

УДК 56.017.551.762.31(470.3)

ДИНАМИКА ТЕРМИЧЕСКОГО РЕЖИМА КЕЛЛОВЕЙ-ОКСФОРДСКИХ МОРЕЙ СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЕВРАЗИИ ПО ОТНОСИТЕЛЬНЫМ ПАЛЕОТЕМПЕРАТУРНЫМ ДАННЫМ

© 2004 г. Д. Н. Киселев

Ярославский государственный педагогический университет им. К.Д. Ушинского, Ярославль

Поступила в редакцию 18.04.02 г., получена после доработки 13.02.03 г.

Для системы палеоакваторий келловея и оксфорда Северо-Западной Евразии построено шесть моделей палеотермической и палеогидрологической обстановок для шести отрезков времени, эквивалентных подъярсу. Принцип построения модели основан на изучении вероятностных соотношений различных фаунистических элементов из разных палеобиогеографических областей в одном видовом комплексе, в данном случае аммонитов. Данная методика позволяет распознавать интервалы масштабных и локальных потеплений и похолоданий водных масс, структуру течений во всей системе бассейнов, а также уточнить распространение абсолютных палеотемператур. В келловее и оксфорде выявлены два периода потепления водных масс (средний келловей и средний оксфорд) и три периода относительного похолодания (ранний келловей, граница келловея и оксфорда, поздний оксфорд). Все палеоакватории Северо-Западной Евразии (Арктический, Среднерусский, Европейский – Пери-Тетический и Тетический бассейны) имеют свою систему циркуляции, в связи с чем их палеотемпературные кривые также не совпадают. В связи с этим динамика термического режима келловей-оксфордских палеобассейнов, выявленная по абсолютным и относительным палеотемпературным данным отражает, в первую очередь, ритмику гидрологического режима, но дает гораздо меньше данных для реконструкции палеоклимата.

Ключевые слова. Келловей, оксфорд, палеобиогеография, Северо-Западная Евразия, палеотемпературы, гидрологический режим.

ВВЕДЕНИЕ

В келловейское и оксфордское время средней–верхней юры территория Северо-Западной Евразии была затоплена обширными эпиконтинентальными морями, которые традиционно разделяются на Европейский и Среднерусский бассейны, разделенные Скандинавским массивом и Украинской сушей. В северной части эти моря соединялись с Бореальным (Арктическим) бассейном через Печорский рукав Среднерусского моря и узким проливом между Гренландией и Скандинавским массивом (Европейское море). В южной части оба бассейна, границу между которыми следует проводить, видимо, по южному краю эпигерцинских массивов, окаймлялись теплыми водами океана Тетис.

Несмотря на высокую степень изученности морских отложений юры на территории Северо-Западной Евразии их палеотемпературная охарактеризованность до сих пор находится в зачаточном состоянии. До появления методов абсолютной палеотермометрии этой стороне палеогеографических исследований уделялось мало внимания. Большинство авторов, прикоснувшись к проблеме морских палеотемператур, рассматривают ее в рамках палеоклиматологии, исполь-

зуя весь ее понятийный и концептуальный арсенал. Однако поскольку методы абсолютной палеотермометрии способны определять только водные палеотемпературы, палеотемпературные проблемы выходят за рамки палеоклиматологии и требуют иной, как минимум палеогидрологической концептуальной базы. В. Аркелл в своей фундаментальной сводке “Юрские отложения земного шара” (Аркелл, 1961) вообще не использует понятие “палеотемпература” и все вопросы, связанные с их изучением, излагает в небольшом разделе, посвященном климату юры. При этом он подчеркивает, что и эту главу “можно было бы с полным правом исключить из книги” ввиду отсутствия достоверных данных. Обсуждая палеотемпературные особенности юрских морей, В. Аркелл использует относительные характеристики, главным образом, индикаторы тепловодных, тропических и субтропических морей. К ним он отнес рифообразующие кораллы, крупный размерный класс раковин моллюсков и преобладание карбонатных отложений в изучаемых литофациях. Свои наблюдения над морскими отложениями В. Аркелл сопоставлял с континентальными, что было использовано им непосредственно для реконструкции климата юры. Это позволило ему

сделать ряд следующих выводов: 1) климат юры был теплее, чем в настоящее время; 2) экватор располагался гораздо севернее, чем сейчас, примерно в южной части современного Средиземноморья; 3) на протяжении юры наблюдались периоды похолодания и потепления климата, причем наибольшее потепление наблюдается в оксфорде (вывод сделан, в основном, по морским отложениям – распространению кораллов и тепловодных аммонитовых комплексов). В качестве обобщающего вывода В. Аркелл сделал предположение о более высоком уровне солнечной радиации в юре по сравнению с настоящим временем.

С изобретением Эш. С. Юри в 1950-х годах прошлого столетия методики абсолютного палеотемпературного анализа появилась возможность определять абсолютное значение палеотемператур в органогенных карбонатах морского происхождения. В этом направлении были сделаны многочисленные работы, в том числе и обзорные, рассматривающие юрские палеотемпературы Северной Евразии и других регионов (Emiliani, 1967; Боуэн, 1969; Clayton, Stevens, 1965; 1968; Stevens, 1971; Stevens, Clayton, 1971; Тейс, Найдин, 1973; Ribouleau et al., 1998; Rohl et al., 2001; Poulsen et al., in press. и др.). Согласно приведенным результатам, в наиболее полном виде по оксфорду Европы палеотемпературные данные, во первых, отражают широтные изменения этих показателей. Во-вторых, на протяжении юры наблюдаются заметные колебания температур, причем в районах Европы и Гренландии эти колебания выражены тремя потеплениями (тоарский, среднеоксфордский и титонский максимумы) (Боуэн, 1969). Полученная картина осложняется небольшими отклонениями значений от средних как в пространстве, так и во времени (нижнекимериджский минимум). На обобщенных кривых по разным регионам Бореальной, Тетической и Нотальной областей (Stevens, 1971 и др.) отражено несоответствие палеотемпературных минимумов и максимумов, что привело некоторых авторов к пессимистическому отношению в использовании методов абсолютной палеотермометрии (Хэллем, 1978). Некоторые из них все же допускают возможность использовать для палеотемпературных реконструкций результаты анализа изотопных соотношений кислорода, но только при низкой корреляции их с данными соотношений изотопов углерода (Gruszczynski, 1998). Все же, несмотря на множество противоречий в палеотемпературных исследованиях, многие из рассмотренных изменений абсолютных данных по Европе, общие и частные, совпадают с изменениями относительных, в том числе по распространению кораллов (Arkell, 1933; Leinfelder, 1993; Bertling, 1993; Bertling, Insalaco, 1998 и др.), динофлагеллят (Poulsen et al., in press.) и наземной флоры (Vakhrameev, 1991; Abbink et al., 1998, 2001; Rees et al.,

unpubl.). Реконструкция положения экватора, приведенная Боуэном, также почти совпадает с реконструкцией Аркелла.

Методическая сторона изучения юрских палеотемператур Европы и прилегающих областей отличается неравномерностью собранного материала. Так, Боуэном основные наблюдения были проведены в пределах Франции и Германии, в то время как остальные районы, за исключением Англии и Гренландии, почти не охарактеризованы. В рамках палеоклиматического подхода этих данных вполне достаточно, чтобы построить стройную картину потеплений и похолоданий в пространстве и времени, но они почти ничего не дают и даже способны ввести в заблуждение, если использовать палеогидрологический подход. Между тем характерной особенностью интерпретации полученных результатов разными авторами является использование именно палеоклиматического подхода.

Отечественные работы (Сакс, 1969; Тейс, Найдин, 1973 и др.) дополняют палеотемпературный материал определениями с Русской платформы и из Северной Сибири. Наблюдения проводились в широком стратиграфическом интервале, но с небольшой точностью (максимум до яруса). В бореальной юре были отмечены палеотемпературные колебания, в целом совпадающие с европейскими. Особое внимание в данных работах было уделено сезонным колебаниям палеотемператур, которые являются ценнейшей характеристикой водной массы. Анализ этих наблюдений показал, в частности, что северная часть Евразии в позднеюрское время находилась под влиянием водных масс с температурами 10–14°C, переходных между субтропическими и умеренными. Еще более низкие палеотемпературные значения для высокобореальных районов получены по белемнитам средней–верхней юры Шпицбергена – 7–10°C (Ditchfield, 1997).

Краткий обзор основных результатов палеотемпературных исследований морских отложений юры Северо-Западной Европы позволяет выделить некоторые общие особенности в подходе к изучению и интерпретации палеотемпературных данных разными авторами. Во-первых, обработанный материал (в основном белемниты) собран из ограниченного количества пунктов в рассматриваемом географическом пространстве, что не дает полной картины палеотемпературных изменений. Эти данные позволяют сделать вывод только о широтных изменениях палеотемпературных показателей. Во-вторых, опубликованный материал собран из ограниченного количества точек в широком стратиграфическом интервале, при этом максимальная точность редко превышает ярусный уровень. Определения палеотемператур в более детальном стратиграфическом

ком масштабе (на уровне зон, подзон и, возможно, биогоризнтов) опубликованы лишь в недавних работах (Anderson et al., 1994; Riboulleau et al., 1998; Барсков, Кияшко, 2000). В-третьих, палеотемпературные кривые, полученные для продолжительных отрезков времени (например, кривые Стивенса), зачастую составлены для ограниченных регионов, например, для Русской платформы или Европы, но рассматриваются на глобальном уровне. Подобные кривые совершенно не учитывают региональные изменения, иногда противоположные по знаку. В-четвертых, результаты палеотемпературного анализа чаще всего интерпретируются как палеоклиматические изменения, что значительно обедняет спектр выявляемых причинно-следственных связей и даже может завести в тупик, так как температура воды не является параметром климата.

