

# Бореальный климат в мезозое

В.А.Захаров

В рамках Международного полярного 2007–2008 года институты РАН Отделения наук о Земле получили финансовую поддержку на реализацию научной программы фундаментальных исследований «История формирования бассейна Северного Ледовитого океана и режим современных природных процессов Арктики». Одна из важнейших задач программы — исследование климатов геологического прошлого, в частности климата мезозоя, самой теплой эры в фанерозойской истории Земли. В течение 180 млн лет на нашей планете не было устойчивого ледяного покрова даже в приполярных областях. Тем не менее существовала климатическая зональность и постоянно происходили крупно- и мелкоамплитудные колебания наземного тепла и температуры вод морей и океанов. Выяснение климатических процессов представляет не только фундаментальный научный интерес, но служит ключом для прогноза поисков месторождений каустобиолитов.

## Климат в мезозое

Мезозой охватывает три периода истории Земли: триасовый (250–190 млн лет), юрский (190–145 млн лет) и меловой (145–65 млн лет). В соответствии с существующими представлениями геологов, в течение по-



**Виктор Александрович Захаров**, доктор геолого-минералогических наук, профессор, заведующий отделом стратиграфии Геологического института РАН. Специалист в области палеонтологии, стратиграфии, палеоклиматологии и палеогеографии бореального мезозоя. Заслуженный деятель науки РФ.

следних 1.1 млрд лет на Земле трижды чередовались два климатических экстремума: теплый и холодный (циклы Вильсона, рис.1). В более продолжительные теплые периоды органический мир морей и континентов характеризовался большим разнообразием растений и животных и преобладанием карбонатных осадков и эвапоритов (обогащенных солями осадочных пород). Холодные периоды, сопровождавшиеся покровными оледенениями на полюсах, отличались резким сокращением таксономического разнообразия, прежде всего в низких и умеренных широтах, и преимущественно терригенными и гляциальными осадками. На протяжении каждого цикла отмечается повторяемость (периодичность) основных геологических событий.

Указанную цикличность связывают с ростом и распадом суперконтинента Пангеи, возникшей в периоды соединения разрозненных континентов в единый материк. Тогда плейт-тектоническая активность существенно снижалась и углекислый газ не поступал в атмосферу, что способствовало возникновению холодного (ледникового) климата. Пангея изолировала тепло мантии, что приводило к усилению конвекции магмы и, как следствие, к разрушению суперконтинента на отдельные континенты меньшего размера.

В местах раскола суперплиты образовывались океанские рифты, континенты раздвигались и океанские плиты субдуцировались (пододвигались) под континентальные. Этот процесс сопровождался выбросом диоксида углерода в атмосферу, что приводило к потеплению (парниковый эффект).

Спустя многие миллионы лет континентальные плиты снова собирались в следующую Пангею, и весь цикл повторялся. Полный цикл занимает 400 млн лет. С позднего протерозоя выделяются три

