

Климатические изменения: предотвратить или приспособиться?

В. А. Красилов



Валентин Абрамович Красилов, доктор геолого-минералогических наук, профессор, директор Института охраны природы и заповедного дела. Научные интересы связаны со стратиграфическими и палеонтологическими исследованиями, проблемами экологии и биологической эволюции. Автор ряда монографий, в том числе: *Палеоэкология наземных растений* (Владивосток, 1972), *Palaeoecology of Terrestrial Plants* (New-York, 1975); *Эволюция и биостратиграфия* (М., 1977); *Нерешенные проблемы теории эволюции* (Владивосток, 1986).

ИНТЕРЕС к проблеме глобальных климатических изменений возрастает в преддверии Конференции ООН по окружающей среде и развитию (Рио-де-Жанейро, июнь 1992 г.), на которой должна быть подписана конвенция по климатическим изменениям. Конвенция в той форме, которую она принимает в ходе работы Межправительственного комитета, в свою очередь опирающейся на доклады Международного пленума по климатическим изменениям и Всемирного метеорологического конгресса, потребует существенной перестройки экономики как развитых, так и развивающихся стран, изменения структуры энергетики и многомиллиардных затрат. В основе этих действий лежит представление о глобальном потеплении в результате выброса в атмосферу техногенных парниковых газов, в первую очередь диоксида углерода (CO_2).

Парниковый эффект — разогревание нижних слоев атмосферы — возникает в результате поглощения части теплового излучения поверхности Земли молекулами углекислого газа, водяного пара, метана, хлорфторуглеродов и некоторых других газов. Хотя метан, например, дает гораздо больший парниковый эффект, чем углекислый газ, последний более устойчив в атмосфере и выбрасывается в огромных количествах — около $25 \cdot 10^{12}$ кг ежегодно — при сжигании угля, нефти и (в меньшей степени) природного газа. CO_2 поглощается гидросферой, расходуется на фотосинтез и выветривание силикатных пород, однако эти регуляторы, как полагают, не смогут справиться с техногенными выбросами. Накопление CO_2 в атмосфере приведет к потеплению, которому будут сопутствовать таяние полярных льдов, подъем уровня Мирового океана, затопление густонаселенных приморских низменностей и целых островных государств, опустынивание, иссушение основных сельскохозяйственных районов Северного полушария.

Такого рода опасения были существенно подкреплены обнаруженным в 1990 г. докладом первой рабочей группы Международного пленума по климатическим изменениям, составленным 170 авторитетными специалистами из 25 стран (и еще 200 ученых были привлечены к рецензированию

доклада). По их единодушному мнению, парниковый эффект уже дал потепление на 0,3—0,6 (0,5) °C с конца XIX в. Удвоение содержания CO₂ в атмосфере произойдет к 2035 г. Соответствующее глобальное потепление составит, по разным оценкам¹, от 1,5 до 4,5 °C, скорее всего, около 2,5 °C. К этому времени ожидается подъем уровня моря от 8 см до 29 см (около 20 см) и до 65 см к 2100 г. На обширных пространствах Евразии и Северной Америки, включая основные житницы, установится летне-сухой климат.

Для предотвращения пагубных последствий климатических изменений необходимо снизить выбросы диоксида углерода, окислов азота и хлорфторуглеродов на 60 %, метана на 20 %. Эти рекомендации, по существу, означают крутой поворот в адаптивной стратегии человека. Раньше человек боролся с холодом, теперь вынужден будет бороться с теплом. Раньше он перестраивал свою деятельность, приспособившись к изменениям среды, теперь перестраивает для сохранения status quo.

Еще до обнародования отчета М. Тэтчер выступила с заявлением о готовности Великобритании сократить выбросы парниковых газов (правда, без указания конкретных мер). Ее примеру последовали другие политические лидеры. На переговорах по климатической конвенции наиболее решительную позицию заняли Скандинавские страны, Нидерланды, Швейцария (заявившая о сокращении выбросов CO₂ на 2,5 % к 2000 г.), ФРГ, Франция, ряд других стран ЕЭС, а также организованный в срочном порядке Союз малых островных стран. Меньше энтузиазма проявили США, Канада, СССР, Япония, Саудовская Аравия. Дипломаты не могут не учитывать экономическую ситуацию в своих странах. Не следует недооценивать также давление со стороны проponentов ядерной энергетики, ожидающих от климатической конвенции мощного импульса к развитию (ядерное топливо не дает выбросов CO₂). Нас же в данном случае больше интересует научная сторона дела. Будет ли в самом деле парниковое потепление? Кажется бы, коллективное мнение множества ученых исключает сомнения на этот счет. Но ученый, переставший испытывать сомнения, одновременно и перестает быть ученым.