Традиционный палеоклиматический подход в интерпретации палеотемпературных данных зачастую не учитывает азональные особенности и факторы распределения температур. Поэтому отклонения палеотемпературных значений в пределах одной широтной зоны зачастую трактовались как “аномалии” или артефакты технической стороны анализа (Хэллем, 1978). Возможные проявления течений на распределение температур также редко учитывались при палеотемпературных реконструкциях юрских морей. Наиболее часто подвергались обсуждению признаки влияния теплого тетического течения, предположительно проникавшего далеко на север через Европу. Так, В. Аркелл предположил существование теплого течения в портланде в районе Англии после анализа морской и континентальной фауны (первая имела тепловодный облик, а вторая – холодноводный (Аркелл, 1961)). Р. Боуэн, чуть южнее, в районе Парижского бассейна, в лейасе отметил сильные колебания палеотемператур, до 6°C в диапазоне 200 км, что объяснил присутствием локального теплого течения (Боуэн, 1969). Этот же автор предположил существование позднюрского теплого течения, доходившего до Гренландии с юга через Северное море. Существование этого течения рассматривается и в реконструкциях, основанных на палеофлористических данных (Abbink et al., 2001). Общее происхождение всех этих течений отмечалось в работе Р. В. Тейс и Д. П. Найдина, где на основании дополнительных данных по Сибири предполагается единое теплое течение, направлявшееся с юга Европы через Гренландию до Сибири. Однако фрагментарный характер наблюдений, использовавшихся этими авторами, не позволил им составить системной картины общей циркуляции вод в данной системе юрских бассейнов.

Палеобиогеографические данные, если они причинно связаны с палеотемпературными, могут дать более системную картину о гидрологиче-

ском режиме палеобассейна, чем абсолютные, в том числе и потому, что первые уже собраны и нуждаются только в обработке. Существует большое число работ, посвященных этой проблеме, среди которых особый интерес вызывают реконструкции палеотечений по распространению фауны, в частности по аммонитам. Методика таких реконструкций основана на допущении, что пути миграций аммонитов совпадали и определялись течениями, причем направление миграций следует из центра эволюции группы (Худолей, 1976). В юрских морях наличие течений различного знака предполагается в проливе между Гренландией и Скандинавией (Enay, 1980; Худолей, 1984, 1985, 1988, 1993; Abbink et al., 2001), холодного стока в Печорский бассейн (Enay, 1980), холодного течения из Среднерусского моря в Среднеазиатский бассейн в келловее (Худолей, 1985).

В настоящей работе основное внимание уделяется построению общей циркуляционной картины для келловей-оксфордских морей Северо-Западной Евразии по аммонитам. В предыдущей работе (Киселев, 1998) была рассмотрена относительная палеотемпературная картина только для Среднерусского моря. При этом было показано, что: 1) соотношение видов аммонитов разного происхождения в аммонитовых комплексах (из двух и более разрезов) изменяется даже при небольшом расстоянии в меридиональном направлении между разрезами, т.е. данные изменения строго подчиняются принципу зональности; 2) большинство аммонитов были, видимо, стенотермными животными и чутко реагировали на изменение температуры воды, следовательно, палеобиогеографические данные по аммонитам можно использовать для детальных реконструкций термического режима бассейнов; 3) последовательность изменений относительных палеотемпературных значений во времени для разных регионов (Среднерусского моря и прилегающих районов Тетиса, Европы и Арктического бассейна) и даже субрегионов (западная и восточная зоны Среднерусского моря) является различной и имеет региональную, циркуляционную природу. На протяжении келловей-оксфордского времени в Среднерусском море сохраняется одна и та же система циркуляции, причем постоянно наблюдается стоковое холодное течение, проходившее с севера на юг через весь бассейн и несколько теплых противотечений, имевших разную природу.

МЕТОДИКА

В настоящей работе используется принцип относительного палеотемпературного анализа, применяемый на аммонитовых комплексах. Методика получения относительных палеотемпературных данных описана ранее (Киселев, 1998). В

основе применяемой методики лежат четыре допущения.

1. Термический фактор был определяющим в географическом распространении видов аммонитов в пределах *сообщающихся эпиконтинентальных* морей (в океанических бассейнах аммониты принадлежали другому биому (смысл термина по Thiery, 1988), поэтому их распространение контролировалось границами шельфа и определялось другим комплексом морфо-функциональных адаптаций (по Dommergues et al., 1987; Thierry, 1988).

2. Вероятность происхождения вида в центре разнообразия рода является наибольшей. Центр разнообразия рода совпадает с центром видообразования. Направление миграции видов определяется из центра видообразования (Худолей, 1976).

3. В юрских морях Северо-Западной Евразии выделяется 4 крупных центра видообразования аммонитов: 1-й в Арктическом бассейне (Бореальная провинция – по Zeiss, 1968), 2-й в Среднерусском море (Суббореальная провинция – там же), 3-й в Европейском бассейне (Суббореальная и Субсредиземноморская провинции – по Ziegler, 1963), 4-й в Тетическом бассейне (Средиземноморская (там же) и более южные провинции). Принадлежность вида к тому или иному центру образования определяется допущением (2), в независимости от того, как широко распространен вид. У широко распространенных видов вероятность происхождения в центре образования всегда будет наибольшей, но меньше 1. Только эндемичный вид может считаться полностью принадлежащим какому-либо бассейну с вероятностью происхождения в нем равным 1 (до момента нахождения его в районе другого бассейна).

4. Каждый из четырех палеобассейнов располагался в различном диапазоне географических палеоширот в следующей последовательности (с севера на юг): Арктический бассейн – Среднерусское море – Европейский бассейн – акватории Тетиса (это допущение опирается на палеогеографические, в том числе и мобилистские реконструкции (Cariou et al., 1985; Dommergues et al., 1987; Golonka, 2002; Golonka, Vocharova 2000 и др.)). В соответствии с принципом климатической зональности средняя температура водных масс увеличивалась в той же последовательности.

Техническая основа методики состоит в вычислении точного соотношения видов разного происхождения в каждом аммонитовом комплексе. Поскольку, в абсолютном смысле, центр происхождения любого конкретного вида, в особенности космополитного, не может быть известен, для каж-

дого из них вычисляется *вероятность* их происхождения в каждой фаунистической области:

$$P_{\text{происхождения вида}} = \frac{q}{\sum q}, \quad (1)$$

где q – сумма видов данного рода в данном бассейне, где находится данный вид, принадлежащий этому роду, $\sum q$ – сумма q всех бассейнов, где встречается данный вид. Формула вероятности происхождения образована, исходя из допущения (2). Для каждого вида вычисляется до 4 значений P , в зависимости от числа бассейнов, в которых он найден. Например для *Cardioceras cordatum* (Sow.), космополитного вида (в пределах Северо-Западной Евразии), вычисляются 4 вероятности происхождения: 0.1; 0.44; 0.21; 0.25 (соответственно, для Тетического, Европейского, Среднерусского и Арктического бассейнов). Если вид не является космополитным, то для него вычисляется до трех вероятностей. Для эндемиков P равна 1, так как она единственная.

При вычислении соотношения видов разного происхождения в аммонитовом комплексе вероятности суммируются с последующем усреднением. Для того, чтобы полученное значение обладало палеотемпературным содержанием, в формулу подставляются условные коэффициенты 1, 2, 3, 4, отражающие повышение средних температур в водных массах бассейнов (по допущению 4):

$$\text{ОПК} = \frac{4\sum P_t + 3\sum P_e + 2\sum P_c + 1\sum P_a}{\sum P_t + \sum P_e + \sum P_c + \sum P_a}, \quad (2)$$

где ОПК – относительный палеотемпературный коэффициент, P_t , P_e , P_c , P_a – вероятности происхождения вида в данном бассейне (t – Тетическом, e – Европейском, c – Среднерусском, a – Арктическом). Поскольку вероятность происхождения вида во всей системе бассейнов равна 1, следовательно, $\sum(\sum P)$ (знаменатель формулы 1) равен количеству видов в данном видовом комплексе, в связи с чем формула приобретает следующий вид:

$$\text{ОПК} = \frac{\sum(K_{a, c, e, t} \sum P_{a, c, e, t})}{N}, \quad (3)$$

где K – условный коэффициент, отражающий повышение средних температур в водных массах различных бассейнов, N – количество видов в данном аммонитовом комплексе. Поскольку полученный показатель причинно связан с разнообразием термического режима в данной системе бассейнов (согласно допущениям 1, 4), то его удобно

называть палеотемпературным с приставкой “относительный”.

Последовательность вычисления ОПК происходит в две стадии. Первая стадия – составление полного списка видов, встречающихся во всей системе бассейнов в данном стратиграфическом интервале и вычисление q , Σq и P для каждого рода отдельно. Вторая стадия – вычисление ОПК для комплекса всех видов разных родов из конкретного стратона конкретного разреза или местонахождения.

На следующем этапе изучения найденные ОПК наносятся на картографическую основу с построением изолинейной картины. В соответствии с подъярусным масштабом, в настоящей работе рассматриваются шесть палеотемпературных изолинейных картин, построенных для шести временных эквивалентов подъярусов келловоя и оксфорда. В пределах Северо-Западной Евразии (Арктического, Европейского (Пери-Тетического), Тетического и Среднерусского бассейнов) по описанной методике изучено 205 аммонитовых комплексов по 361 местонахождению для 54 районов (таблица). Материал для составления видовых списков и вычисления ОПК получен из анализа литературы, экспедиционных сборов автора (по Русской платформе), музейных и частных коллекций. Несмотря на относительную простоту данной методики при ее применении могут возникнуть следующие затруднения.

1. *Неполнота стратиграфических и палеонтологических данных.* В идеале, ОПК желательнее вычислять для каждого обнажения, но, по причине неполноты разрезов и фаунистических сборов (как известно, полный видовой список может составляться десятки лет даже при регулярных наблюдениях), целый район приходится характеризовать одной точкой, по данным нескольких обнажений. По той же самой причине проблематично вычисление ОПК для узких стратиграфических интервалов (в данном случае от зоны и уже) для большой территории, поэтому здесь используется подъярусный стратиграфический масштаб. Построение одной общей картины для отрезка времени, соответствующего подъярису (средняя продолжительность которого для юры, по Caluon, 1984, равна 1.5–2 млн. лет) скрывает многочисленные колебания термического режима акваторий, которые несомненно существовали в силу цикличности процессов в географической оболочке. Поэтому картины для такого временного интервала способны отразить лишь самые общие особенности термического бассейнов и тренды их изменений. В принципе, палеотемпературную картину, по любым данным, можно построить для любого по величине отрезка времени, если форма и расположение бассейнов не меняются. С увеличением временного интервала про-

изойдет лишь усреднение значений, но их пространственное распределение сохранится.