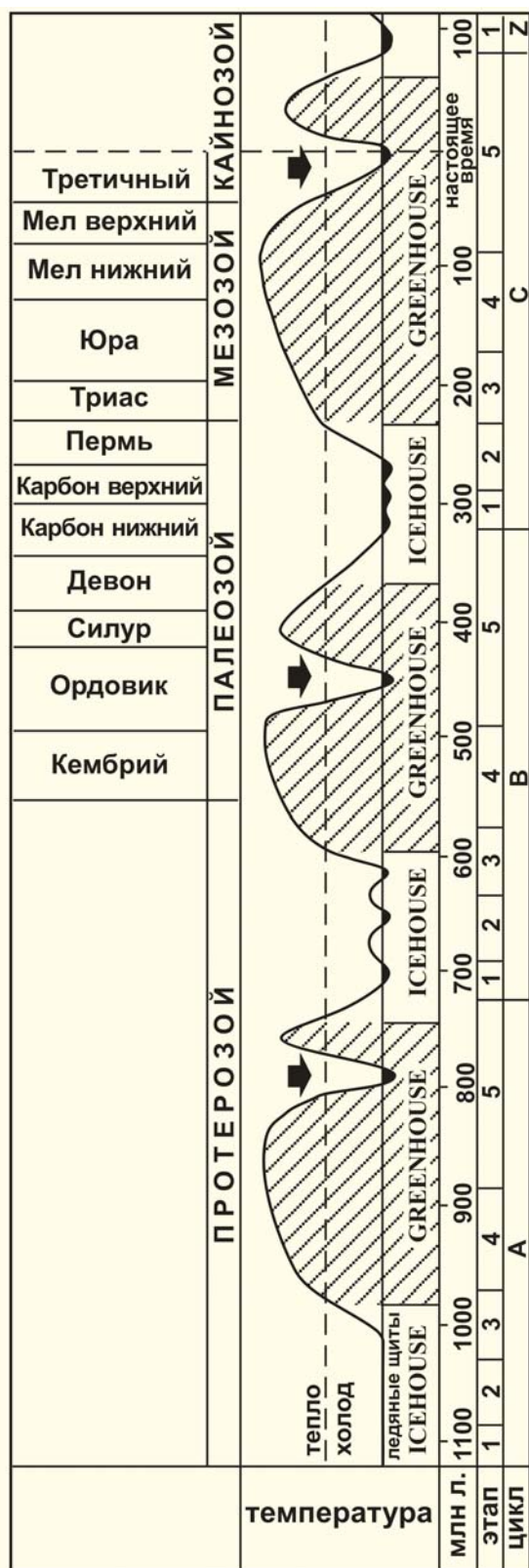


Рис.1. Ледниковые и межледниковые циклы и этапы (циклы Вильсона). Стрелкой показан малый ледниковый период, который располагается в конце каждого межледниковья (Дж. Селба, 1991).

цикла. Каждый состоял из пяти стадий: аккумуляции тепла под Пангеей, сопровождавшейся термальным подъемом континента, который фиксировался стратиграфическим перерывом; утонения коры, обусловленного формированием бассейнов или впадин с вулканическими рифтами; последующего утонения коры, ведущего к рифтингу; быстрого спрединга морского дна и, наконец, медленного спрединга, субдукции и закрытия океанических рифтов с образованием другой Пангеи.

Мезозойская эра попадает в третью, четвертую и начало пятой стадии третьего (последнего) глобального цикла.

Мезозой — время парникового (greenhouse) климата. Тепло в то время довольно равномерно распределялось по Земле, тем не менее в Северном полушарии в течение всего мезозоя существовала климатическая зональность (рис.2). В приэкваториальной части находился тропический климатический пояс (биогеографическая надобласть Тетис—Панталасса) со среднегодовыми температурами 25—30°С. Ближе к северу, примерно, до 45—50°с.ш. располагался субтропический пояс (Перитетис), а севернее размещался умеренно-теплый бореальный климатический пояс (Панбореальная биогеографическая надобласть). В приполярных областях преобладал климат умеренный до прохладного. Однако никаких ледовых покровов не существовало. Об этом свидетельствуют данные биогеографии и седиментологии. В высоких палеоширотах помимо свойственных умеренным климатическим зонам животных и растений обитали отдельные, характерные для субтропических и даже тропических областей, виды. Например, в осадках раннетриасовых морей на севере Сибири найдены тропические растения *Pleuromeia*, а на протяжении всего мезозоя в морях на территории севера Евразии, примыкавшей к северному географическому палеополюсу, совместно с бореальными (умеренно теплолюбивыми) периодически обитали субтетиические (субтропические) и тетиические (тропические) моллюски — аммониты и двустворчатые [1].