Научное прогнозирование предполагает ряд наблюдений, исторический материал, на основе которого можно выявить те или иные закономерности. В отличие от него оби-

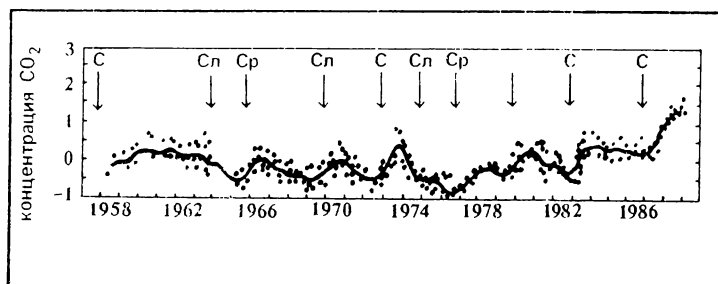
ходный прогноз представляет собой простую экстраполяцию, перенесение современной ситуации в будущее. Так, эпизодическое падение уровня Каспия до середины 70-х годов побудило лиц, принимающих решение, перенести предприятия ближе к побережью в ожидании еще большего падения в будущем. В результате современный подъем Каспия привел к многомиллиардному ущербу.

Парниковая модель климатических изменений, принимающая в качестве точки отсчета начало нынешнего века и экстраполирующая современный уровень техногенного воздействия на атмосферу без учета других факторов, относится к прогнозам последнего типа. В отличие от нее модели, опирающиеся на исторический материал, прогнозируют природные процессы, которым противостоять невозможно. К ним можно лишь приспособиться ценой больших или меньших потерь.

Урок Каспия показывает, что хозяйственная система, не приспособленная к изменениям природной среды, терпит ущерб не только от негативных, но и от потенциально позитивных изменений, которые она не способна оперативно использовать. Повышение уровня моря могло бы помочь восстановлению утраченных нерестилищ. Потепление позволило бы сократить энергозатраты и повысить продуктивность зерновых. В действительности же любое изменение оборачивается катастрофой. Оптимальная стратегия, по-видимому, заключается не в стремлении любой ценой сохранить status quo, а в адаптации хозяйственной системы к циклическим природным процессам, которые можно прогнозировать на основе исторических данных.

Известно, что в прошлом климат существенно отличался от современного и что природные климатические колебания происходили с определенной периодичностью, проявляющейся, в частности, как чередование ледниковых и межледниковых эпох. Последний ледниковый максимум датирован 18 тыс. лет назад, а мы живем в условиях межледниковья, начавшегося около 11 тыс. лет назад. На фоне этой периодичности происходят относительно кратковременные колебания, подобные малому климатическому оптимуму 1000 лет назад, малому ледниковому периоду 200—250 тыс. лет назад, и еще более мелкие вплоть до четырех-пяти- и двухлетних циклов. Это исторический материал, позволяющий прогнозировать аналогичные (хотя и не вполне идентичные) колебания в будущем. Точность прогноза зависит от качества информации о кли-

¹ См., например: Б у д ы к о М. И. Антропогенное изменение климата // Природа. 1986. № 8. С. 14—21; Г о л ы н Г. С. Парниковый эффект и изменения климата // Природа. 1990. № 7. С. 17—24.



Изменение концентрации [ppm] CO_2 в атмосфере во время Эль-Ниньо. Заметна корреляция этих колебаний с сильными [С], средними [Ср] и слабыми [Сл] тепловыми аномалиями поверхностных вод Тихого океана [по: Siegenthaler U. // Nature. 1990. V. 345. N 6273. P. 295—296].

