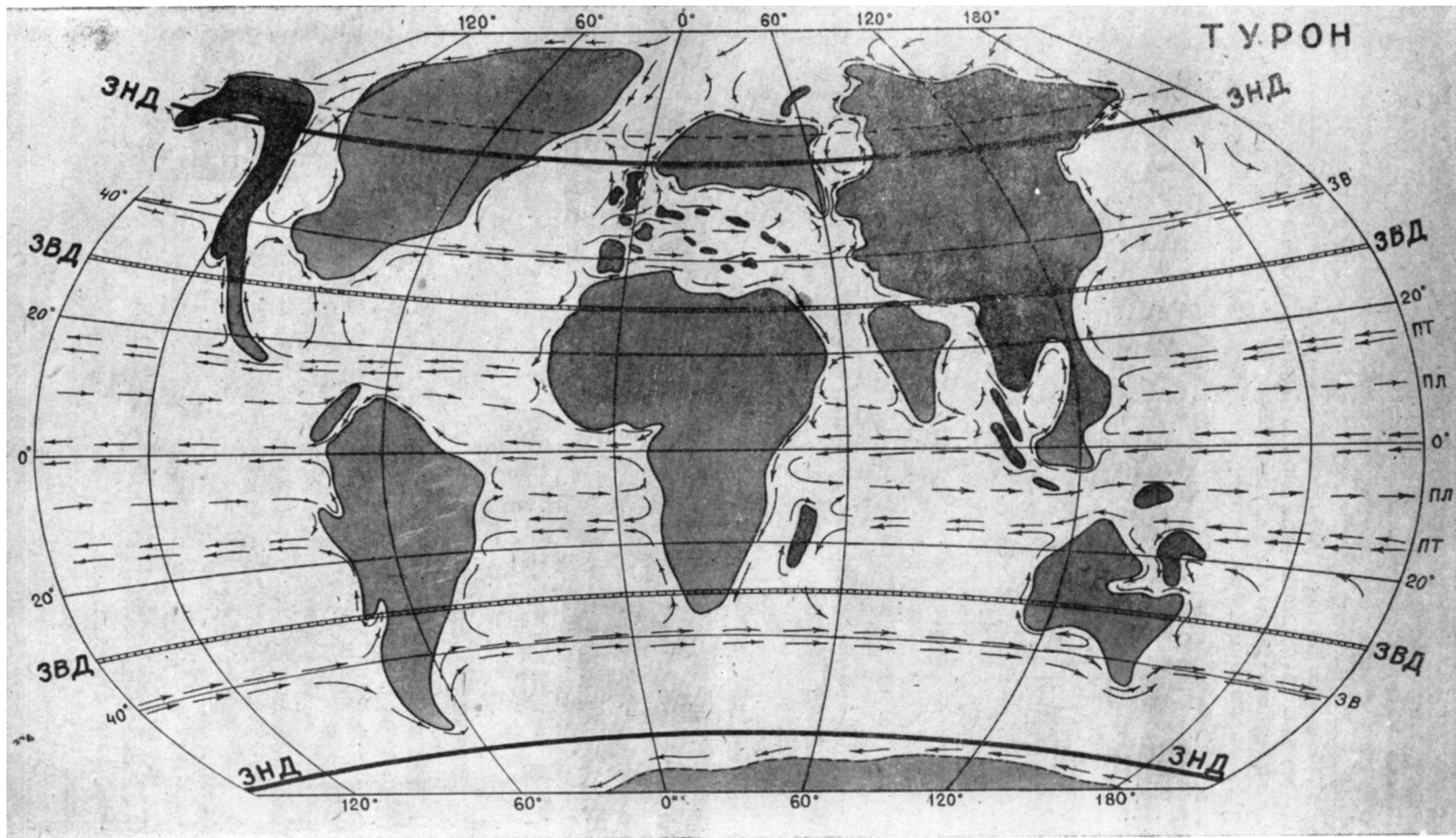


Рис. 2. Реконструкция глобальной системы поверхностных течений для турона

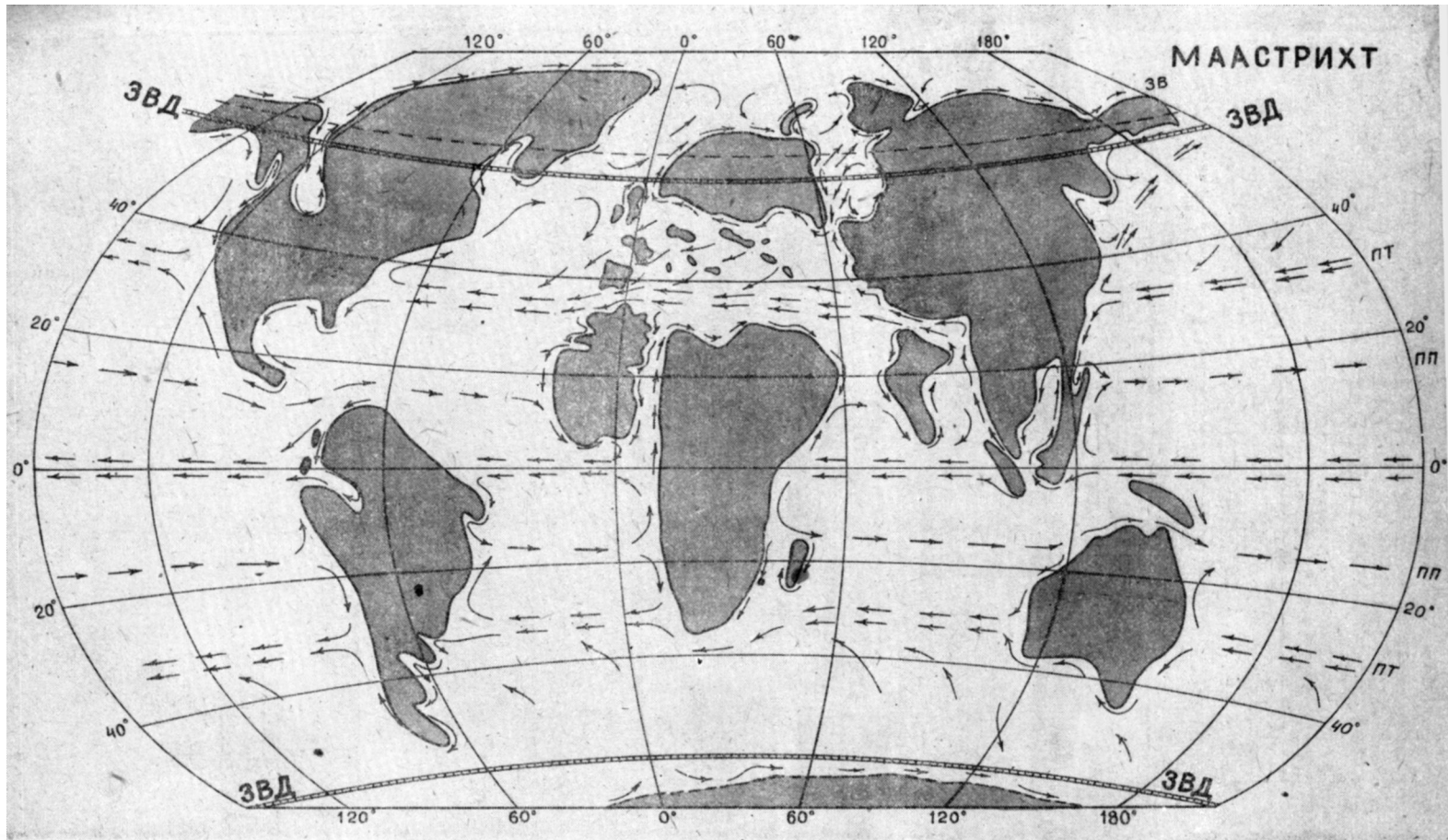


Рис. 3. Реконструкция глобальной системы поверхностных течений для маастрихта



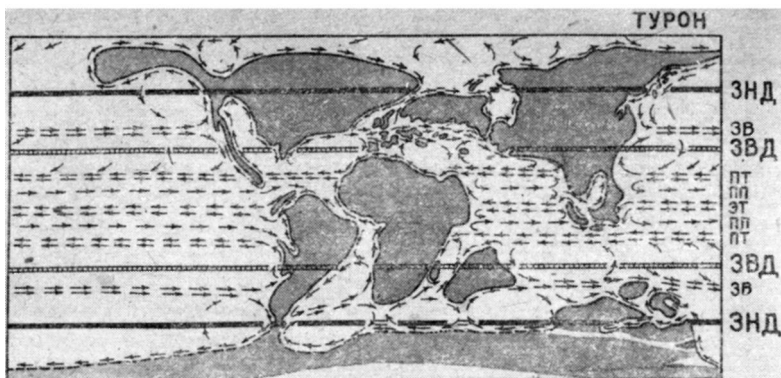


Рис. 4. Реконструкция глобальной системы поверхностных течений для турона. Основа по [47, фиг. 8]

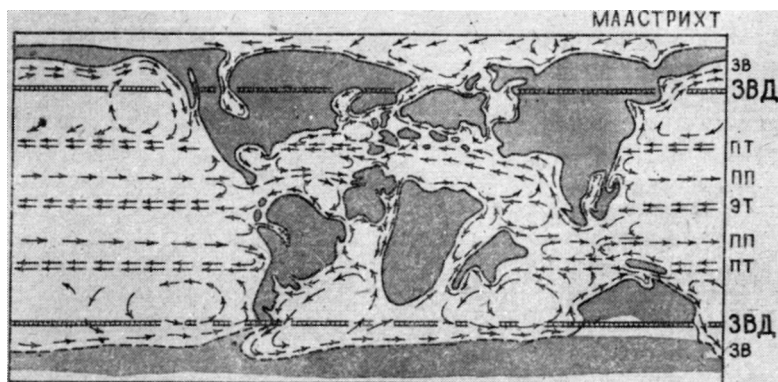


Рис. 5. Реконструкция глобальной системы поверхностных течений для маастрихта. Основа по [47, фиг. 12]

зом, в туронском веке течения области Тетис имели прямо противоположное направление, чем в маастрихте. Теплые воды поступали в данный регион из Атлантики, а не из Индийского океана. Циркуляция в заливах и замкнутых бассейнах также теперь определяется не пассатными, а юго-западными ветрами.

Граница сантон/кампан характеризуется особенно низким положением зон ВД ( $21^\circ$  с. ш.). Такое снижение границ климатических зон привело к тому, что регион Тетис оказался в зоне широты низких давлений, что и определило направления господствующих ветров и течений. Регион Тетис оказался как бы поделенным на две части: северную, где господствуют течения западного направления, и южную, с течениями, идущими на восток (рис. 1). Это же характерно и для туронского века.