### Флуктуации климата

Цикличность природных явлений используется для предсказаний событий будущего. Инструментальные данные о колебаниях температуры и осадков последних 150 лет в средних широтах Северного полушария позволяют прогнозировать возможные изменения этих важнейших погодных факторов на ближнюю перспективу. Более отдаленный прогноз основан на знании о флуктуациях климата в геологическом прошлом. Он, как правило, базируется на реконструкции палеоклиматов последних тысяч или десятков тысяч лет истории Земли. Существует ли потребность для человечества, помимо врожденного любопытства, воссоз-

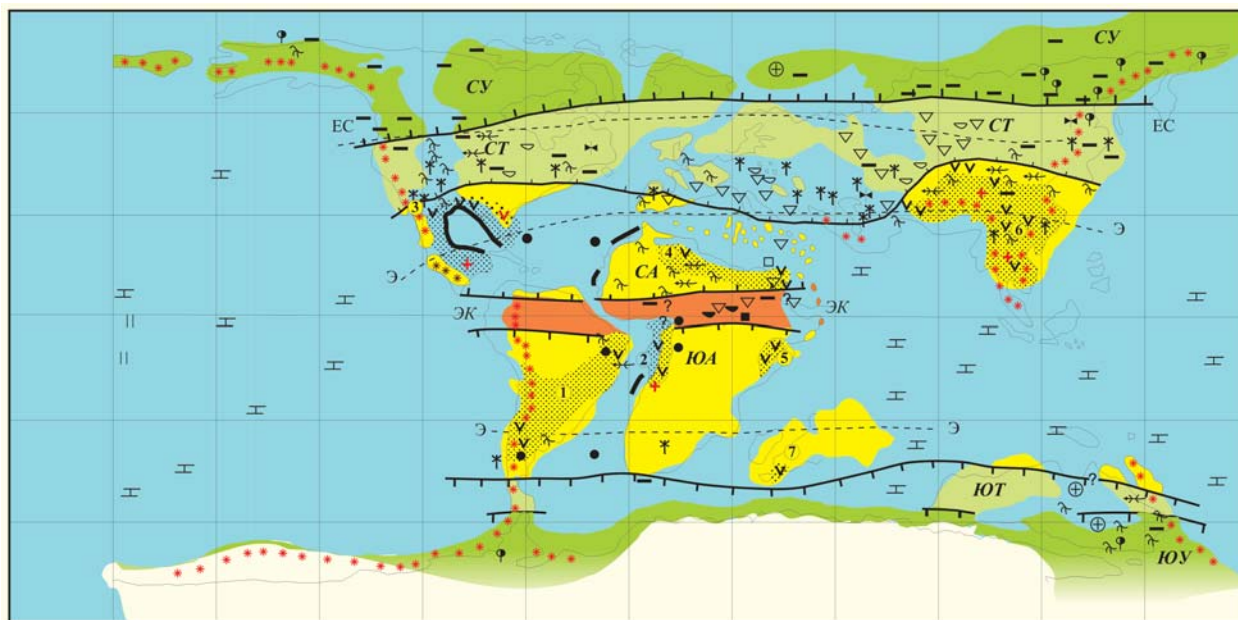


Рис.2. Климатические пояса в альбском веке раннего мела (Н.М. Чумаков, 2004). Зеленым цветом обозначены умеренные пояса. СУ — северный умеренный, или бореальный.

давать климаты более далекого геологического прошлого? История климата — это часть истории Земли, познание которой (как и истории человечества) — один из признаков цивилизованного общества. Однако необходимость изучения палеоклимата в эпоху острой потребности в ископаемом энергетическом сырье прямо связана и с экономической деятельностью человека. Дело в том, что концентрация углеводородов в земных недрах определяется биологической продуктивностью тех морских и пресноводных бассейнов, в которых обитали организмы, послужившие исходным органическим материалом, захороненным и впоследствии преобразованным в газ, нефть, уголь и горючие сланцы. Показатель биологической продуктивности (вес органического вещества, продуцируемого в единицу времени на единицу площади), как в геологическом прошлом, так и ныне в значительной степени зависит и зависит от условий обитания организмов, которые определяются прежде всего климатом. Так что заключение о перспективности тех или иных пород на поиски каустобиолитов основывается и на знаниях о палеоклиматах времени, в течение которого формировались осадочные толщи.

