

УДК 551.583

ГЛОБАЛЬНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА В СВЯЗИ С ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЕМ НАЗЕМНОЙ БИОМАССЫ

© 1999 г. В. А. Красилов

Представлено академиком Б.С. Соколовым 21.01.98 г.

Поступило 22.01.98 г.

Перераспределение углерода между биосферным и атмосферным резервуарами рассматривается как одна из основных причин климатических изменений, однако количественная сторона этих процессов еще слабо изучена. Так, существуют значительные противоречия в оценке биосферного фактора специалистами по четвертичной климатологии [1]. Представляется, что эта проблема не может быть решена без привлечения материалов по более ранним этапам эволюции биосферы, характеризующим ее состояние в безледниковые периоды. Ниже будет показано, что распределение биомассы в такие периоды существенно отличалось от современного.

Особый интерес в этом отношении представляет причинная связь между климатом и колебаниями уровня Мирового океана. Эпиконтинентальные моря сокращают площадь, занятую наземной биотой, до 45% во время максимальных меловых трансгрессий [2], одновременно расширяя область морской биоты. Однако поскольку наземная биомасса во много раз превышает морскую, то происходит общее сокращение биомассы. Попытаемся дать количественную оценку этих процессов.

В качестве основы для такого рода построений предлагается схема основных биомов прошлого, сопоставимых с современными биомами (по классификации ЮНЕСКО [3]). Наземный биом представляет собой наиболее крупный выдел биосферы, характеризующийся единством структуры растительного покрова и его сезонной динамики в исторической и функциональной связи с климатом и потреблением фитомассы. Основные особенности биомов – преобладающие жизненные формы основных продуцентов, биотические взаимодействия и сезонность – могут быть с различной степенью достоверности воссозданы по палеоэкологическим и тафономическим данным.

В силу существующих тесных взаимозависимостей климатические параметры могут быть реконструированы на основе распределения биомов и наоборот. Так, экваториальная область с двумя пиками увлажнения зимой и летом точно соответствует

ареалу влажнотропических лесов, зона зимневлажного климата – средиземноморской жестколистной растительности, летневлажная зона – умеренным хвойно-широколиственным лесам и т.д.

Реконструкция биомов мелового периода (табл. 1, рис. 1) основана на анализе 50 местонахождений, расположенных в различных широтных зонах. Материалы автора по Южному Приморью, Сахалину, Буреинскому бассейну, Забайкалью, Западному Казахстану, Монголии, Крыму и многочисленные литературные данные указывают на ксероморфный характер растительности между 50° с.ш. и экватором (в современных широтах, для позднего мезозоя мало отличающихся от палеоширот основных массивов суши) с преобладанием брахифиллов – конифероидных растений (хвойные, гнетофиты и конвергентно сходные с ними группы) с чешуевидными листьями [4] и с середины мелового периода ксероморфных покрытосеменных. Для всех этих растений независимо от систематического положения характерны кожистая консистенция листьев, толстая кутикула, опушенность (в случае беннетитов развитие войлочного слоя из многоклеточных волосков), низкий устьичный индекс. Подобная конвергенция листовых признаков вообще характерна для ксероморфной растительности летнесухого климата. Палинологически ксероморфная зона характеризуется преобладанием Classopollis, стриятных и элатеревых морфотипов [5].

Имеющийся материал не дает оснований говорить о развитии в течение мела вплоть до заключительных этапов каких-либо аналогов современных влажнотропических лесов [2, 6, 7]. Вообще дифференциация биомов в пределах широкой зоны ксероморфной растительности представляется незначительной, с преобладанием монодоминантных группировок в экваториальных и субэкваториальных местонахождениях и постепенным переходом к полидоминантности с одновременным увеличением разнообразия к средним широтам, позволяющим предварительно выделить биомы сухой кустарниковой растительности и редколесий средиземноморского типа. Границы между ними пока более или менее условны.

Угленакопление в пределах этих биомов не столь значительно, как в высоких широтах, причем