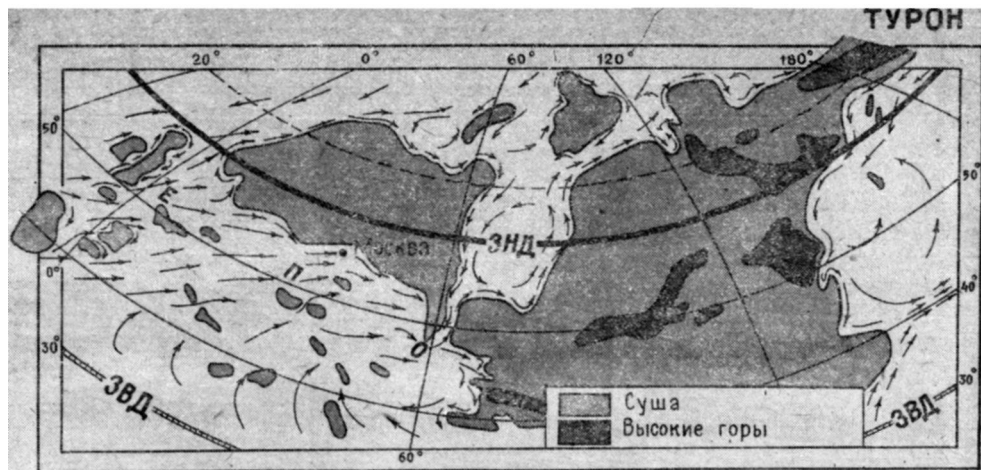


Рис. 6. Реконструкция палеотечений в морях Северной Евразии для туронского века



Рис. 7. Реконструкция палеотечений в морях Северной Евразии для маастрихтского века. Цифры в скобках — млн лет

### Поверхностные течения мелового периода по представлениям различных авторов

Глобальные реконструкции меловых течений. Стержнем современной глобальной системы поверхностных (дрейфовых) течений, как известно, являются пассатные течения тропических и экваториальных широт. К. Цеппритц (1879) их возникновение связал с действием относительно устойчивых на протяжении года, направленных с востока на запад пассатных ветров. В дальнейшем ис-

следованиями О. Крюмеля, В. Экмана и других океанографов было установлено, что воздушные и водные потоки на вращающейся сфере подчинены поворотной кориолисовой силе, или геострофной<sup>1</sup> силе, в результате приложения которой они отклоняются в Северном полушарии вправо, а в Южном — влево [11, 22].