Наблюдения за изменением географических ареалов бореальных и тетических морских моллюсков во времени показали, что в течение мезозоя некоторые из них перемещались. Чаще всего отмечаются проникновения отдельных тетических или субтетических таксонов на север, а бореальных — на юг, но иногда интервенция носила массовый характер [1, 2]. «Глубина» проникнове-

ния теплолюбивых моллюсков по широте также различалась: от 5–7 до 20°. Совместный анализ временных интервалов миграций (перемещений в пространстве) моллюсков и колебаний уровня моря (трансгрессивно-регрессивные кривые) показал совпадение в большинстве случаев моментов миграций и, вероятно, эвстатических (глобальных) подъемов уровня. В других случаях расширение ареалов моллюсков довольно резонно объясняется физико-палеогеографическими перестройками [3]. Как правило, имеются и седиментологические свидетельства изменения факторов среды, вызванного перемещением водных масс. Проникновение некоторых субтетических родов беспозвоночных в позднем оксфорде (юрский период) на север Тимано-Печорской области, в позднем кимеридже (юрский период) — на Приполярный Урал, в начале позднего валанжина (начало мелового периода) — на широту Баренцева моря и в раннем маастрихте (конец мелового периода) — до Широкого Приобья (Западная Сибирь) сопровождается повышением карбонатности пород, в которых обнаружены их окаменелости. Отсутствие окаменелостей теплолюбивых моллюсков в осадках совпадает и с минералогическими свидетельствами невысокой температуры вод — находкой специфических образований (беломорской рогоульки, или генойш), в состав которых входят тенардит ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) и кальцит с арагонитом ( $\text{CaCO}_3$ ). Например, таксономически бедные слои с избытком тенардита отмечаются на севере Сибири в позднем плинсбахе, в аалене, байосе, раннем бате, раннем келловее (юрский



Рис.3. Генойша, или ископаемая «беломорская рогулька», из верхнего аалена Анабарского залива, север Восточной Сибири.

период) и в самом раннем готериве (ранний мел). В наше время беломорская рогулька (рис.3) образуется в илах на дне северных морей: Белого, Баренцева, Гренландского, Норвежского (включая фьорды) при температуре, близкой к 0°C.

Совместный анализ данных о таксономическом разнообразии мезозойских беспозвоночных в средних и высоких широтах, о бореально-тетических перемещениях моллюсков в направлении юг—север и север—юг, о местоположении биогеографического бореально-тетического экотона, об изменении площади карбонатной седиментации, о местонахождениях агрегатов тенардита позволил наметить тренды тепла—холода в течение мезозоя в Панбореальной надобласти на территории северной Евразии [4]. Установлено всего 22 разнонаправленных тренда — 11 пар (рис.4). Следует отметить, что кривая на графике показывает лишь тенденции потепления—похолодания, а не абсолютные значения палеотемпературы.

На фоне выделенных крупных флуктуаций тепла происходили кратковременные, но иногда значительные колебания палеотемпературы. Так, в период биотической перестройки на границе плинсбаха и тоара (юрский период) фиксируется существенное потепление в самом конце плинсбаха, а затем довольно резкое падение палеотемпературы (по данным некоторых авторов, на 5—6°C) в самом начале тоара [5]. Если связывать кратковременные проникновения (перемещения) отдельных теплолюбивых таксонов морских моллюсков на север (до арктических широт), а холоднолюбивых — на юг (до прежних субтропиков) с колебаниями температуры морских вод, то следует допустить, что микрофлуктуации климата происходили