2. *Субъективизм в систематике.* Как известно, у различных авторов представления о систематике таксонов могут быть самые разные, вплоть до противоположных. У “объединителей” и сторонников выражения в систематике ископаемых групп концепции полового диморфизма, видовые списки будут гораздо скромнее, чем у “дробителей”. Отсюда предполагается, что и вычисленные ими ОПК будут сильно отличаться. Но как показал опыт автора, разница в ОПК, вычисленных при различных подходах к систематике, оказывается незначительной. Ошибка в определении близких видов, и тем более видов-эндемиков, почти не сказывается на значении ОПК, так как эти виды чаще всего встречаются только в пределах одной палеобиогеографической провинции (для эндемиков это значение всегда равно 1). Например, $P_{\text{происхождения}}$ *Cadoceras elatmae* (Nik.) в Арктическом, Среднерусском, Европейском и Тетическом бассейнах равна соответственно 0.63, 0.25, 0.11 и 0.01. Для *C. septentrionale* Freb. и *C. emelianzevi* Vor. эти значения будут одинаковы: 1, 0, 0, 0 (до тех пор, пока они известны только в Бореальной провинции). Реальная ошибка в определении близких видов, имеющих различное распространение также незначительна: она обычно скрывается самой большой вероятностью, свойственной для провинции (бассейна), где расположен центр разнообразия рода. Так *Cadoceras tschemischevi* Sok. известен только для Среднерусского и Арктического бассейнов, поэтому его $P_{\text{происхождения}}$ равна 0.69, 0.31, 0, 0, что в целом не особенно отличается от соответствующих значений *Cadoceras elatmae* (Nik.). Опыт показывает, что значение ОПК существенно не меняется и не нарушает общей картины, если количество ошибок подобного рода не превышает 20%.

3. *Увеличение таксономического разнообразия.* Видовые списки могут увеличиться для любого местонахождения после обнаружения новых видов. Это должно неизбежно привести к изменению ОПК, в особенности, если новые виды принадлежат таксонам, не характерным для данной биохории. Например, по отношению к Бореальной провинции келловоя и оксфорда такими таксонами являются, в первую очередь, семейства *Oppeliidae*, *Pachyceratidae* и *Reineckeidae*, а для Тетической области – *Cardioceratidae*. В связи с этим существует необходимость оценить, насколько чувствительна вышеописанная методика и устойчивы полученные с помощью её данные при неизбежном росте новых находок аммонитов, в особенности для слабо изученных районов. Подобная оценка проделана для наиболее критических случаев увеличения видового списка за счет находок представителей таксонов из альтернативных биохорий. Ее результаты приведены на рис. 1.

ОПК 54 районов Северо-Западной Евразии¹

Район	КМ	Келловей						Оксфорд					
		ранний		средний		поздний		ранний		средний		поздний	
		ОПК	<i>n</i>	ОПК	<i>n</i>	ОПК	<i>n</i>	ОПК	<i>n</i>	ОПК	<i>n</i>	ОПК	<i>n</i>
Шотландия (Скай) Л	5	–	–	–	–	–	–	–	–	2.56	18	2.22	22
Англия Л	25	2.92	70	3.13	39	2.92	60	2.91	74	2.89	72	2.71	44
Германия (Швабия) Л	6	3.06	93	3.27	61	3.11	33	3.02	47	2.9	56	2.91	36
Германия (Франкония) Л	7	3.2	39	3.13	36	3.04	36	–	–	3.15	54	3.06	84
Северная Германия Л	6	3.11	21	3.18	38	3.04	45	2.84	24	–	–	–	–
Польша Л, К	15	3.22	35	3.38	31	2.95	25	2.98	54	2.95	27	3.04	64
Испания (Пиренеи) Л	2	3.46	19	3.79	10	–	–	3.66	8	3.49	24	3.54	28
Испания (Рикла) Л	4	3.82	44	3.91	43	3.95	9	–	–	–	–	–	–
Юго-Восточная Испания Л	3	–	–	–	–	–	–	3.6	8	3.44	19	3.65	38
Португалия (Кап-Мондего) Л	6	3.81	59	3.89	14	3.49	8	–	–	–	–	–	–
Центральная Франция Л	8	3.29	41	3.38	61	3.15	114	2.79	56	–	–	2.83	9
Восточная Франция Л	19	–	–	3.38	61	2.77	37	–	–	2.8	26	2.99	58
Южная Франция (Приморские Альпы) Л	3	3.62	21	3.73	25	–	–	–	–	–	–	–	–
Нормандия Л	8	–	–	–	–	–	–	2.68	13	2.85	12	2.71	8
Северная Юра (Херцнах) Л	1	–	–	3.25	40	3.08	62	3.11	56	3.15	23	3.05	52
Южная и Средняя Юра Л	7	3.44	8	–	–	3.37	35	2.91	33	3.05	84	3.1	66
Италия Л	4	3.44	13	–	–	–	–	–	–	3.41	12	3.77	13
Сицилия Л	2	–	–	3.8	9	–	–	3.65	11	–	–	–	–
Моравия	1	–	–	–	–	–	–	–	–	3.13	23	–	–
Румынские Карпаты Л	2	3.64	13	3.85	9	–	–	3.36	6	3.51	6	3.65	10
Днестр, Прут Л	5	–	–	–	–	3.35	5	–	–	–	–	3.77	9
Прибалтика Л	7	–	–	3.18	25	2.93	34	2.65	7	2.7	24	2.3	29
Поморье Л	4	–	–	–	–	3.04	11	2.93	17	2.88	14	2.66	18
Донецкая юра Л, К	8	2.78	26	3.13	9	2.86	18	2.88	24	2.91	19	2.47	5
Железногорск К	1	2.32	13	2.92	8	–	–	–	–	–	–	–	–
Старый Оскол К	1	–	–	–	–	–	–	–	–	2.63	20	–	–
Московская обл Л, К, А	14	–	–	2.97	13	2.67	11	–	–	–	–	2.01	12
Рыбинский район А, Л, К	9	2.26	7	2.5	16	2.62	15	2.59	12	2.4	26	2.19	12
Нижегородская обл. (Просек) А, К, Л	3	2.02	31	3.1	–	–	–	–	–	–	–	2.1	10

Таблица. Окончание

Район	КМ	Келловей						Оксфорд					
		ранний		средний		поздний		ранний		средний		поздний	
		ОПК	<i>n</i>	ОПК	<i>n</i>	ОПК	<i>n</i>	ОПК	<i>n</i>	ОПК	<i>n</i>	ОПК	<i>n</i>
Нижегородская обл. (Ужовка) А, Л	2	2.26	13	2.93	23	–	–	–	–	–	–	–	–
Ока (Алпатьево-Елатьма) А, К, Л	11	2.36	15	2.64	72	2.89	36	2.57	27	2.52	34	2.02	14
Михайлов А, К	2	–	–	2.85	47	2.76	29	2.71	9	–	–	–	–
Унжа А, К, Л	17	2.14	22	2.27	37	2.38	15	2.24	–	2.48	–	2.12	–
Сысола А, К, Л	3	2.21	10	2.15	24	–	–	–	–	–	–	–	–
Оренбург Л, К	4	–	–	2.92	7	2.56	13	2.52	12	2.33	11	2.13	7
Саратовское Поволжье Л, К	8	2.47	16	2.75	22	2.76	55	2.57	27	2.69	28	–	–
Басс. Печоры Л, К, А	13	1.58	12	2.25	8	1.71	15	2.04	3	2.2	5	2	15
Восточная Гренландия Л	22	1.93	24	2.52	4	1.81	10	2.33	8	2.24	10	1.96	19
Новая Земля Л	4	–	–	–	–	1.78	8	–	–	–	–	–	–
Шпицберген Л	9	–	–	–	–	1.59	5	2.05	6	–	–	1.92	9
Мангышлак Л, К	6	3.34	28	3.29	21	3.26	26	2.88	18	–	–	2.68	8
Туаркыр Л	12	3.78	38	3.6	67	3.49	95	3.24	20	3.02	15	3.63	8
Кугитанг-Тау Л	6	3.69	30	3.66	30	3.58	32	3.09	14	3.55	14	–	–
Крым Л, К	2	3.27	13	3.63	7	3.42	10	3.33	10	3.32	4	3.53	6
Северный Кавказ Л	14	3.49	69	3.62	91	3.45	55	3.25	12	3.22	9	3.85	11
Южный Кавказ Л	10	3.66	28	3.56	17	3.56	6	–	–	3.56	11	–	–
Негев Л	3	–	–	3.91	13	3.79	18	–	–	–	–	–	–
Ливан – Антиливан Л	5	–	–	3.72	7	3.72	4	3.82	41	3.63	4	–	–
Иран Л	2	–	–	3.83	31	–	–	–	–	–	–	–	–
Копетдаг Л	2	–	–	–	–	–	–	–	–	3.67	9	3.6	11
Западный Гиссар Л	3	–	–	–	–	–	–	3.29	7	–	–	–	–
Марокко Л	2	–	–	–	–	–	–	3.51	8	–	–	3.6	6
Алжир – Тунис Л	5	3.73	17	3.8	43	3.45	7	–	–	3.69	18	–	–
Восточная Африка Л	8	–	–	3.95	18	3.81	13	–	–	3.88	10	3.89	15

¹Буквами обозначены источники данных для составления аммонитовых комплексов: Л – литературные (литература не приводится по причине ее большого объема); К – коллекционные; А – авторские. КМ – количество местонахождений, по которым составлены сводные списки фауны для каждой области и вычислены ОПК. *n* – количество видов в аммонитовом комплексе. Прочерки означают отсутствие репрезентативных данных для вычисления ОПК по данному интервалу времени.