Одним из первых П. П. Лазарев [14] высказал предположение о том, что и в прошлые геологические эпохи основной частью глобальной системы течений были течения, вызванные пассатными ветрами. На это предположение опираются палеореконструкции геострофических течений.

В работе Г. Б. Фелла [45] обстоятельно рассмотрены возможные факторы, участвовавшие в возникновении таких течений в геологическом прошлом. По Феллу, взаимное расположение континентов и океанов в конце мезозоя и в кайнозой существенно не отличалось от их современного расположения, но положение полюсов было несколько иным: для позднего мезозоя экватор он располагается по сравнению с его современным положением на 15° к северу в Атлантическом океане и к югу в Пацифике. Общий характер атмосферной и океанической циркуляции был принципиально таким же, как и ныне. Одним из важнейших факторов, накладывавшихся на пассатный фон, были меняющиеся в прошлом очертания береговой линии океанов, что в первую очередь было связано с изменявшейся величиной акватории эпиконтинентальных морей. Направление палеотечений, по Феллу, можно наметить по распространению бентосных организмов (в частности, по иглокожим) либо флуктуацией пелагических личинок, либо эпиланктонным переносом (прикреплением взрослых особей к плавающим предметам, например к бурым водорослям).

На фиг. 2 в работе Фелла приведена карта-схема реконструкции позднемеловых поверхностных течений, на которой показаны близкие к современным круговороты пассатных течений и течение Западных ветров в Южном полушарии. Однако на карте имеются три крайне важных отличия предлагаемой реконструкции от современной системы течений. Во-первых, показано огромное эпиконтинентальное море (не океан!) Тетис, в котором действовало начинавшееся в области современного европейского участка береговой линии Атлантики и заканчивавшееся в Бирме и Малайзии крупное течение, т. е. течение западного переноса. Во-вторых, реконструируются течения в четырех меридиональных проливах: вдоль западной окраины Северо-Американской платформы (Западный Внутренний бассейн американских авторов), где вдоль западного берега действовало течение, направленное с севера на юг, а вдоль восточного берега течение было противоположного направления; в Северной Африке от Гвинейского залива к Средиземному морю; два пролива по обе стороны Урала (на востоке Восточно-Европейской платформы и Тургайский пролив), в которых действовали течения, начинавшиеся в море Тетис и направлявшиеся в Арктический бассейн. В-третьих, Панамского перешейка не было, а из Атлантики в Пацифику направлялось течение восточного переноса.

Реконструкции поверхностных течений мелового периода В. Гордон [49], в отличие от Фелла, проводит на мобилистской основе. Признается, что в изменявшихся по своим очертаниям и размерам океанах и морях основным фактором, контролировавшим расселение морских

<sup>1</sup> Стрoфа (греч.) — поворот.

организмов, была температура воды. Следовательно, направления течений можно наметить по расселению как относительно холодноводных, так и тепловодных организмов. Гордон предложил карты-схемы поверхностных течений для валанжина, сантона и маастрихта. Как и у Фелла, большое место в его реконструкциях занимают течения моря Тетис. Но предлагается прямо противоположное направление действовавших в области Тетис течений — с востока на запад. Также намечаются меридиональные проливы, в каждом из которых развивались противоположно направленные течения: с севера на юг вдоль их западного берега и с юга на север вдоль восточного берега.

Карты Гордона представляются более биогеографически обоснованными, по сравнению с картами Фелла. Его карта для течений маастрихта с рядом критических замечаний воспроизводится в статьях [28, с. 17; 38, фиг. 1].

В последние годы концептуально важные для палеореконструкций поверхностных течений идеи получены при исследованиях особенностей теплого и равномерного климата мелового периода. Посредством компьютерного моделирования для середины периода (100 млн лет тому назад) на мобилистской основе намечены варианты контуров континентов при различном стоянии уровня моря [37, фиг. 6, 7]. Для двух вариантов климатических условий — теплых и холодных полярных регионов — определены предполагаемые поверхностные температуры, положение зон высокого и низкого атмосферного давления, величины атмосферных осадков и испарения [39, фиг. 2—8].

Несмотря на существенные отличия меловой атмосферной циркуляции от современной, положение зон различного давления являлось, как и ныне, важнейшим фактором формирования (наряду с пассатной циркуляцией) глобальной системы поверхностных течений. Помимо пассатных ветров и пассатных течений в результате обособления зон высокого и низкого атмосферного давления возникали зональные ветры и течения [37, фиг. 3; 56, фиг. 1]. Океаническая циркуляция была весьма чувствительной к изменениям положения континентов, колебаниям уровня моря и флуктуациям климата, что при осуществлении палеореконструкций ограничивает применение прямых аналогий с современными условиями [39]. Как и другие авторы, взгляды которых были рассмотрены выше, Э. Баррон и В. Петерсон [38] полагают, что область Тетис являлась наиболее важной особенностью палеогеографии мелового периода. Океан Тетис вместе с его эпиконтинентальными морями разделял Северную Америку и Евразию на севере и Южную Америку, Африку и Индию — на юге. Предполагаемый рядом исследователей западный перенос в области Тетис не развивался. Преобладавший в тропической части Тихого океана западный перенос в области Тетис сменялся значительно более сложной циркуляцией. В области Тетис намечаются два круговорота с движением водных масс по часовой стрелке: один в западной, другой в восточной части океана Тетис [38, фиг. 2]. Вдоль северной периферии океана развивались результирующие течения, направленные с запада на восток.