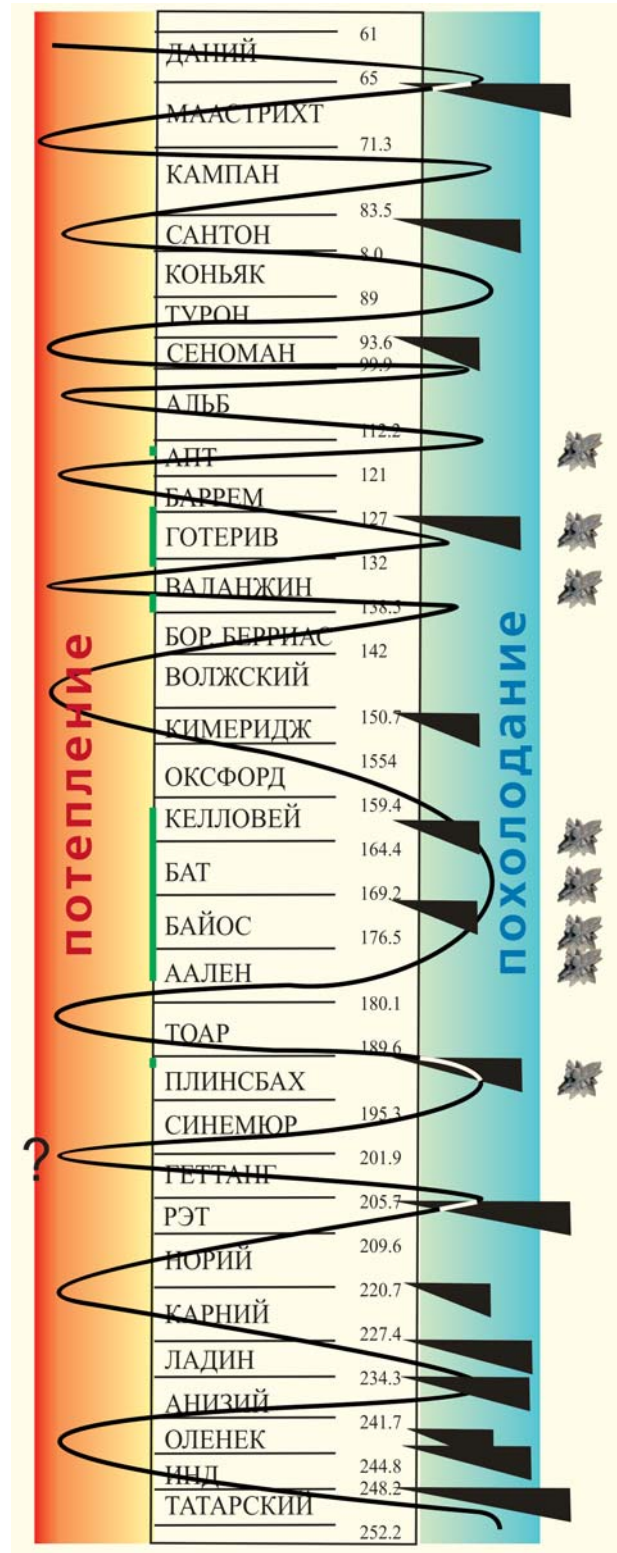


Рис.4. Кривая флуктуаций тепла в мезозое Арктики (север Сибири). Треугольниками показаны уровни перестроек (преобразований) биоты. Значки справа — интервалы местонахождения генойш в разрезах мезозоя. На этих же интервалах сокращается таксономическое разнообразие биоты.