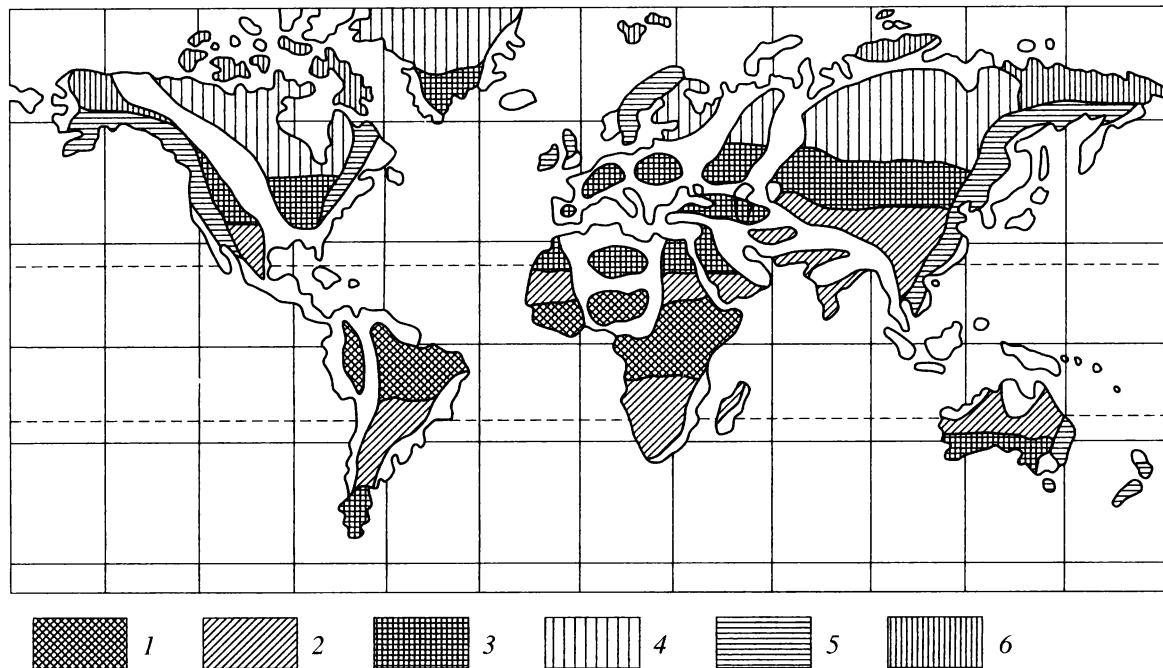


Рис. 1. Распределение основных биомов во время максимальных меловых трансгрессий. 1 – ксероморфный чешуелистный; 2 – ксероморфный жестколистный; 3 – ксеромезоморфный хвойно-лавровый; 4 – мезоморфный феникопсисовый, хвойно(гинкго)-широколиственный; 5 – мезоморфный разнохвойный; 6 – мезоморфный хвойно-мелколистный.

экваториальные угольные месторождения (бассейн Нигер-Бенуэ) появляются в связи с развитием влажнотропической растительности лишь к концу мелового периода.

Высокоширотные биомы характеризовались преобладанием мезофильных морфотипов вегетативных органов. Наиболее характерная черта этой зоны – остатки листовых матов, образующихся в результате сезонного листопада. В мезозое большинство доминирующих древесных растений высо-

коширотных биомов были веткопадными – сбрасывали не отдельные листья, а побеги с укороченным ростом (сейчас веткопадные деревья составляют лишь небольшую часть доминантов умеренных лесных формаций). Такой характер захоронений сохраняется вплоть до конца мела несмотря на изменения состава флористических группировок.

Именно тафономические различия позволяют достоверно провести границу между зонами летне-сухого и летневлажного климата. Стоит отметить

Таблица 1. Характеристика основных биомов середины мелового периода

Биом	Характерное сообщество	Жизненные формы	Разнообразие	Сезонность фитомассы
Ксероморфный чешуелистный	Ephedro-Classopollietum, Classo-Afropollietum	Чешуелистные кустарники и кустарнички	Низкое	Зимнезеленая
Ксероморфный жестколистный	Classopollietum, Ptilophylletum, Debeyo-Brachyphylletum	Толстоствольные беннетиты, жестколистные деревья и кустарники	Умеренное	Вечнозеленая с зимнезелеными компонентами
Ксеромезоморфный хвойно-лавровый	Lauro-Geinitzietum	Хвойные и лавровые деревья и кустарники	Высокое	Вечнозеленая с зимнезелеными компонентами
Мезоморфный разнохвойный	Cupresso-Sequoietum	Хвойные деревья	Высокое	Вечнозеленая с летнезелеными компонентами
Мезоморфный хвойно(гинкго)-широколиственный	Ginkgo-Phoenicopsietum, Platano-Parataxodietum	Веткопадные гинкгоморфные, хвойные и широколиственные деревья	Умеренное	Летнезеленая
Мезоморфный хвойно-мелколистный	Nullsonio-Pityophylletum, Trocho-Parataxodietum	Хвойные, мелко- и широколиственные деревья и кустарники	Умеренное	Летнезеленая с вечнозелеными компонентами