Реконструкции поверхностных течений прошлого в той или иной степени основываются на сравнении с современной системой океанических течений. Однако можно полностью согласиться с Э. Барроном и В. Петерсоном [38] в том, что особенности географии и климата мелового периода ограничивают прямые аналогии с их современной системой. В этой связи отметим, что в статье А. Мейергофа [55] (правда, не посвященной специально течениям) «метод аналогии» доведен до абсурда. На 14 картах-схемах [55, фиг. 15—28]

показана не менявшаяся с конца протерозоя до миоцена современная система течений.

Экспериментальное воспроизведение поверхностных течений мелового периода. Высказанная К. Цеппритцем (1879) гипотеза связи современных глобальных океанических течений с пассатными ветрами была подвергнута опытной проверке О. Крюммелем (1902) [33]. П. П. Лазарев [14] предположил, что и в геологическом прошлом глобальная система океанических течений формировалась под воздействием пассатных ветров. В экспериментах Лазарева рельефные макеты мира в плоской проекции изготавливались из гипса. Понижения на макете (океаны) заполнялись водой, в направлении с востока на запад создавались потоки воздуха, т. е. имитировались пассатные ветры. В соответствии с имевшимися в его распоряжении мировыми палеогеографическими схемами им был построен ряд макетов, на которых воссоздавались палеотечения для отдельных эпох и веков (в их числе для альба и сеномана).

В пятидесятые годы А. В. Хабаков (ВСЕГЕИ) продолжил начатые П. П. Лазаревым экспериментальные исследования палеотечений. Им была построена большая плоская лабораторная установка, которая позволяла строить макеты контуров береговой линии океанов и морей для отдельных веков мелового периода. На контрольной карте для современной геологической эпохи были получены все основные элементы современной океанической циркуляции. К сожалению, исследования А. В. Хабакова не были завершены, а их предварительные результаты в виде серии весьма интересных карт не были опубликованы.

Позже Б. Люендик и др. [54], используя опыт В. Фон Аркса [35] по моделированию современных ветровых течений на вращающейся полусфере, сконструировали значительно более сложную лабораторную установку. Во вращающемся цилиндре диаметром 2 м на макетах для Северного полушария менялись в соответствии с мобилистскими схемами очертания материков, направления зональных ветров, переменная сила Кориолиса в зависимости от широты. В теплый «неледниковый» меловой период существовал не имеющий современных аналогов океан Тетис. На востоке, у Малайзии океан реконструируется узким. Скорость направлявшихся с востока на запад течений здесь была порядка 2—4 узла. В основной, более широкой части океана течения распадались на ряд струй, скорость их ослабевала и вновь возрастала до 2—4 узлов в западной, суженной у Гибралтара части. Вдоль северного берега основной части океана (на месте будущих Персидского залива и Индостана) намечаются два небольших антициклональных кольца. Течения западного переноса из области Тетис продолжались поперек суженного Атлантического океана и уходили через широкий Флоридский пролив (Панамского перешейка не было) в Тихий океан, где они смыкались с огромным течением, которое в общем соответствовало современному северному пассатному течению. В северной, очень узкой части Атлантики «Палеогольфстрим» направлялся в Лабрадорское море. Далее к северу течение направлялось в пролив между Гренландией и Северной Америкой в небольшой по акватории Арктический бассейн, а оттуда через Берингов пролив в Тихий океан.

Эксперименты Б. Люендика и его коллег показали огромное значение в возникновении поверхностных течений мелового периода величины океанов (акватория Атлантики реконструируется вдвое меньшей, а Пацифики на четверть большей их современных акваторий),

наличие или отсутствие соединений (проливов) между ними, существование широко ориентированного океана Тетис, а также характера атмосферной циркуляции, близкой к современной «ледниковой» или «неледниковой». Методика, предложенная Люендиком и его соавторами, открывает большие перспективы лабораторного изучения поверхностных течений прошлых геологических эпох при различных вариантах сочетания тектонических, палеогеографических и палеоклиматических параметров: в открытом и закрытом океане Тетис, при наличии<sup>3</sup> или отсутствии проливов, соединявших его с Арктическим бассейном, в условиях холодного или теплого климата и т. д. Следовательно, при моделировании весьма ответственным оказывается его начальный этап: палеогеографическая реконструкция очертаний суши и водных пространств. С этих позиций не убедительными представляются предлагаемые Люендиком и др. неоправданные сужения как западной, так и восточной части области Тетис (на западе до размеров современного Средиземного моря), а также Северной Атлантики.

О течениях в меловых морях Европейской палеобиогеографической области. Существование на крайнем западе ЕПО в позднем мелу теплого течения, приходившего из океана Тетис, еще в 1852 г. было предположено Ф. Рёмером, а затем и другими авторами [16, с. 267]. Вдоль этого «Палеогольфстрима» далеко на север проникали орбитиды, кораллы, рудисты и др.

А. Д. Архангельский [2] предполагал, что южные элементы фауны сеномана и турона (тригонии, некоторые аммониты и др.) приносились в ЕПО течениями из морей Среднеазиатской палеобиогеографической области. Рис. 120 в сводке А. Д. Архангельского [3] воспроизводит схематическую карту А. Борна (1931), на которой для позднего мела стрелами ЮЮВ—ССЗ через всю ЕПО показаны приходившие из Азии теплые течения.

Помимо течений из области Тетис расселению биоты в морях ЕПО способствовали также северные течения. Их действием, несомненно, контролировалось распространение белемнитов. Проникновение белемнитов в кампане и маастрихте далеко на юг, вплоть до Копетдага, было связано с течениями, приходящими с севера. Широкое распространение диатомей и радиолярий (это привело, начиная с турона, к накоплению кремнистых толщ) может быть объяснено приносом этих бореальных элементов течениями.

Двустворчатый моллюск *Oxytoma tenuicostata* в позднем сантоне — начале кампана также проник в моря востока ЕПО из Бореальной палеобиогеографической области. Соединение осуществлялось как через Тургайский пролив [4, 9], так и вдоль западного склона Урала и через проливы, рассекавшие Уральскую гряду [30].