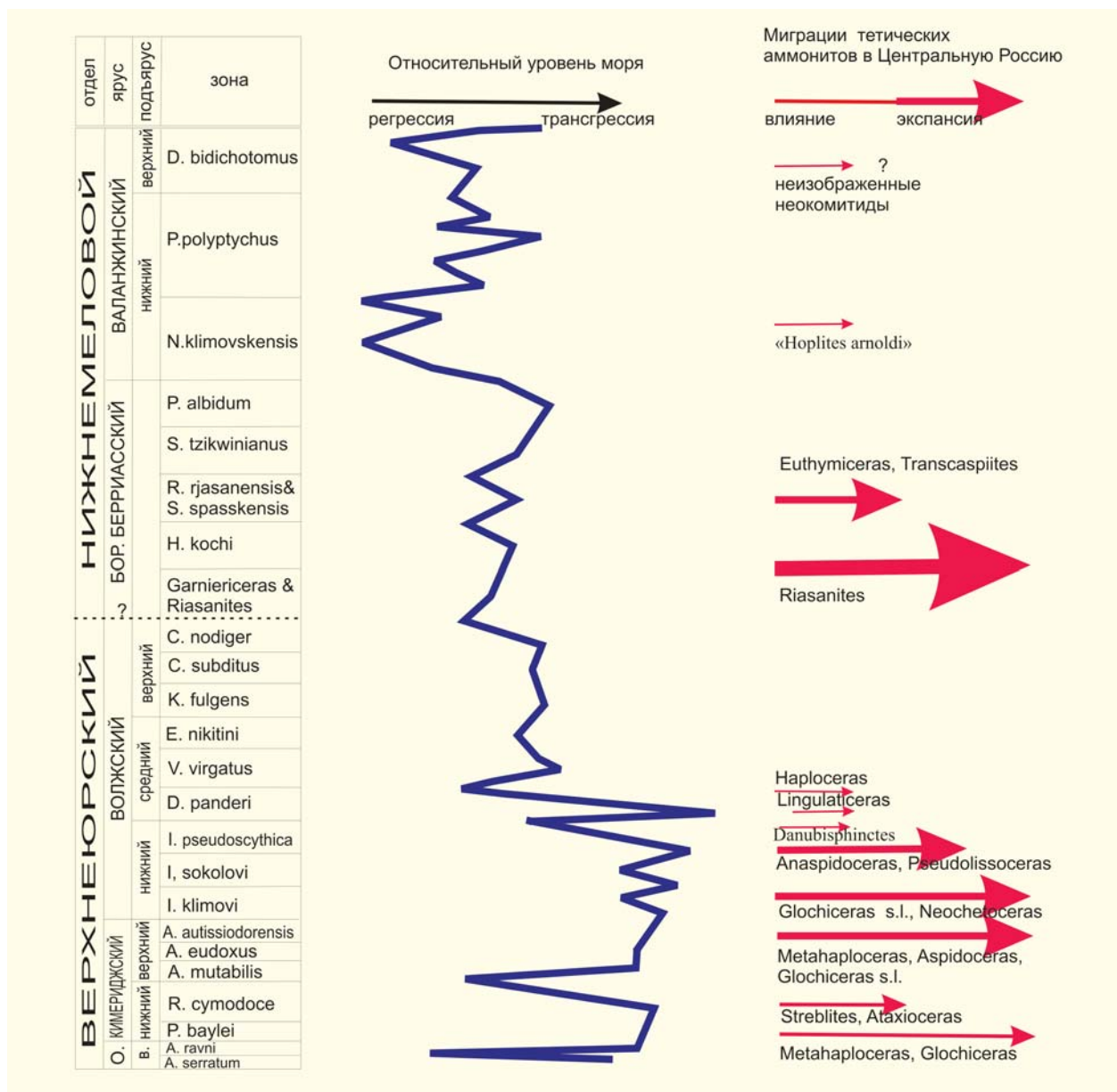


Рис.5. Связь колебаний уровня моря (трангрессивно-регрессивных событий) и иммиграций с юга на север теплолюбивых аммонитов (вымершие головоногие моллюски) в позднеюрском и раннемеловом Среднерусском море [2].

довольно часто (рис.5). Возможно, число их в теплом мезозое сравнимо с числом в последние сотни тысяч лет четвертичного периода. Справедливость этого предположения предстоит еще выявить.

### Климатические признаки вымираний таксонов

Климатические причины привлекаются для объяснения глобальных массовых вымираний на границах ордовика и силура (событие хирнантий — вымирание крупных групп морских беспозвоночных), в позднем девоне — на границе франа—фамена (событие кельвассер — вымирание морских беспозвоночных), на границах перми и триаса, триаса и юры, мела и палеогена, эоцена и олигоцена, плейстоцена и голоцена. Считается, что во всех этих биотических перестройках существенная роль принадлежала относительно кратковременному изменению температуры в средних широтах. Вероятно, изменения тепла были не однонаправленными, а циклическими. Возможно, на фоне похолодания перед вымиранием амплитуда колебаний тепла была довольно значительной. На примере бореального мезозоя такой сценарий

звоночных), в позднем девоне — на границе франа—фамена (событие кельвассер — вымирание морских беспозвоночных), на границах перми и триаса, триаса и юры, мела и палеогена, эоцена и олигоцена, плейстоцена и голоцена. Считается, что во всех этих биотических перестройках существенная роль принадлежала относительно кратковременному изменению температуры в средних широтах. Вероятно, изменения тепла были не однонаправленными, а циклическими. Возможно, на фоне похолодания перед вымиранием амплитуда колебаний тепла была довольно значительной. На примере бореального мезозоя такой сценарий