Изменение ОПК в зависимости от увеличения видового списка имеет вид степенной функции, т.е. темпы изменения ОПК постепенно понижаются и кривая выходит на плато. Характерно, что изменение ОПК даже при значительном увеличении видового списка не является существенным. Его увеличение в 2 раза изменяет ОПК лишь в 1.35 раза. Подобное увеличение списков разнообразия видами таксонов альтернативных биохорий совершенно нереально для любых районов, в особенности тех, где насчитываются десятки видов (в первую очередь для хорошо изученной Европы). Иначе вообще не имело бы смысла выделять биохории. Наиболее вероятно увеличение видового списка за счет видов местного происхождения или соседней биохории. Но в этом случае темпы изменения ОПК будут значительно ниже, что не изменит существенно полученные результаты. Поэтому имеющиеся на сегодняшний день данные по разнообразию аммонитов келловея и оксфорда являются репрезентативными для решения вышерассмотренных целей.

На следующем этапе изучения найденные ОПК наносятся на картографическую основу с построением изолинейной картины. В соответствии с подъярусным масштабом, в настоящей работе рассматриваются шесть палеотемпературных изолинейных картин, построенных для шести временных эквивалентов подъярусов келловея и оксфорда. В пределах Северо-Западной Евразии (Арктического, Европейского (Пери-Тетического), Тетического и Среднерусского бассейнов) по описанной методике изучено 201 аммонитовых комплексов по 361 местонахождениям для 54 районов (таблица). Материал для составления видовых списков и вычисления ОПК получен из анализа литературы, экспедиционных сборов автора (по Русской платформе), музейных и частных коллекций.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Пространственные изменения ОПК. Распределение ОПК на территории Северо-Западной Евразии можно отразить в виде относительных палеотемпературных картин с относительными палеоизотермами (ОПИ) (рис. 2–7). Последние позволяют рассмотреть особенности термического режима водной толщи келловей-оксфордских морей в двух аспектах – зональном и региональном.

Азональное (региональное) распределение ОПК отражается в изолинейной картине через нарушение широтной или субширотной ориентации изолиний путем изгибов. На современных картах водных температур изолинейные изгибы совпадают с траекториями течений (Леднев, Муромцев, 1953). Ориентация изгибов характеризует знак течения (для Северного полушария): юж-

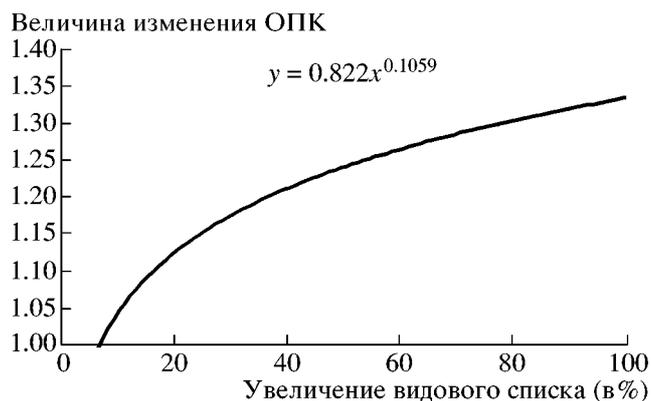


Рис. 1. Изменение ОПК в зависимости от увеличения в видовом комплексе видов, принадлежащим таксонам из альтернативных биохорий. Объяснения см. в тексте.

ная ориентация – холодное, северная – теплое. Поэтому наблюдаемые изгибы ОПИ, несмотря на их относительную природу и гипотетичность связи с палеотемпературными изолиниями, ниже будут трактоваться как гипотетические маркеры палеотечений.

Реконструкция палеотечений позволяет выявить общую систему циркуляции морских бассейнов Северо-Западной Евразии и ее изменения на протяжении келловей-оксфордского времени.

В раннем келловее удастся проследить как холодные, так и теплые течения (рис. 2, 8). Можно выделить два холодных потока, огибающих Скандинавский массив с запада и востока. Восточное течение впадает в Среднерусское море через Печорский рукав. Ранее (Киселев, 1998) оно было охарактеризовано как стоковое, зона питания которого находилась в более северных частях бореального бассейна. В Печорском бассейне или Среднем Поволжье это течение раздваивается, при этом западная часть переходит в Приднепровский рукав, а восточная – в Прикаспийский. Приднепровский холодный сток, вероятно, проникал в Крымский Тетис через Ореховский пролив (номенклатура по Сазоновой, Сазонову, 1967), где, возможно, также разветвлялся (там же). Согласно работе И. Г. Сазоновой, Н. Т. Сазонова Ореховский пролив в келловее отсутствовал, однако значительный процент бореальных форм в крымской аммонитовой фауне, отраженный в ОПИ, позволяет предположить его существование. Восточная, Прикаспийская ветвь, видимо, уходит в среднеазиатский регион (Памирскую провинцию, по Аманниязову, 1971).

Другое холодное течение, огибавшее Скандинавский массив с запада, вероятно, также имело стоковый характер. На севере оно прижимается к Восточной Гренландии, после чего отклоняется к востоку и проникает в Европу между Англией и

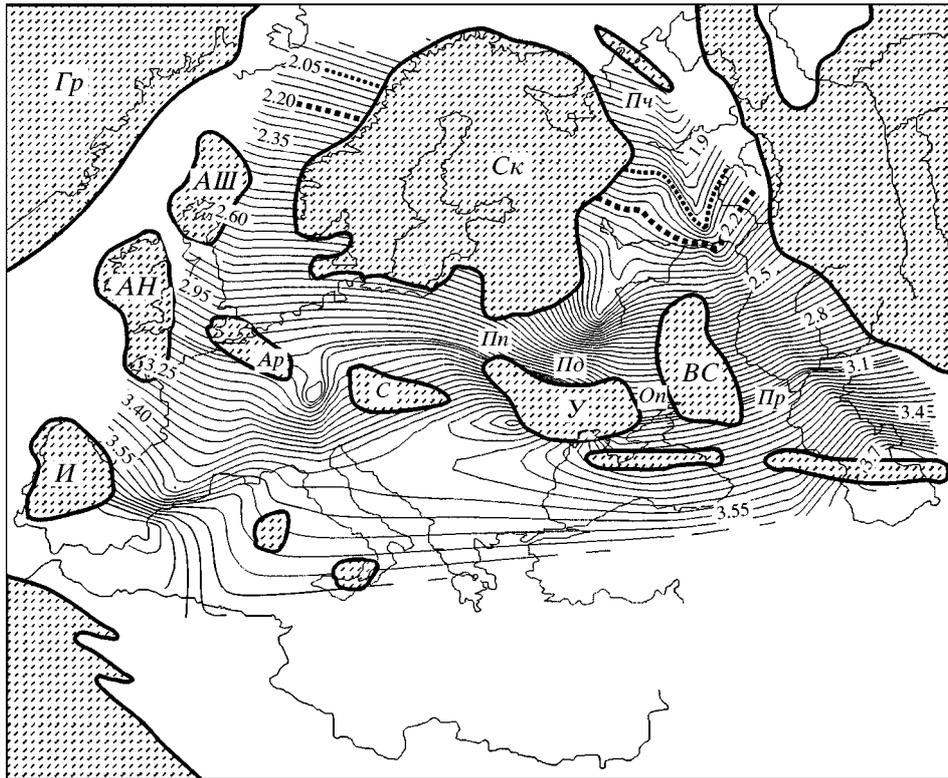


Рис. 2. Распределение ОПК Северо-Западной Евразии в раннем келловее. Палеогеографическая основа взята из работ: Сазонова, Сазонов, 1967; Thierry, 1976; 1982; Cariou et al., 1985; Dommergues et al., 1987a, b; Ziegler, 1990; Stampfli et al., 1998 (с упрощениями).

АН – Англо-Нормандская суша; Ар – Арденнский массив; АШ – Англо-Шотландская суша; ВС – Воронежско-Ставропольская суша; Гр – Гренландия; И – Иберийский массив; Оп – Ореховский пролив; Пп – Припятский пролив; Пд – Приднепровский бассейн; Пр – Прикаспийский бассейн; Пч – Печорский бассейн; С – Судетский массив; Ск – Скандинавский массив; У – Украинский массив. Изолинии здесь и далее построены в программе Surfer 7 методом триангуляции Natural Neighbor. Тонкой пунктирной линией показана изолиния со значением 2.05 (примерно соответствующей термической границе между тропическими и субтропическими водными массами (см. текст)); жирной линией отмечена изолиния 2.2, примерно соответствующая термической границе современного распространения герматипных кораллов (объяснение см. в тексте).

Норвегией. При этом главный фарватер стока проходит через Южную Германию (здесь встречается особенно много бореальных видов) и затем уходит в Тетис. Оба холодных течения были, вероятно, основными путями миграции бореальных аммонитов. Это предположение совпадает с миграционной картиной, предложенной Ж. Тьерри (Thierry, 1976), выделявшим в келловее два пути бореальных миграций.

Противоположные изгибы изолиний, направленные к северу, также образуют цепную последовательность, что позволяет выделить теплые течения, которые наблюдаются как в Европе, так и в Среднерусском море. Европейское теплое течение начинается в Тетисе и первоначально фарватер стока направляется в Польское море (с этим, видимо, связано обильное развитие здесь карбонатных фаций). Продвигаясь на север, течение неизбежно упиралось в Скандинавский массив и вынуждено было отклониться. При этом оно омывало массив с юга и, вероятно, уходило

через Припятский пролив в Среднерусское море. Здесь теплое течение отмечается вдоль восточного края Скандинавского массива слабым изгибом ОПИ. Оно начинается в Приднепровском бассейне, видимо, прижимаясь к берегу, следуя так до Печорского рукава. Это подтверждается обилием европейских фаунистических элементов в Приднепровском бассейне, что позволяет предположить существование однонаправленного миграционного потока в области Припятского пролива уже в раннем келловее (Янин, 1998, 1999). При этом теплое течение могло быть определяющим миграционным фактором.