А. Д. Архангельский [1] на материалах верхнемеловых разрезов юго-востока Восточно-Европейской платформы впервые в России осуществил палеоокеанический анализ. Им были составлены карты-схемы распределения некоторых типов осадков для ряда веков позднего мела. В дальнейшем были составлены значительно более детальные карты. Поражает контрастность в пространственном размещении резко фациально различных типов осадков. Так, нижний маастрихт в Вольске представлен ослепительно белым чистым писчим мелом, а в нескольких десятках километров к югу, в Саратове и еще южнее — это желтовато- и зеленовато-серые глауконитовые пески и песчаники, песчанистые мергели и глины.

Подобное распределение осадков обычно объясняют их положением относительно предполагаемой береговой линии: терригенные фации

у берега, карбонатные — в удалении от него. К этому необходимо добавить, что прибрежные терригенные фации сантона — маастрихта накапливались под воздействием приходящих с севера (и северо-востока) течений. В пределах достаточно узкой полосы далеко на юг, до Волго-Донского водораздела и несколько южнее проникают кремнисто-песчаные фации [10]. В последнее время в них обнаружены обильные комплексы холодноводных радиолярий и диатомей. Не исключено, что некоторые течения развивались на отдельных участках, характеризовавшихся преобладанием тенденции погружения. Например, песчаные и песчано-кремнистые осадки сантона Рязано-Саратовского прогиба, возможно, накапливались в таких условиях [31].

Реконструкциям палеотечений современные исследователи уделяют большое внимание. Знание расположения системы течений в морях прошлого необходимо при решении проблем эвстазии и палеоклиматологии. Получаемые результаты часто оказываются противоречивыми. Так, для рубежа сеноман/турон на западе ЕПО (Западная Европа) предлагаются два варианта реконструкции течений. Согласно первому, из Атлантики между Фенно-Сарматским кратоном и Англо-Шотландским массивом действовало холодное донное течение; ему навстречу с юга между Англо-Шотландским и Армориканским массивами направлялся теплый Палеогольфстрим; между Армориканским и Среднегерманским (Рейнским) массивами из океана Тетис шло еще одно теплое поверхностное течение; вдоль северной окраины Среднегерманского массива располагалась зона апвеллингов [44].

В другом варианте реконструкции зона апвеллингов окаймляет южную окраину Фенно-Сарматского кратона; к югу от Среднегерманского массива намечается приходящее с востока поверхностное течение, струи которого действовали между Армориканским и Англо-Шотландским массивами и вдоль восточной окраины последнего [50].

### **Сопоставление модельных реконструкций с некоторыми палеобиогеографическими данными**

Сразу же оговоримся: при сопоставлении построенных нами схематических карт поверхностных течений позднего мела (рис. 2—7) с палеобиогеографическими данными, которые являются наиболее надежными показателями палеотечений, возникло много вопросов, на которые однозначные ответы получить нам не удалось.

Анализ карт мы ограничиваем в основном Северным полушарием. Развитие поверхностных течений в позднем мелу здесь определялось двумя важнейшими особенностями палеогеографии эпохи: огромным широтно ориентированным океаном (морем) Тетис и относительно узкими меридиональными проливами.

В западной части океана Тетис, вдоль его северной периферии, получили развитие эпиконтинентальные моря, входившие в Европейскую палеобиогеографическую область. В области Тетис на протяжении позднемеловой эпохи не возникали условия устойчивого одностороннего переноса водных масс — ни западного, как предполагал В. Гордон [49], ни восточного, по реконструкциям Г. Б. Фелла [45]. Направления доминирующих течений во времени менялись, как это видно при сравнении карт для турона (рис. 2, 4) и маастрихта (рис. 3, 5).

Привлечем некоторые палеобиогеографические материалы. Позднемеловые белемнителлиды возникли в морях европейской части ЕПО [17, 51—53]. Между тем их представители известны на огромном про-

широкое распространение в пространстве этих активно плававших, ограниченных в своем расселении относительно мелководными зонами моря (пища, нерест) животных не обошлось без помощи течений.

Вид *Actinocamax* (*Praeactinocamax*) *plenus* (Blainville) зарегистрирован на всем протяжении ЕПО от Англии на западе до Мангышлака и Западного Колетдага на востоке и далее на восток, уже за пределами ЕПО — в Таджикской депрессии. Распространение вида было связано с развивавшейся очень быстро «пленусовой» трансгрессией, во время которой, по-видимому, устанавливались течения западного переноса (рис. 2, 6).

Ростры *Belemnitella* *ex* *gr.* *praecursor* (Stolley) распространены в пограничных между сантоном и кампаном отложениях ЕПО от Англии до низовьев Амударьи. Ю. А. Елецкий [52] описал единичные находки ростров вида из нижнекампанской части формации Ниобрара штата Канзас (США). Он допускал возможность проникновения вида из ЕПО в Северную Америку поперек Северной Атлантики. Если учесть, что для сантона — кампана моделируются преобладающие течения восточного переноса и при вероятном сужении Северной Атлантики, то такой вариант направления миграции вида не исключен (см. далее).

Только течениями можно объяснить феноменально широкое географическое распространение бесстебельчатых криноидей рода *Marsupites*. Их почти глобальное расселение — от Западной Австралии до Северной Америки, несомненно, связано с так называемой «марзупитовой» трансгрессией окончания сантонского века. О центре возникновения рода мы ничего не знаем. По-видимому, он был в пределах ЕПО, так как на некоторых участках этой палеобиогеографической области марзупиты многочисленны. Как и *B. ex gr. praecursor*, с которой марзупиты в Европе встречаются вместе, на запад, в Северную Америку, они проникали по струям течений восточного переноса. Но объяснить их обитание в Западной Австралии, в Южном полушарии, наши реконструкции для сантона и кампана (они здесь не приведены) не могут. Прежде всего потому, что они генерализованы. «Марзупитовая» трансгрессия была весьма скоротечной: находки остатков этих криноидей приурочены к стратиграфически весьма узкому интервалу верхнего сантона. Во время таких импульсивных трансгрессий как «пленусовая» и «марзупитовая», очевидно, устанавливался особый режим глобальных течений, требующий специального изучения.

Рассмотрим вторую особенность позднемеловой палеогеографии и ее роль в формировании поверхностных течений — меридиональные проливы. Вот они с востока на запад: проливы по обе стороны Урала (наиболее устойчивый из них — восточный, Тургайский пролив), соединявшие моря ЕПО с Арктическим бассейном, проливы западнее и восточнее Гренландии (последний — это суженная часть Северной Атлантики) и пролив на западной периферии Северо-Американской платформы (большую часть которого составляет Западный Внутренний бассейн американских авторов) от Мексиканского залива до моря Бофорта на севере.