можно предположить для биотических перестроек в пограничном интервале татарского (пермь) и индского веков, карнийского и ладинского (триас), плинсбахского и тоарского, кимериджского и волжского (юра), готеривского и барремского, маастрихтского и датского (мел), эоцена и олигоцена (палеоген). Как показали детальнейшие исследования пограничного интервала маастрихт—даний в Австрии, кратковременный интервал (возможно, часть биозоны *Globigerina eugubina* — глобально прослеживаемый хроностратиграфический уровень) был насыщен довольно разноплановыми биотическими событиями, вызванными колебаниями факторов среды [6]. Есть все основания считать, что кратковременные низко- и среднеамплитудные колебания тепла, по крайней мере в средних и высоких широтах, были связаны с 26-, 40- и 100-тысячелетними астрономическими циклами, названными по имени открывшего их сербского исследователя Миланковича.

Исследователи признают, что вымиранию таксона предшествовало сокращение ареала его обитания. При этом называются разные причины, ответственные за уменьшение площади обитания таксона. Многие биологи склонны видеть их в деградации геногипотезы. Палеонтологи, не считая сторонников сальтационной (катастрофической) гипотезы, часто объясняют сокращение ареала таксонов палеогеографическими перестройками. Совершенно очевидно, что сокращение ареалов распространения некоторых обреченных на вымирание морских мезозойских беспозвоночных начинается с высоких широт. Так, последние конодонты (очень мелкие древние полухордовые)

в Тетисе (тропиках) вымирали в самом конце триаса (в рэте), а в Арктике они исчезли из разрезов значительно раньше — уже в нории [7]. Наиболее поздние иноцерамы (моллюски) найдены на территории Арктики в основании кампанского яруса, т.е. примерно за 5 млн лет до конца мезозойской эры [8], а последние обнаружены в Испании на границе мезозоя и кайнозоя.

\* \* \*

Когда мы утверждаем, что климат — один из главных факторов, влиявших и влияющих на преобразование лика Земли (включая биосферу и стратиферу), не следует забывать, что основным источником тепла служит Солнце. Количество тепла, получаемого Землей от Солнца, мало изменялось в течение геологического времени. В то же время, как показывают палеоклиматические реконструкции, на Земле чередовались состояния теплой и холодной биосфер. Стало быть, уже существовали силы, управлявшие распределением тепла. С этого момента — момента интерпретации — геологи переходят в мир гипотез. Одна из них — тектоника литосферных плит. Однако она не в состоянии объяснить многое, в частности скорости, с которыми, как мы убеждаемся, происходят климатические изменения. Скоротечность процессов можно объяснить с помощью астрономических циклов. Но как с планетарными явлениями связаны глобальные события? Остается еще много нерешенных вопросов, ответ на которые предстоит искать будущим поколениям геологов, геофизиков, палеонтологов и других специалистов по наукам о Земле. ■

**Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 05-05-64949) и программы ОН314 РАН.**

## Литература

1. Захаров В.А., Рогов М.А. // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2003. Т.11. №2. С.54—74.
2. Rogov M.A., Zakharov V.A., Kiselev D.N. // *Volumina Jurassica*. 2009. V.1. P.143—152.
3. Zakharov V.A., Rogov M.A. // *Revista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia*. 2004. V.110. №1. P.339—344.
4. Захаров В.А. Климат Северо-Восточной Азии в мезозое (обзор): Сборник памяти Всеволода Андреевича Вахромеева / Отв. ред. М.А.Ахметьев. М., 2002. С.262—269.
5. Захаров В.А., Шурыгин Б.Н., Ильина В.И., Никитенко Б.Л. // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2006. Т.14. №4. С.61—80.
6. Grachev A.J., Korchagin O.A., Kollmann H.A. et al. // *Russian Journal of Earth Sciences*. 2005. V.7. №6. P.1—45.
7. Клец Т.В. // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2008. Т.16. №5. С.15—36.
8. Хоментовский О.В., Захаров В.А., Лебедева Н.К., Воробьева О.И. // Геология и геофизика. 1999. Т.40. №4. С.512—529.