матах прошлого, которое, как было признано на совещании «Климаты прошлого и климатический прогноз» (Москва, Институт охраны природы и заповедного дела, 1992 г.), во многих случаях оставляет желать лучшего. В московском совещании приняли участие ученые из России, Украины, Эстонии, Молдовы и Великобритании. Одна из предложенных моделей постулирует общую тенденцию к похолоданию после голоценового оптимума 5,5 тыс. лет назад. Современная ситуация приближается к малому оптимуму 1000 лет назад, после которого уже в будущем веке последует похолодание. Обсуждались и другие сценарии. Лишь в одном участники совещания были единодушны: парниковая модель не выдерживает серьезной критики.

Техногенные воздействия происходят не на статичном, а на динамичном фоне природных процессов. Около 1000 лет назад климат был теплее на $0,5\text{ }^\circ\text{C}$ — есть ли основания приписывать современное потепление того же масштаба техногенным газам? По-видимому, нет, так как 40—60-е годы, первый этап массивных выбросов CO_2 , ознаменовались заметным похолоданием. Резко возросшие техногенные выбросы 80-х, по сверхточным спутниковым измерениям за десятилетие (1979—1988 гг.), не дали парникового эффекта².

Модели парникового потепления, решая уравнение с множеством неизвестных, не принимают в расчет обратных связей между потеплением и реакцией планетарных систем атмосферы, биосферы и гидросферы — изменения облачности, продуктивности растительных сообществ, циркуляции океанических вод.

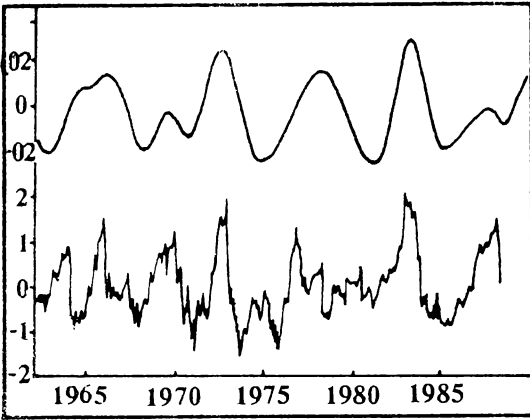
Недавно обнаружена несомненная связь между содержанием CO_2 в атмосфере и Эль-Ниньо — распространением аномально теплых поверхностных вод в Тихом океане, происходящим с периодичностью в четыре-пять лет и вызывающим аномальные

климатические явления — теплые зимы на Аляске, засухи в Африке — практически по всему земному шару. Оказалось, что в начале Эль-Ниньо концентрация CO_2 уменьшается, а затем увеличивается, превышая техногенную добавку. Спад CO_2 можно объяснить подавлением апвеллинга — подъема холодных глубинных вод, выделяющих CO_2 в атмосферу, а пик — уменьшением растворимости CO_2 при повышении температуры (альтернативный биологический механизм, предлагаемый Дж. Килингом и другими авторами, маловероятен, так как временной интервал колебаний CO_2 недостаточен для ощутимой реакции биосферы).

Дальнейшим подтверждением роли океанической циркуляции как основного регулятора содержания CO_2 в атмосфере явились ряды наблюдений, показывающих не только хорошую корреляцию CO_2 с температурой, но и запаздывание колебаний CO_2 на четыре месяца по отношению к температуре поверхностных вод и на один месяц по отношению к температуре воздуха³. Становится еще более очевидным, что в системе « CO_2 — температура» ведущий фактор — температура, а не CO_2 и что происходящее увеличение концентрации CO_2 (включая техногенный источник) объясняется потеплением, а не наоборот. Эти данные не только вносят существенные коррективы в традиционные представления о роли океана в регуляции газового состава и поддержании теплового баланса атмосферы, но и приближают нас к общему объяснению климатических колебаний. Эль-Ниньо связаны с краткопериодными изменениями скорости вращения Земли в результате гравитационных воздействий других небесных тел, которые служат пусковым механизмом волновых процессов в земных оболочках, включая Мировой океан и биосферу. Климатические прогнозы, учитывающие гравитационные воздействия, были представлены на вышеупомянутом совещании Е. П. Борисенковым и

² Spencer R. W., Christy G. R. // Science. 1990. V. 247. P. 1558—1562.

³ Marston J. B. et al // Nature. 1991. V. 349. N 6310. P. 573—574.