Первая особенность проливов: на протяжении позднего мела они не были постоянными: то закрывались, то вновь открывались. Поэтому не все перечисленные проливы показаны на прилагаемых картах только для тулона и маастрихта.

По всей видимости, именно через проливы из ЕПО в Северную Америку переселились белемнителлиды первой половины позднемеловой эпохи, принадлежащие группе актинокамаксов. Актиникамаксы,



обычные и многочисленные в ЕПО, в Северной Америке встречаются редко. Намечается приуроченность единичных их находок к отложениям зоны *Collignoniceras woollgari* среднего турона (по трехчленной схеме деления яруса; к нижней части верхнего принятого у нас подъярусного деления турона) в штатах Канзас, Вайоминг, Южная Дакота, Монтана (США) и в Канаде (провинции Манитоба, Саскачеван, Британская Колумбия и далее на север вплоть до нижнего течения р. Макензи) [43, 53]. В Южной Дакоте эти отложения лежат непосредственно на докембрийских гранитах, а восточнее, в штатах Айова и Иллинойс, ростры актинокамаксов были найдены в четвертичных ледниковых отложениях [43]. Это свидетельствует о былом более широко и трансгрессивном распространении на Северо-Американской платформе верхнетуронских осадков. Заметим, что и на многих участках Восточно-Европейской платформы верхний турон трансгрессивен.

Еще более редки находки актинокамаксов в послетуронских отложениях Северной Америки. Ростры *Actinocamax cobbani* Christensen происходят из той части формации Ниобрара штатов Монтана и Вайоминг, которую сопоставляют с серединой коньякского яруса [41]. Из более высоких горизонтов формации Ниобрара Ю. А. Елецкий [53] описал и изобразил два мелких ростра, которые по внешним очертаниям весьма близки к *Actinocamax laevigatus* Arkhangelsky — руководящему виду «птериевых слоев» нижнего кампана Восточно-Европейской платформы. Находки ростров белемнитов на западном и восточном побережьях Гренландии [16, 42] позволяют рассматривать пути их миграции из ЕПО через проливы в Арктический бассейн и далее на запад наиболее вероятными [51, 53].

В пользу возможного плаванья белемнитов в холодных и несколько опресненных арктических водах свидетельствуют их основные ареалы обитания в морях ЕПО, т. е. в северной, наиболее холодной части области Тетис, и их способность переносить понижение солености воды обитания. Поэтому не исключено, что вторым возможным вариантом перемещения *V. ex gr. praecursor* мог быть также путь через проливы.

На основании пересмотра имеющихся материалов по позднемеловым белемнитам Северной Америки В. К. Кристенсен [41] заключил, что подавляющая часть известных видов представлена эндемиками, не образующими непрерывных эволюционных линий. Их происхождение связано с кратковременными проникновениями в моря Северной Америки популяций европейских видов. Можно добавить, что такие кратковременные миграции, очевидно, происходили при открытых проливах в результате высокого стояния уровня Мирового океана (см. далее).

Убедительное доказательство большой роли меридиональных проливов в межбассейновом расселении организмов недавно получил Л. А. Несов [19—21]. По его данным, остатки нелетающих птиц *Nesperornis* ныне известны из Северной Америки (США, Канада) и Евразии (Швеция, Россия и Северный Казахстан). Меридиональные проливы были не только путями расселения этих птиц, но и благоприятной средой их обитания. Для нашей темы важен факт находок остатков гесперорнисов и белемнителл в Канзасе из отложений формации Ниобрара.

Привлекает внимание характер циркуляции в проливах. Вдоль их западных берегов течения направлены с севера на юг, а вдоль восточных — в противоположном направлении — с юга на север. Таким образом через проливы осуществлялся обмен организмами южного и северного обитания, но с признаками как эвритермности, так и эврига-

литности. В проливах пролегалли пути миграции активно перемещавшихся форм и течениями переносились планктонные организмы.

На протяжении позднемеловой эпохи проливы не были постоянными (за исключением Северо-Атлантического соединения). Они то открывались, то закрывались, а на их замыканиях возникали заливы: на северных — Арктического бассейна, на южных — тетических морей. На примере Тургайского пролива Г. Н. Папулов [23, с. 172] показал, что находки в проливе бореальной микрофауны турона и сантонских тригоний южного облика еще не являются доказательством морского соединения север — юг. Не исключено, что в разные моменты позднемеловой истории региона появлялись заливы: в туроне Западно-Сибирского моря, а в сантоне — моря Туранской плиты.

Помимо действия тектонического фактора (региональные и локальные поднятия и опускания), их функционирование, несомненно, зависело от эвстатических колебаний уровня Мирового океана. Свободные межбассейновые соединения возникали при крупных трансгрессиях. Это доказывается характером распространения белемнитов. Их представители получили возможность проникнуть в Северную Америку во время крупных трансгрессий: в позднем туроне и раннем кампане («птериевая» трансгрессия). Во время высокого стояния уровня Мирового океана облегчались как активные миграции, так и особенно пассивный перенос течениями. Так, с «пленусовой» трансгрессией связано не только широкое распространение *A. (P.) plenus*, но и ряд других особенностей рубежа сеноман/турон: развитие аноксии и положительный экскурс значений  $\delta^{13}\text{C}$  [18]. «Марзупитовая» трансгрессия обеспечила необычайно широкое распространение свободно перемещавшихся марзупитов прежде всего, вероятно, в результате раскрытия неизвестных нам межбассейновых связей.

## Заключение

Приведенные предварительные результаты — лишь первый этап начатых нами исследований по реконструкции течений мелового периода. Основное, что мы считаем необходимым подчеркнуть в заключении: в дальнейшем в этих исследованиях должно быть совместно задействованы как модельные реконструкции, так и геологические материалы.

Модельные реконструкций не должны сводиться к восстановлению только поверхностных течений. Они должны быть дополнены воссозданием глубинной вертикальной циркуляции. На наш взгляд, моделирование может внести существенный вклад в решение проблемы распределения в прошлом зон апвеллинга и даунвеллинга. Первостепенное значение при этом имеют данные об эвстатических колебаниях уровня Мирового океана. Значение смены типов вертикальной циркуляции в балансе тепла планеты и формировании климатических условий недавно подчеркнул Л. А. Несов [19]. Должен быть снят ряд упрощающих допущений, о которых упоминалось в начале статьи.