В картине **среднего келловее** наблюдается повсеместное смещение ОПИ к северу, по сравнению с нижним. Это должно означать значительное потепление вод во всем регионе и сопровождаться миграцией на север южной морской биоты. Последнее наблюдается как по аммонитам, так и по остальным группам морских беспозвоночных (Янин, 1998). Общая система циркуля-

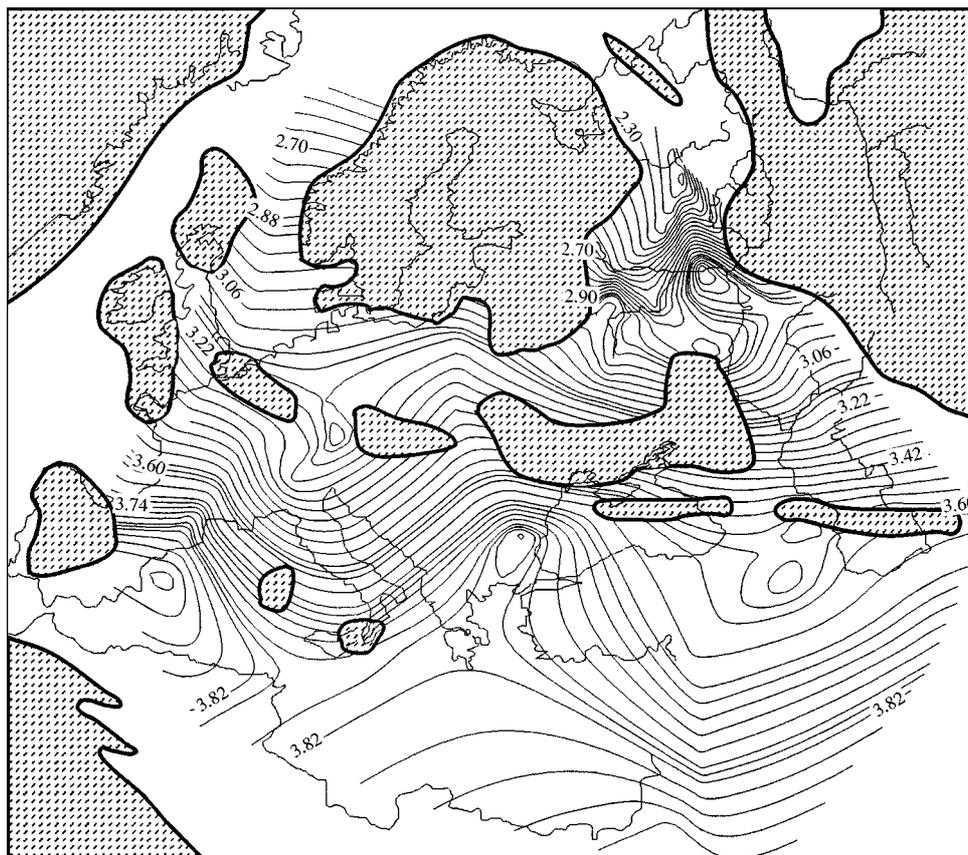


Рис. 3. Распределение ОПК Северо-Западной Евразии в среднем келловее. Усл. обозначения см. на рис. 2.

ции предположительно остается той же: наблюдаются два холодных стоковых течения, теплое субмеридиональное Европейское течение и Приднепровское теплое противотечение, при этом ориентация и расположение их примерно сохраняется (рис. 3, 8). В деталях среднекелловейская картина изменяется по сравнению с раннекелловейской и дополняется новыми данными. Так, в районе Тетиса впервые наблюдается серия изгибов, направленных с востока. Вероятно, здесь следует ожидать меридиональное течение, которое опоясывало всю планету вдоль экватора и имело западное направление (Хэллем, 1978; Епай, 1980; Westermann, 1981). Современный его аналог – северное экваториальное (пассатное) течение – располагается на 5° – 10° (в периоды равноденствий) севернее экватора (Леднев, Муромцев, 1953). Судя по изгибу изолиний, на долготе Румынии предполагаемое течение поворачивает на север и упирается в Украинскую сушу. Здесь воды расходятся в две противоположные стороны: главная ветвь направляется на север в Польское море; побочная ветвь идет вдоль Украинской суши на восток, встречаясь с холодным течением из Среднерусского моря.

В этом же районе в Тетисе наблюдается предполагаемый след другого теплого течения, имеющего восточное направление. Согласно изгибу изолиний, оно проходило между Испанским (Иберийским) островным массивом и Северной Африкой почти параллельно экваториальному течению, рассмотренному ранее. Предполагаемое течение могло выходить в Тетис по длинному и узкому проливу из Карибского бассейна (Испанскому корридору, по Westermann, 1984, 1993) причем последний мог обладать (и, скорее всего, обладал) особой циркуляционной системой, связанной с дополнительными источниками воды и специальными окнами ее расхода. Поэтому этот поток мог быть простым стоковым течением Карибского бассейна. Этим он топологически напоминает Гольфстрим, хотя и не обязательно является его генетическим предшественником, так как Гольфстрим, питание которого осуществляется пассатными течениями, является теплым течением океанического типа, между тем как Испанский корридор, ранний прообраз Атлантического океана (“epicontinental Proto-Atlantic” по Thierry, 1982), в гидрологическом смысле океаном не был. Дно последнего еще в келловее имело, в основном, материковую природу (Westermann, 1981,

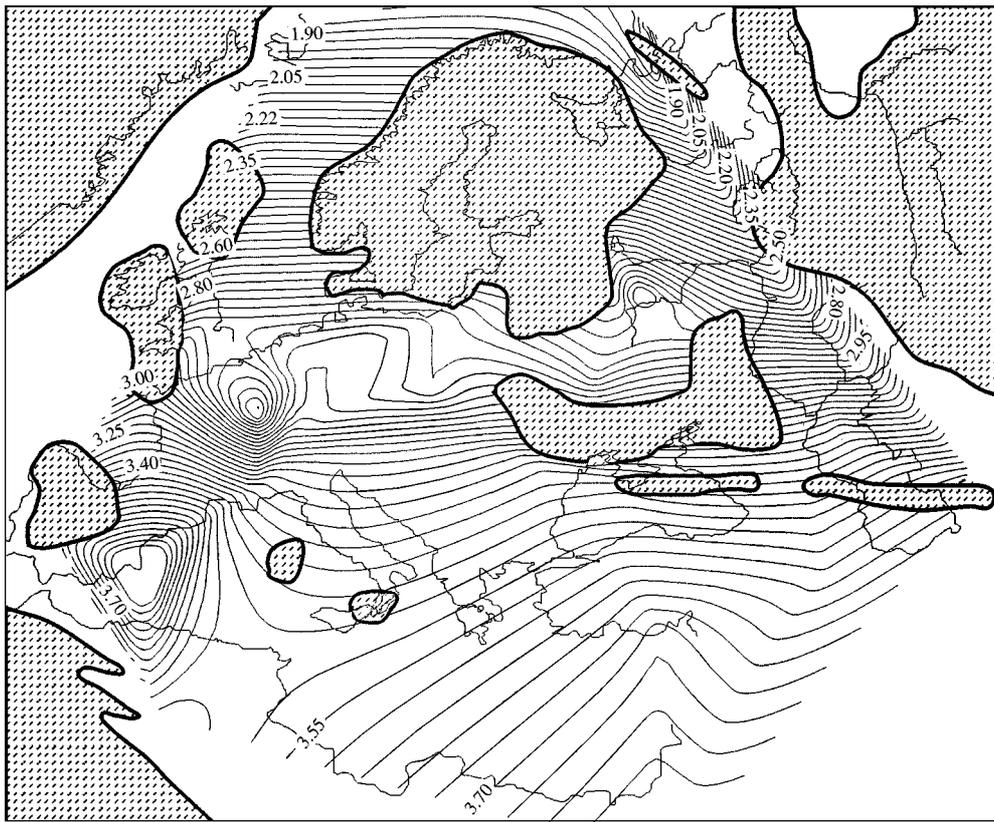


Рис. 4. Распределение ОПК Северо-Западной Евразии в позднем келловее. Усл. обозначения см. на рис. 2.

1993). Скорее всего, Карибское море было большим бассейном выпаривания, что подтверждается широким распространением эвапоритов в этом районе (Хэллем, 1978). Здесь образовывались очень теплые пересоленные и тяжелые воды, вытекавшие в Тетис по “Испанскому коридору”. Есть основания полагать, что в раннем келловее система тетических течений имела аналогичный вид (об этом говорит сходное расположение нететических течений), но отсутствие более полных данных по раннекелловейским тетическим комплексам аммонитов не позволяет это проверить в настоящее время.

В Среднерусском море среднего келловее циркуляционная картина несколько усложняется по сравнению с ранним. Бореальные стоковые воды, вероятно, уже не проникают в Тетис в районе Крыма (Ореховский пролив закрыт – Сазонова, Сазонов, 1967). При этом они упираются в выходящие из рукава теплые воды Приднепровского течения, которые, судя по поведению изолиний, в этом месте отклоняются как бы под напором холодного. Хорошо видно, что Приднепровское течение продолжает двигаться вдоль Скандинавского массива, как и в раннем келловее. Вероятно, здесь следует предположить возникновение зоны конвергенции теплых и холодных вод. В

этом месте холодное течение делает крутой изгиб, после чего огибает Воронежскую сушу и затем проникает в Тетис через Прикаспийский бассейн. В Тетисе Среднерусское холодное течение поворачивает на запад, где встречается с теплым тетическим течением.