Колебания длительности суток (вверху; в мс) и температурные осцилляции (°С) поверхностных вод экваториальной части Тихого океана во время Эль-Ниньо. Просматривается явная корреляция этих показателей [по: Zheng D. W., Song G. X., Luo S. F. // Nature. 1990. V. 348. N 6297. P. 119].

его коллегами из Главной геофизической обсерватории им. А. И. Воейкова. Их выводы в ряде случаев подтверждаются палеоклиматологией.

Известно, что в смене климатических ситуаций ледникового периода выражены циклы прецессий, наклона эклиптики и эксцентриситета земной орбиты. Содержание CO_2 в атмосфере геологического прошлого по пузырькам воздуха в льдах Антарктиды, пробуренных на станции Восток, коррелирует с температурой ледниковых и межледниковых эпох¹. Эти данные были использованы для подтверждения парниковой модели. Однако и здесь возникает вопрос о причинах и следствиях. Поскольку техногенного источника не было, то остается биосфера, продуктивность которой в межледниковья возрастала (сток, а не приток CO_2), и океан, повышение температуры которого, по-види-

мому, и было основным источником CO_2 , как при Эль-Ниньо.

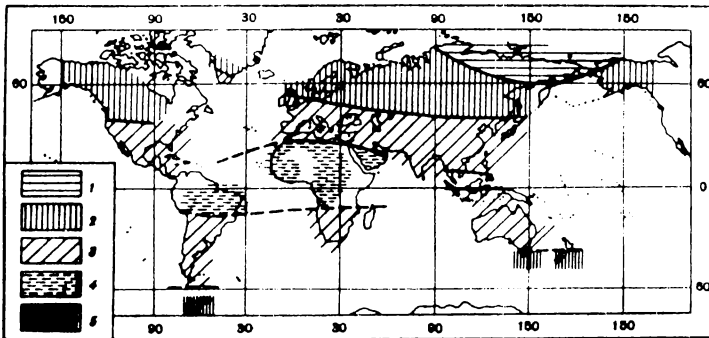
Среди более отдаленных геологических периодов определенный интерес представляет меловой — 130—65 млн. лет назад. Постоянных полярных льдов в меловом периоде не было (хотя могли быть сезонные). Составленные автором фитоклиматические схемы дают представление о климатической зональности безледниковой планеты и позволяют сделать некоторые выводы прогнозного характера. Экваториальная зона примерно в современных границах отличалась сухостью и температурой ниже современной (крайний ксероморфизм растений, хвойные в низинных растительных формациях).

Область преимущественного распространения жестколистных кустарниковых формаций, интерпретируемая как зона лете-сухого субтропического климата, простиралась до 50° с. ш. в Азии и на западе Северной Америки. На атлантическом побережье ее северная граница поднималась до 60°. Данные по годичным кольцам прироста древесины и склеритам на чешуе рыб указывают на непродолжительный сухой сезон. Вместе с тем к этой зоне приурочены самые крупные захоронения меловых динозавров, свидетельствующие о высокой продуктивности жестколистной растительности.

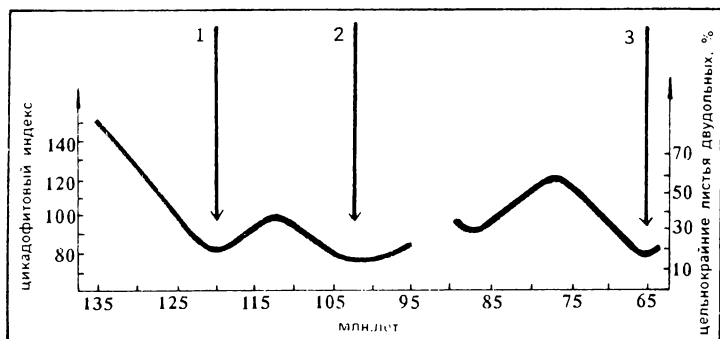
Зона листопадных лесов простиралась далеко за полярный круг, по крайней мере до 80° с. ш. В ее пределах намечалась незначительная дифференциация по содержанию теплолюбивых компонентов, причем на полярных широтах снова возрастала роль вечнозеленых растений и, судя по количеству местонахождений, численность динозавров, остатки которых известны на Шпицбергене, северной Камчатке, северном склоне Аляски.

По общей продуктивности меловая растительность едва ли существенно отличалась от современной, так как слабая об-

¹ Lorius C. et al. // Nature. 1990. V. 347. N 6289. P. 135—145.