Из привлекаемых геологических материалов, как и ранее, ведущими должны быть биогеографические данные о расселении морских организмов. Должны быть проведены «инвентаризация» и переоценка так называемых холодноводных (бореальных) и тепловодных (средиземноморских) групп биоты. Это позволит подойти к выявлению холодных и теплых течений, что особенно важно при несомненной огромной роли в меловой палеогеографии меридиональных проливов. Вероятно, несколько неожиданным оказывается вывод о том, что при

реконструкциях межбассейновых течений ценную информацию могут доставлять не строго стенофацциальные формы, а организмы с признаками как эвритермности, так и стенотермности. Только в ходе регионально-геологических исследований можно получить представления о донных течениях (по ориентировке удлиненных органических остатков, по знакам ряби, типам слоистости и т. п.), что необходимо для создания не столько общей системы циркуляции, сколько для получения региональных и локальных схем течений.

Разумеется, расшифровка палеотечений не может быть надежно осуществлена без привлечения данных о трансгрессиях и регрессиях и связанных с ними геохимических событий (развития бескислородных условий, накопления  $C_{org}$ , вариаций изотопного состава углерода и кислорода).

С проблемой эвстатических колебаний уровня, с трансгрессиями и регрессиями самым непосредственным образом связано получение основополагающих для проведения палеореконструкций течений документов, — вероятно, более детальных палеогеографических карт (как фиксистских, так и мобилистских) для возможно более точно фиксированных моментов геологического прошлого. Используемые нами карты мы рассматриваем как грубо ориентировочные, прикидочные.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Архангельский А. Д. Верхнемеловые отложения востока Европейской России//Мат-лы для геологии России. 1912. Т. 25. 631 с.
2. Архангельский А. Д. Введение в изучение геологии Европейской России. Ч. 1. М., 1923. 145 с.
3. Архангельский А. Д. Геологическое строение СССР. Западная часть. Вып. 1. М.; Л., 1934. 427 с.
4. Балабанова Т. Ф., Галеркина С. Г., Грибков В. В. и др. Фации мезо-кайнозой западной части Западно-Сибирской низменности//Тр. ВНИГРИ. 1959. Вып. 140. С. 183—227.
5. Веклич М. Ф. Проблемы палеоклиматологии. Киев, 1987. 189 с.
6. Вительс Л. А. Влияние циклов солнечной активности разной длительности на некоторые характеристики атмосферных процессов//Тр. Всесоюз. науч. метеор. совета. 1963. Т. 3.
7. Волков Ю. В. Солнечная активность и климатическая зональность//Бюл. МОИП. Отд. геол. 1990. Т. 65, вып. 3. С. 108—115.
8. Волков Ю. В. Климатическая изменчивость и геохронология//Бюл. МОИП. Отд. геол. 1994. Т. 69, вып. 2. С. 128—139.
9. Галеркина С. Г., Везенинова Т. А., Чирва С. А. Итоги изучения фаций и палеогеографии мезо-кайнозой для прогноза нефтегазоносных толщ на севере Зап. Сибири//Геол. и нефтегаз. севера Зап. Сибири. Л., 1963. С. 121—167.
10. Герасимов П. А., Мигачева Е. Е., Найдин Д. П. и др. Юрские и меловые отложения Русской платформы. М., 1962. 195 с.
11. Дрейк Ч., Имбри Дж., Кнаус Дж. и др. Океан сам по себе и для нас. М., 1982. 470 с.
12. Дроздов О. А., Васильева В. А., Кобышева Н. В. и др. Климатология. Л., 1989. 568 с.
13. Кузьминская К. С., Ясаманов Н. А. Реконструкции поверхностных течений Мирового океана в позднемеловую эпоху и в кайнозой//Океанология. 1985. Т. 25, вып. 6. С. 975—982.
14. Лазарев П. П. Работы по моделированию океанских течений и по теории изменения климата (1925—1929). Соч. Т. 3. М.; Л., 1950. С. 201—228.
15. Левитан М. А., Сеидов Д. Г. О реконструкции палеоциркуляции вод Индийского океана//ДАН СССР. 1989. Т. 39, № 4. С. 973.
16. Найдин Д. П. Морфология и палеобиология верхнемеловых белемнитов. М., 1969. 392 с.
17. Найдин Д. П. Стратиграфическое и географическое распространение позднемеловых белемнитид//Пробл. стратиграфии и историч. геол. М., 1978. С. 56—70.
18. Найдин Д. П., Кияшко С. И. Геохимическая характеристика пограничных отложений сеноман/турон Горного Крыма. Ст. 2. Изотопный состав углерода и кислорода; условия накопления органического углерода//Бюл. МОИП. Отд. геол. 1994. Т. 69, вып. 2. С. 59—74.