В относительной палеотемпературной реконструкции **позднего келловее** (рис. 4) изолинии смещаются к югу в северной части региона до широты Англии (до ОПИ 2.95). Южнее изолинии остаются в том же положении. Это изменение должно означать похолодание вод севернее Англо-Шотландского массива. Циркуляционная картина принципиально не меняется, так как все главные течения остаются на своих местах (рис. 8). Небольшие изменения заключаются в следующем: 1. Западное тетическое течение проникает в северную часть Европейского моря (севернее Арденнского массива) не со стороны Польского моря, а со стороны Германии. Не исключено, что и в раннем келловее было так же, хотя это и не отражено изолиниями. 2. Западная ветвь Среднерусского бореального течения заходит в Приднепровский рукав и идет чуть южнее, параллельно теплему и, вероятно, вытекает в европейский бассейн, используя Припятский пролив. Возможно, эти течения идут на разной глубине. 3. Сред-

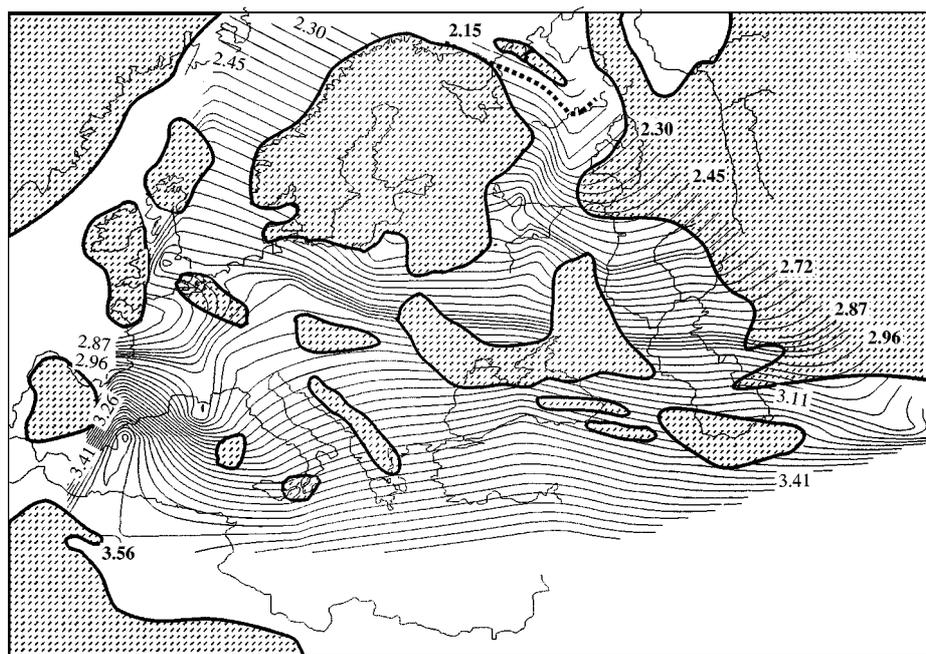


Рис. 5. Распределение ОПК Северо-Западной Евразии в раннем оксфорде. Усл. обозначения см. на рис. 2.

нерусская зона конвергенции, видимо, исчезает, но, возможно, она не отражена в изолиниях.

В **раннем оксфорде** наблюдается, в целом, та же конфигурация предполагаемых теплых и холодных течений (рис. 5, 8). В отличие от среднего келловея западный бореальный сток уже проходит не в области Германии, а через Нормандию. При этом он, видимо, должен был проходить западнее Британских островов, хотя это и не отражено в изолиниях. Одновременно, западное тетическое течение не проникает в Польское море, а направляется к Англо-Нормандскому массиву. Здесь, судя по резким изгибам изолиний, теплое и холодное течение сталкиваются и образуется зона конвергенции. В Среднерусском море европейские воды проникают в меньшей степени, чем в позднем келловее, поэтому здесь господствуют ветки бореального стока и бореальная фауна.

В **среднем оксфорде** (рис. 6, 8) общая конфигурация предполагаемых течений остается той же. В глобальном масштабе наблюдается почти повсеместное, но незначительное смещение ОПИ к северу, что означает потепление вод во всем регионе. Возможно это связано с усилением стока тетических течений, что подтверждается более выпуклыми изгибами ОПИ, направленными на север, в особенности в Среднерусском море.

В картине **позднего оксфорда** наблюдается резкое смещение изолиний к югу и "вторжение" с севера ОПИ с очень низкими значениями (рис. 7). Причем, как и в позднем келловее, это явление затрагивает, в основном, территорию севернее Англии или Нормандии. Вероятно, данное сме-

щение опять соответствует похолоданию и вторжению бореальных вод, только масштаб этого события гораздо значительнее, чем это наблюдается в предыдущих случаях. В особенности это характерно для Среднерусского моря, которое почти полностью находится в области бореальных значений ОПИ.

Общая система циркуляции в морях Северо-Западной Евразии принципиально не меняется, однако в деталях наблюдаются определенные изменения (рис. 8). В Среднерусском море исчезает видимое влияние тетических теплых течений, наблюдавшихся в среднем оксфорде. Бореальный сток увеличивается очень сильно и охлаждает воды всего Среднерусского моря, вплоть до Прикаспийского бассейна и примыкающих районов Тетиса (Мангышлак, Копетдаг). Приднепровский бассейн также вновь принимает ветвь бореального стока, что совпадает с широким раскрытием Ореховского пролива (Сазонов, Сазонова, 1967). При этом на севере Приднепровского рукава наблюдается зона конвергенции теплых и холодных вод, напоминающая среднекелловейскую. В отличие от последней бореальные воды более активно проникают в Приднепровский рукав, к западу от Воронежской суши (Рязанская область), после чего они направляются в Ореховский пролив. Теплое Приднепровское течение, двигаясь на север, упирается в бореальный поток и частично увлекается на юг. В результате этого в позднем оксфорде, как и в среднем келловее, образуется круговое теплое течение в центре Среднерусского моря. Его существование дополнительно под-

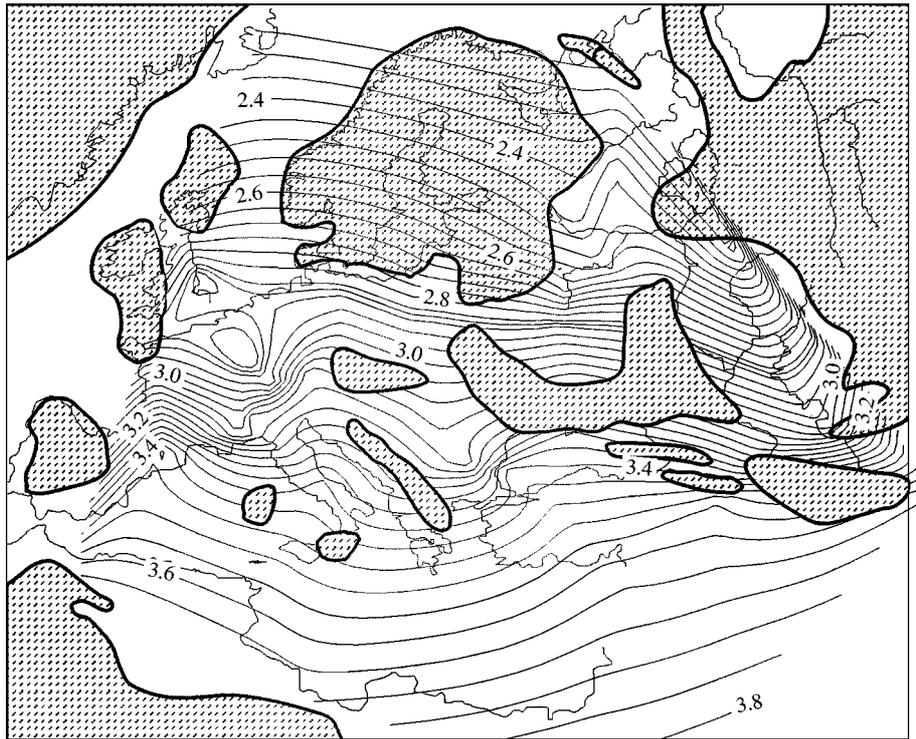


Рис. 6. Распределение ОПК Северо-Западной Евразии в среднем оксфорде. Усл. обозначения см. на рис. 2.

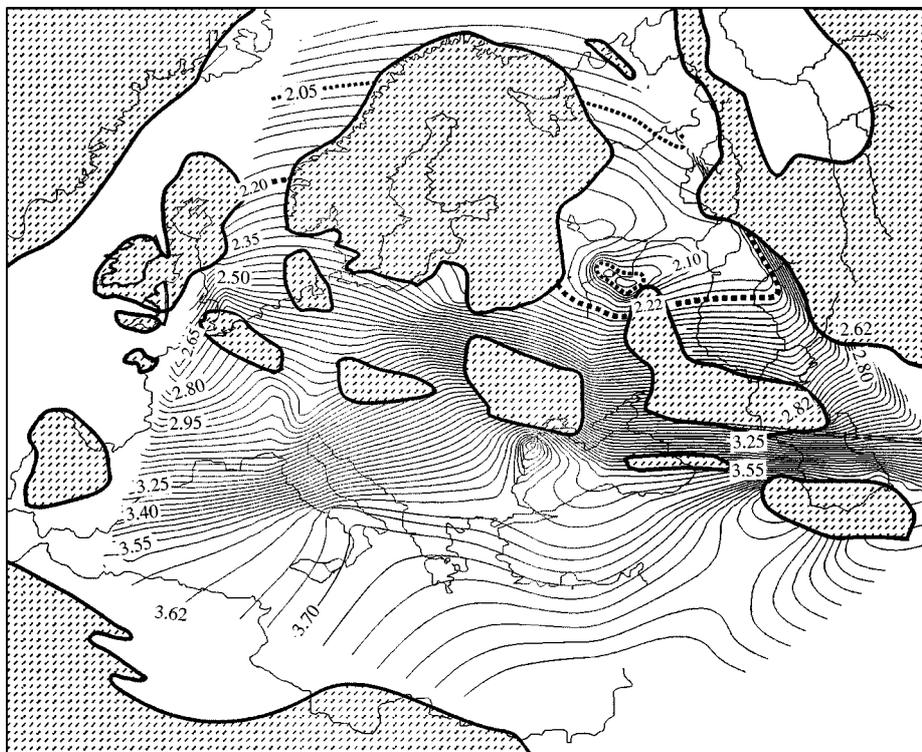


Рис. 7. Распределение ОПК Северо-Западной Евразии в позднем оксфорде. Усл. обозначения см. на рис. 2.