Климатические зоны безледникового мелового периода: 1 — умеренно-холодная, 2 — умеренная Северного полушария, 3 — сухих субтропиков, 4 — экваториальная, 5 — умеренная Южного полушария [по Красиллову В. А., 1985].



Климатическая кривая мелового периода [выражена через фитоологические характеристики — циклодофитовый индекс и количество целнокрайних листьев двудольных, отражающие температурные параметры]. Холодные промежутки около 120, 100 и 65 млн. лет назад соответствуют основным фазам движений земной коры и вулканизма: Тихоокеанскому тектогенезу [1], Австралийскому [2] и Ларамийскому [3].

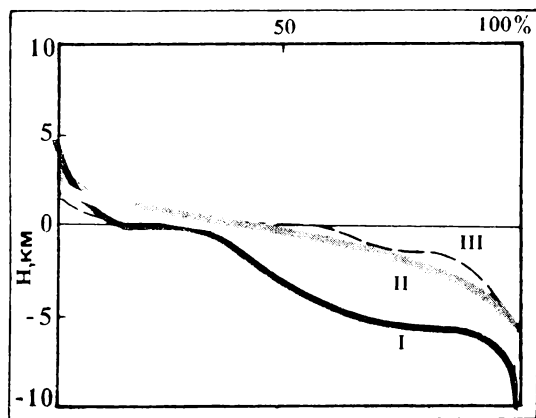
лесенность экваториальной зоны могла компенсироваться полярными лесами. Вместе с тем мощный вулканизм мелового периода, в десятки раз превышавший современную вулканическую активность, служил источником парниковых газов, не уступавшим техногенному. По парниковой модели можно предположить, что существовала прямая корреляция между температурными оптимумами и пиками вулканической активности. В действительности же корреляция оказывается обратной: основным тектоно-магматическим эпизодам соответствуют отчетливые похолодания.

Объяснение этого феномена следует, по-видимому, искать в закономерной смене термогалинного (с теплыми солеными глубинными водами) и психросферного (с холодными глубинными водами) режимов циркуляции меловых океанов в течение тектоно-магматических циклов. Фазам активизации земной коры соответствует углубление океанических впадин и развитие психросферного режима, компенсирующего парниковый эффект вулканогенных газов. В промежутках между ними мелководные моря покрывали до 65 % площади континентов.

Общая площадь эпиконтинентальных морей и низкой периодически затопляемой суши составляла около $80 \cdot 10^6$ км², а глубина их не превышала 500 м. Исходя из этого, можно рассчитать гипсометрическую кривую (распределение площадей по высотам и глубинам), которая в меловом периоде значительно отличалась от современной, приближаясь к лунной.

Поскольку форма гипсометрической кривой зависит от скорости вращения планеты (сферы и в их пределах блоки разной плотности получают различное центробежное и угловое ускорение — отсюда вертикальные и горизонтальные смещения континентальных и океанических плит, «проскальзывание» на границах земного ядра, мантии и литосферы, магматизм и инверсия магнитного поля), мы снова приходим к ротационным параметрам как пусковому механизму сопряженной эволюции земной коры, биосферы, климата, в которой изменение газового состава атмосферы — одно из второстепенных сопутствующих явлений⁵.

Монреальский протокол 1987 г., требующий половинного сокращения производства хлорфторуглеродов, предположительно разрушающих озоновый слой, положил начало крупномасштабным акциям по управлению планетарными системами. Динамика озонового слоя зависит от теплового баланса стратосферы и тропосферы. Монреальский и последующие протоколы в этом плане не имели ощутимых последствий (выиграли лишь фирмы, раньше других освоившие новые технологии). Тем не менее мировое сообщество уже готово, опустив забрало, ринуться на следующий строй ветряных мельниц. Сокращение выбросов CO₂ на 60 % обойдется примерно в $2 \cdot 10^{12}$ долл. США — не слишком ли дорогая цена за тоталитарную мечту о всецело управляемой природе?



Гипсометрическая кривая рельефа: современной земной поверхности [I], в меловом периоде [II] и поверхности Луны [III].

⁵ Подробнее см.: Красилов В. А. Меловой период. Эволюция земной коры и биосферы. М., 1985.