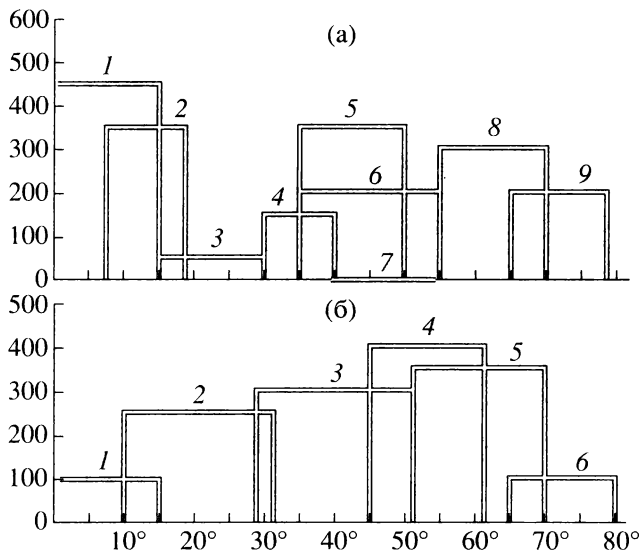


Рис. 2. Широтное распределение биомассы (содержание углерода в растительности и почве, $10^9 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$). а – современные биомы, по [3]: 1 – влажнотропические леса, 2 – тропические редколесья, саванны, 3 – тропические полупустыни, пустыни, 4 – умеренные вечнозеленые леса и жестколистное сообщества средиземноморского типа, 5 – широколиственные леса, 6 – степи, среднеширотные полупустыни, пустыни, 7 – влажнохвойные леса, 8 – тайга, 9 – тундры и арктические пустыни; б – меловые биомы: 1 – ксероморфный чешуелистный, 2 – ксероморфный жестколистный, 3 – ксеромезоморфный хвойно-лавровый, 4 – мезоморфный разнохвойный, 5 – мезоморфный хвойно-широколиственный, 6 – мезоморфный хвойно-мелколиственный.

также, что в высокоширотной зоне часто встречаются листовые угли, тогда как угольные пласты со смоляными тельцами, а также листовая фюзен, признак частых лесных пожаров, характерны для летнесухой зоны.

Дифференциация по количественному участию таксодиевых и экологически близких к ним групп, характерных для влажных хвойных лесов, современные аналоги которых распространены в пределах Тихоокеанского кольца, позволяет наметить границу хвойно-широколиственного и влажнохвойного биомов. Признаками последнего могут служить, наряду с составом и количественным участием остатков хвойных, увеличение диаметра ископаемых стволов деревьев и повышенная угленосность. Крупнейшие угольные бассейны позднемеловой эпохи, расположенные на северо-востоке Азии и западе Северной Америки, приурочены к этому биому.

В северной части умеренной зоны также отчетливо выражено доминирование хвойных, но таксономический состав их гораздо беднее, и они представлены по преимуществу листопадными (веткопадными) формами. Наряду с этим возрастает роль *Trochdendroides* и чаще встречаются цикадофиты, свидетельствующие о разреженном

характере древостоя. Эта зона редколесий может рассматриваться как особый биом, граница которого с биомом сомкнутых хвойно-широколиственных лесов представляется весьма размытой.

В первом приближении для биомов прошлого может быть принято удельное содержание углерода в растительности и почве аналогичных современных биомов [8]. Методическим аргументом такого рода экстраполяции служит сходство показателей биомассы современных растительных сообществ, различающихся по систематическому составу, но сходных по спектру жизненных форм (например, жестколистных кустарниковых, травянистых, вечнозеленых и листопадных лесных формаций Евразии, Северной Америки и Австралии). Суммарная биомасса биомов подсчитана по их экстраполированной удельной биомассе и площади на соответствующей палеогеографической карте. Расчеты выполнены для современной площади суши и для пика меловых трансгрессий.

Основные выводы сводятся к следующему.

1. Распределение биомассы с одним пиком, смещенным к высоким широтам, принципиально отличается от современного с двумя пиками в экваториальном и умеренном лесном биоме (рис. 2).

2. При замене современных биомов меловыми без учета сокращения суши суммарное содержание углерода в биомассе возрастает до $2421 \cdot 10^9 \text{ т}$, или почти на 20%, по сравнению с современным (сокращение суши меняет картину, см. ниже). Этот результат кажется парадоксальным, поскольку при увеличении содержания углерода в биосфере происходит соответствующий сток CO_2 из атмосферы, приводящий к снижению среднеглобальной температуры. Следовательно, при прочих равных условиях так называемая теплая биосфера по среднеглобальной температуре могла быть холоднее “холодной биосферы”. Впечатление более теплого климата могло быть обусловлено более равномерным распределением тепла по земной поверхности. Эти изменения сопровождались глобальным перераспределением биомассы со смещением ее максимальной концентрации в том же направлении.

3. Геологические данные позволяют в большей степени судить о контрастности климатических зон, чем о таких общих показателях, как среднеглобальная температура. Поэтому в отношении климатов прошлого предпочтительно говорить не о теплых и холодных эпохах, а скорее об эпохах контрастного и равномерного климата.