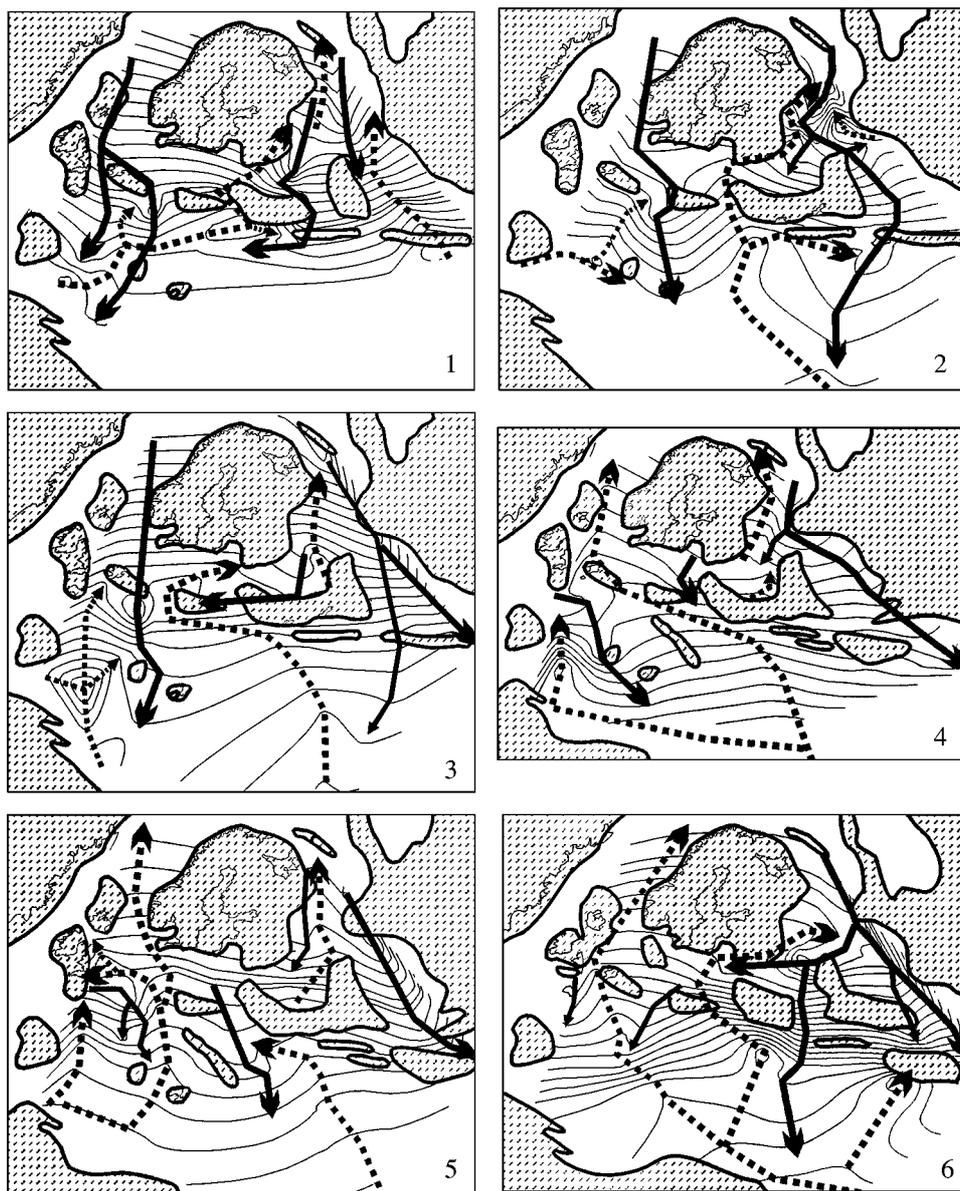


Рис. 8. Реконструкция циркуляции в келловей-оксфордских морях Северо-Западной Евразии. Направления течений обозначены прямыми линиями, проведенными через вершины изгибов изолиний ОПК. Нисходящие линии (черная жирная линия) рассматриваются как траектории холодных течений, восходящие (пунктир) – как теплых. Местами линии пересекают сушу, а не огибают ее, как настоящие течения. Это объясняется более широкой экстраполяцией данных (недостатком информации) по этим районам, поэтому линия показывает не точную траекторию течения, а примерное его направление.

1 – ранний келловей; 2 – средний келловей; 3 – поздний келловей; 4 – ранний оксфорд; 5 – средний оксфорд; 6 – поздний оксфорд.

тверждается находками склерактиний, которые отмечаются в осевой части “теплых” изгибов изолиний (рис. 10).

Холодное течение, выходящее из Ореховского пролива, упиралось в мощный теплый поток Тетиса. В этом месте наблюдается притупление изгибов “теплых” изолиний и вклинивание “холодных”. Одновременно происходит уплотнение изолиний, что подтверждает существование здесь зоны конвергенции.

Зональное распределение ОПИ четко прослеживается на всех изображениях, при этом наблюдается закономерное падение значений ОПК с юга на север. Это соответствует похолоданию вод, совпадающее с увеличением широты места. Согласно широко принятым представлениям, расположение юрских палеоширот отличалось от современного. Юрский экватор располагался примерно на 30° севернее и проходил по территории Южного Средиземноморья (Аркелл, 1956;

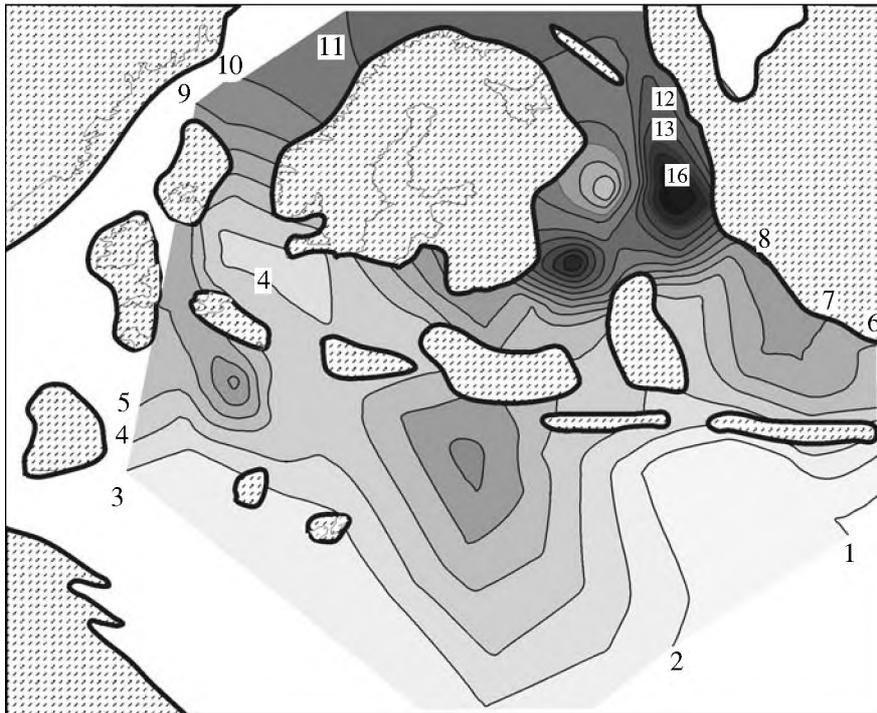


Рис. 9. Амплитуда колебаний ОПК на территории Северо-Западной Евразии в келловей-оксфордское время. Изменение значений отражено изолиниями и штриховкой. Цифровые значения изолиний показывает среднее квадратичное отклонение от среднего значения ОПК в процентах. Палеогеографическую номенклатуру см. на рис. 2.

Боуэн, 1969; Thierry, 1976; Cariou et al., 1985; Dommergues et al., 1987; Stampfli et al., 1998 и др.). Это положение подтверждается как абсолютными, так и относительными палеотемпературными данными, характеризующими положение экваториальных водных масс.

Как известно, важнейшей относительной характеристикой водной массы является годовая амплитуда температур. Величину размаха температурных колебаний можно использовать и для значительно более широких промежутков времени, чем год, если в это время относительное положение материков по отношению к экватору изменилось незначительно. При этом она также будет характеризовать зональный тип водной массы, что и было использовано в предыдущей работе (Киселев, 1998). Картина колебаний ОПК на протяжении келловей-оксфорда (рис. 9) показывает закономерное увеличение амплитуды с широтой, осложненное региональными отклонениями, причем в наиболее южной части данной территории, соответствующей северной части Тетиса, колебания ОПК почти затухают. Наименьшие колебания температур в современных океанах в основном характерны для тропических водных масс, где они достигают 1–3°C (Жижченко, 1974), что соответствует 3–10, 12% от среднегодовых. На почти всей рассматриваемой территории общие колебания ОПК не пре-

вышают 10%, что позволяет ее располагать в области тропических водных масс, северная граница которых располагается, видимо, чуть севернее Скандинавского блока, хотя безусловно, ее положение колебалось при изменении термического режима.