19. Несов Л. А. Значение смен вертикальной циркуляции в океане для исторических перемен в планетарном балансе тепла, региональном климате и биосе//Вестн. С.-Петербург. ун-та. 1992. Сер. 7. Вып. 1 (№ 7). С. 3—10.
20. Несов Л. А. Нелетающие птицы меридиональных морских проливов позднего мела Сев. Америки, Скандинавии, России и Казахстана как показатели особенностей океанической циркуляции//Бюл. МОИП. Отд. геол. 1992. Т. 67, вып. 5. С. 78—83.
21. Несов Л. А., Ярков А. А. Гесперорнисы в России//Рус. орнитол. журн. 1993. Т. 2, вып. 1. С. 37—54.
22. Нешиба С. Океанология. Современные представления о жидкой оболочке Земли. М., 1991.
23. Папулов Г. Н. Биостратиграфия верхнемеловых отложений района//Верхнемел. отлож. Юж. Зауралья (р-н Верх. Притоболья). Свердловск, 1990. С. 154—173.
24. Полтараус Б. В., Кислов А. В. Климатология (палеоклиматология и теория климата). М., 1986. 144 с.
25. Предтеченский П. П. Климаты геологического прошлого и схема зависимости их от изменений солнечной активности//Тр. Глав. геофиз. обсерватории. 1948. Вып. 8 (№ 70). С. 8—29.
26. Седов Л. И. Механика сплошной среды. М., 1970. Т. 2. 568 с.
27. Сеидов Д. Г. Модель глобальной циркуляции вод в океанах//Изв. АН СССР. Физ. атм. и океана. 1984. Т. 20, № 4. С. 287—296.
28. Сеидов Д. Г. История Бол. Южного кольца//Природа. 1986. № 3. С. 12—22.
29. Сеидов Д. Г., Еникеев В. Х. Численное моделирование палеоциркуляции Мирового океана//27-й Международ. геол. конгр. Москва, 1984. Палеоокеанология. Кол. 03. Докл. М., 1984. Т. 3. С. 112—124.
30. Умова Л. А., Цаур Г. И., Шатров В. П. Палеогеография восточного склона Урала и Зауралья в меловое и палеоценовое время. Свердловск, 1968. 84 с.
31. Флерова О. В., Гурова А. Д. Новые данные по стратиграфии и палеогеографии верхнемеловых отложений Ульяновско-Саратовского Поволжья и среднего течения р. Дон//Тр. ВНИГНИ. 1956. Вып. 7. С. 145—165.
32. Шварцбах М. Климаты прошлого. М., 1955. 284 с.
33. Шокальский Ю. М. Океанография. 2-е изд. Л., 1959. 537 с.
34. Эйгенсон М. С. Солнце, погода и климат. Л., 1963. 275 с.
35. Arx W. S. von. A laboratory study of the wind-driven ocean circulation//Tellus. 1952. Vol. 4, N 4. P. 311—318.
36. Barron E. J. A warm, equable Cretaceous: the nature of a problem//Earth Sci. Revs. 1983. Vol. 19. P. 305—338.
37. Barron E. J. Numerical climate modeling, a frontier in petroleum source rock prediction: results based on Cretaceous simulations//Bull. Am. Ass. Petroleum Geol. 1985. Vol. 69, N 3. P. 448—459.
38. Barron E. J., Peterson W. H. Model simulation of the Cretaceous ocean circulation//Science. 1989. Vol. 244, N 4905. P. 684—686.
39. Barron E. J., Washington W. M. Cretaceous climate: a comparison of atmospheric simulation with the geologic record//Palaeogeogr. Palaeoclimatol. 1982. Vol. 40, N 1—3. P. 103—133.
40. Berggren W. A., Hollister C. D. Biostratigraphy and history of circulation of North Atlantic//Bull. Am. Ass. Petroleum Geol. 1971. Vol. 55. P. 331.
41. Christensen W. K. Actinocamax cobbani n. sp. from the Coniacian of Montana and Wyoming and the occurrence of Late Cretaceous belemnites in North America and Greenland//J. Pal. 1993. Vol. 67, N 3. P. 434—446.
42. Christensen W. K., Hoch E. Actinocamax cf. manitobensis from the Kangerdlugssuaq area, southern East Greenland//Bull. Geol. Soc. Denmark. 1983. Vol. 32. P. 33—42.
43. Cobban W. A. Occurrence and significance of the Middle Turonian (Upper Cretaceous) belemnite Actinocamax in central western Montana//Bull. US Geol. Survey. 1991, N 1962. P. 21—26.
44. Ernst E., Schmid F., Seibert E. Event-Stratigraphie im Cenoman und Turon von NW-Deutschland//Zitteliana. 1983. Bd 10. S. 531—554.
45. Fell H. B. Cretaceous and Tertiary surface currents of the oceans//Oceanogr. and Mar. Biol. Ann. Rev. 1967. Vol. 5. P. 317—341.
46. Frakes L. A. Climate throughout geologic time. New York — Amsterdam. Elsevier. 1979. 310 p.
47. Funnell B. M. Global and European Cretaceous shorelines, stage by stage. R. N. Ginsburg, B. Beaudoin (eds.), Cretaceous Res., Events, Rhythms, 1990. P. 221—235.
48. Furon R. Elements de paleoclimatologie. Paris, 1972. 240 p.
49. Gordon W. A. Marine life and ocean surface currents in the Cretaceous//J. Geol. 1973. Vol. 81, N 3. P. 269—284.

50. Hilbrecht H., Hubberten H.-W., Oberhansli H. Biogeography of planktonic foraminifera and regional carbon isotope variations: productivity and water masses in Late Cretaceous Europe//Palaeogeogr. Palaeoc. Palaeoecol. 1992. Vol. 92. P. 407—421.

51. Jeletzky J. A. Actinocamax from the Upper Cretaceous of Manitoba//Canada Depart. Min. Techn. Surveys. Geol. Survey Bull. 1950. N 15. P. 1—27.

52. Jeletzky J. A. Belemnitella praecursor, probably from the Niobrara of Kansas and some stratigraphic implications//J. Pal. 1955. Vol. 29, N 5. P. 876—885.

53. Jeletzky J. A. Actinocamax from the Upper Cretaceous Benton and Niobrara Formations of Kansas//J. Pal. 1961. Vol. 35, N 3. P. 505—531.

54. Luyendyk B. P., Forsyth D., Phillips J. D. Experimental approach to the paleocirculation of the oceanic surface water//Bull. Geol. Soc. America. 1972. Vol. 83, N 9. P. 2649—2664.

55. Meyerhoff A. A. Continental drift: implications of paleomagnetic studies, meteorology, physical oceanography and climatology//J. Geol. Vol. 78, N 1. P. 1—51.

56. Parrish J. T. Upwelling and petroleum source beds, with reference to Paleozoic//Bull. Am. Ass. Petroleum Geol. 1982. Vol. 66, N 6. P. 750—774.

Московский  
государственный университет

Поступила в редакцию  
15.02.94

## CLIMATIC ZONES VARIATION AND SURFACE OCEANIC CURRENTS IN CRETACEOUS PERIOD

*Yu. V. Volkov, D. P. Naidin*

The variations of solar activity in the past changed the climatic zonality and position of high and low atmospheric pressure zones. As a result a latitudinal displacement of trade-wind belts and currents occurred. On this basis a set of maps was developed for each stage of Upper Cretaceous. The paper describes the maps for Turonian and Maastrichtian. Important role in reconstructions belongs to currents of Tethys and longitudinal seaways which connected it with Arctic basin.