4. Замещение биомы влажнотропических лесов ксероморфной растительностью могло быть связано с более высокой, чем в настоящее время, температурой поверхностных вод Тихого океана в меловом периоде. Известно, что аномальное потепление поверхностных вод в низких широтах (Эль-Ниньо) вызывает ослабление летних муссонов и резкое сокращение осадков в области развития влажнотропических лесов [9]. Эти явления

Таблица 2. Содержание углерода в растительности и почве основных биомов середины мелового периода, рассчитанное по их площадному распространению и удельной биомассе современных аналогов

Биомы середины мелового периода	Современные аналоги	Удельное содержание углерода, т · га ⁻¹ , для современных аналогов [1, 6]	Площадь меловых биомов, 10 ⁶ км ²	Общее содержание углерода, 10 ⁹ т, для меловых биомов
Ксероморфный чешуелистный	Колючекустарники, кустарниковые редколесья	100	12.8	128
Ксероморфный жестколистный	Тропические сухие редколесья	135	20.4	275.4
Ксеромезоморфный, хвойно-лавровый	Вечнозеленые умеренные леса	330	11.2	369.6
Мезоморфный разнохвойный	Влажнохвойные леса	656	6.5	426.4
Мезоморфный хвойно(гинкго)-широколиственный	Широколиственные листопадные леса	290	12.9	374.1
Мезоморфный хвойно-мелколиственный	Хвойные редколесья	177	6.2	109.7

Суммарное содержание углерода в наземной растительности и почве – 1683.2 · 10⁹ т.

Суммарное сокращение наземной биомассы по сравнению с современной (около 2039 · 10⁹ т) – 355.8 · 10⁹ т.

Приток CO₂ в атмосферу за счет сокращения наземной биоты (из расчета 0.47 ppm на 10³ т углерода) – 167.2 ppm.

сопровождаются сокращением продуктивности тропической растительности и колебаниями содержания CO₂ в атмосфере. Одновременные колебания изотопного состава углерода свидетельствуют о том, что основным источником дополнительной CO₂ был ее приток из биосферы [10].

5. Наземная биомасса в эпохи максимальных трансгрессий была существенно меньше рассчитанной для современной площади суши (пункт 1). Однако при смене трансгрессивных и регрессивных фаз эвстатических циклов наземная биомасса претерпевала колебания, зависящие не только от прироста или сокращения площади суши, но и от широтного распределения биомов и относительно развития эпиконтинентальных морей, связанных с арктическими или тетическими бассейнами. Материалы для определения суммарной биомассы наземных биомов эпохи максимальной средне меловой трансгрессии (рис. 1) сведены в табл. 2.

Полученные величины указывают приблизительно на 20-процентное сокращение углерода в биоте и почве, которому соответствует увеличение концентрации CO₂ в атмосфере на 60% от современного уровня. В действительности сокращение биомассы могло быть несколько меньшим, поскольку не учтены интерзональные сообщества и возможный прирост суши за счет поднятия шельфов Арктического бассейна и северной Пацифики. Данные о концентрации атмосферной CO₂ в меловом периоде, полученные на основе частных показателей: устьичного индекса, изотопного состава углерода ископаемой почвы и др., – не противоречат этим выводам, хотя биота,

разумеется, не была единственным регулятором газового состава атмосферы.

6. Реальный вклад биотического фактора может быть косвенно оценен по колебаниям изотопного состава углерода в ископаемых почвах и морских карбонатных отложениях. На основных стратиграфических рубежах, которые одновременно являются и основными рубежами эволюции климата, как правило, наблюдаются значительные колебания δ¹³C, указывающие на кратковременные нарушения баланса между изотопным составом углерода атмосферы и океана в результате поступления обедненного изотопом ¹³C из биотического резервуара.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Adams J.M., Faure H., Faure-Denard L. et al. // Nature. 1990. V. 346. P. 711–715.
2. Красилов В.А. Меловой период. Эволюция земной коры и биосферы. М.: Наука, 1985.
3. UNESCO International Classification and Mapping of Vegetation. P., 1973.
4. Красилов В.А. // Палеонтол. журн. 1997. № 2. С. 3–12.
5. Hengreen G.E.W., Chlonova A.F. // Pollen et spores. 1981. V. 23. P. 441–555.
6. Вахрамеев В.А. Юрские и меловые флоры и климаты Земли. М.: Наука, 1988.
7. Чумаков Н.М., Жарков М.А., Герман А.Б. и др. // Стратиграфия. Геол. корреляция. 1995. Т. 3. № 3. С. 42–63.
8. Neftel A.H., Oeschger J., Schwander B. et al. // Nature. 1982. V. 295. P. 220–223.
9. Ropelewski D.F., Halpert M.S. // J. Climate. 1989. V. 2. P. 268–284.
10. Siegenthaler U. // Nature. 1990. V. 345. P. 295–296.