Как уже отмечалось, абсолютные значения палеотемператур вычислены для ограниченного числа точек во времени и пространстве, что не дает возможности составить полную палеотемпературную картину. Если экстраполировать эти данные на относительные, то становится возможным, с той или иной долей гипотетичности, проводить абсолютные изотермы по имеющимся относительным для территорий разного размера. Сопоставление палеотемпературных данных по позднему оксфорду, приведенных рядом авторов для Восточной Гренландии, Франции и Швейцарии (Боуэн, 1969; Padden, in press.), Шотландии (Tan et al., 1970), Шпицбергена (Ditchfield, 1997) и Европейской России (Riboulleau et al., 1998) с верхнеоксфордским распределением ОПИ позволяет дополнить ранее приведенную картину. Ввиду противоречивости данных разных авторов, использующих различные методики палеотермометрии и отсутствия достаточно показательной информации по остальным отрезкам времени, приводится картина только по позднему оксфорду (рис. 10). Экстраполяция абсолют-

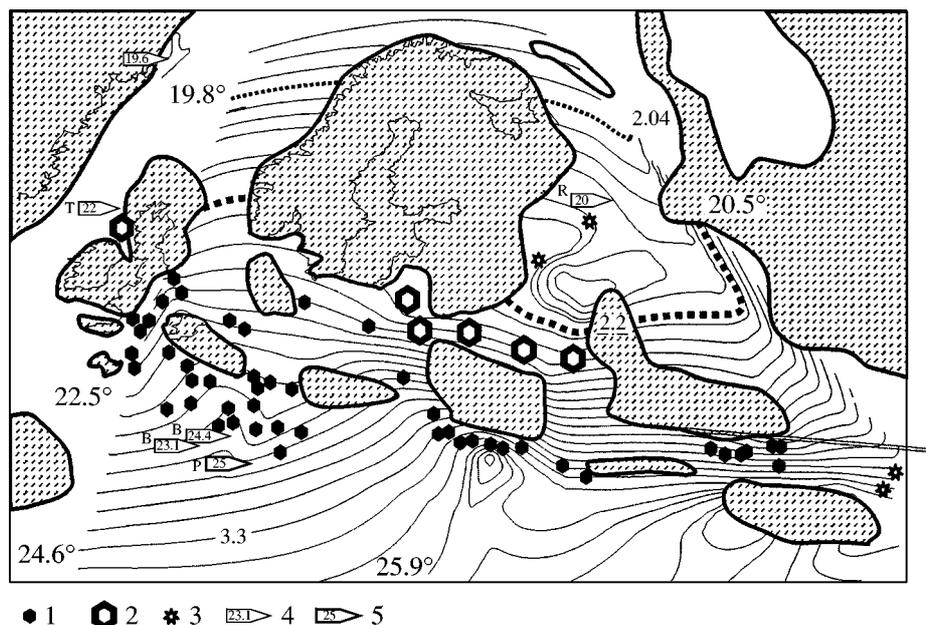


Рис. 10. Северная граница распространения склерактиний в позднем оксфорде на территории Северо-Западной Евразии.

Изолинии ОПК приведены в соответствии с абсолютными значениями палеотемператур, в градусах (объяснения см. в тексте). Жирной пунктирной линией отмечена изолиния 2.2, примерно соответствующая термической границе (изотерма 20.5°) современного распространения герматипных кораллов (см. в тексте). Тонкой пунктирной линией показана изолиния со значением 2.04 (примерно соответствующей термической границе между тропическими и субтропическими водными массами (объяснение см. в тексте)). 1 – местонахождения массивных построек рифового типа; 2 – местонахождения биогермов и биостромов; 3 – местонахождения одиночных склерактиний или небольших поселений типа коралловых лугов (по Arkell, 1933; Герасимов, 1955; Аркелл, 1961; Сазонова, Сазонов, 1967; Краснов, 1983; Leinfelder, 1993; Bertling, 1993; Bertling, Insalaco, 1998); 4–5 – географические точки палеотемпературных определений по $\delta^{18}\text{O}$ в белемнитах. 4 – данные взяты в платформенных или периплатформенных осадках; 5 – данные взяты в зоне развития альпийских надвигов (т.е. седимент, в котором отбирались образцы, был образован южнее и данные палеотемпературные определения относятся к более южным районам). Буквенными индексами обозначены источники определений: В – Боуэн, 1969 (Гренландия, Земля Милна; Франция, Ду; С. Швейцария, Аарго); Р – Padden, in press. (Южная Швейцария, Монтсальвенс); R – Riboulleau et al., 1998 (Европейская Россия, Макарьев); Т – Tan et al., 1970 (Шотландия, Скай).

ных палеотемпературных аналогов (АПА) по относительным палеотемпературным коэффи-

циентам (ОПК) для позднего оксфорда имеет следующий вид:

ОПК	1.86	2.04	2.22	2.4	2.58	2.76	2.94	3.12	3.3	3.48	3.66	3.84
АПА (в °С)	19.2	19.8	20.5	21.2	21.9	22.5	23.2	23.9	24.5	25.2	25.9	26.5

Если данная экстраполяция верна, то в рассматриваемой системе келловейско-оксфордских бассейнов максимальные палеотемпературы наблюдаются в южной части средиземноморского Тетиса, в районе современного Египта, где температура оценивается около 26°C. Это значение примерно соответствует современной среднегодовой температуре вод в районе экватора. Минимальное значение палеотемператур отмечается для Восточной Гренландии (19.6°C), что характерно для теплых субтропических водных масс. Согласно принятому разделению водных масс, граница между тропическими и субтропическими массами проводится по изотерме 20°C (Жижченко, 1974). В нашем случае ей примерно соответ-

ствует ОПИ 2.04. Положение этой линии менялось на протяжении келловейско-оксфорда, причем наибольшее ее опускание к югу наблюдается три раза (рис. 2–7) – в раннем и позднем келловее и в позднем оксфорде. Однако и в этих случаях большая часть Северо-Западной Евразии находится под влиянием тропических водных масс. Чаще всего за пределами последних оказываются самые южные точки бореального бассейна (Восточная Гренландия и бассейн Печоры) и только лишь в позднем оксфорде за этой изолинией оказывается еще и центр Среднерусского моря (рис. 11). Наблюдаемая картина подтверждается данными абсолютной палеотермометрии для раннего-среднего келловей Англии (только по аммо-

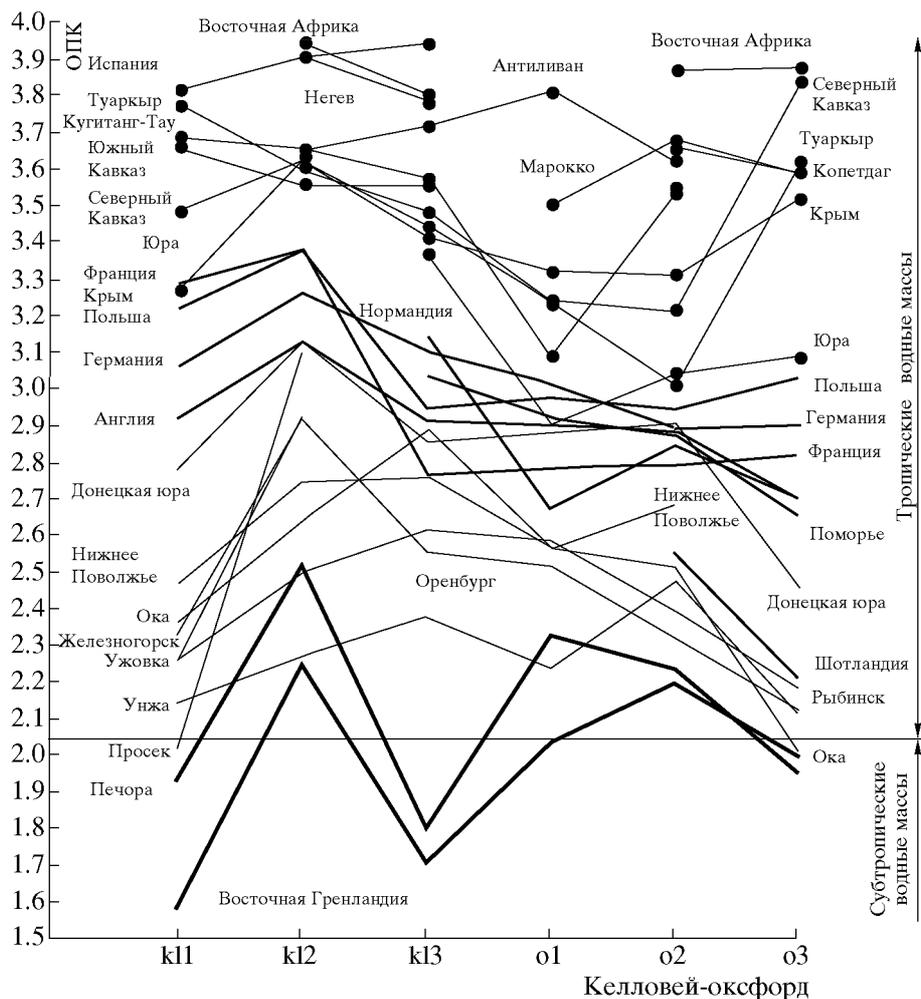


Рис. 11. Изменение относительного палеотемпературного коэффициента (ОПК) на протяжении келловей-оксфорда в 30 районах Северо-Западной Евразии. Жирными линиями обозначены кривые районов Арктического бассейна, линиями средней толщины – районов Европы, тонкими – районов Среднерусского моря, линиями с кружками – районов Тетиса. Рисунок построен на основе предыдущего (Киселев, 1998, рис. 2) с дополнениями и некоторыми изменениями.

нитам (Anderson et al., 1994)) и противоречит данным для позднего келловей-раннего оксфорда для бассейнов Северо-Западной Европы, Гренландии, Европейской России (Riboulleau et al., 1998) и Центральной России (Барсков, Кияшко, 2000). В последних работах значение изотопных палеотемператур на порядок ниже: 8–17.8°C (первая работа, рис. 2) и 6–12.5°C (вторая работа, по кривой рис. 1). Оценить это несоответствие достаточно трудно в силу существования известных противоречий методов изотопной палеотермометрии. Так, М. Груцинский отрицает палеотемпературную значимость изменений геохимических показателей в том случае, если существует положительная корреляция кривых изменений $\delta^{18}\text{O}$ и $\delta^{13}\text{C}$ (Gruszczynski, 1998). Последние он трактует только как индикаторы состояний стратификации (а также аноكсии-оксигенации донных осад-

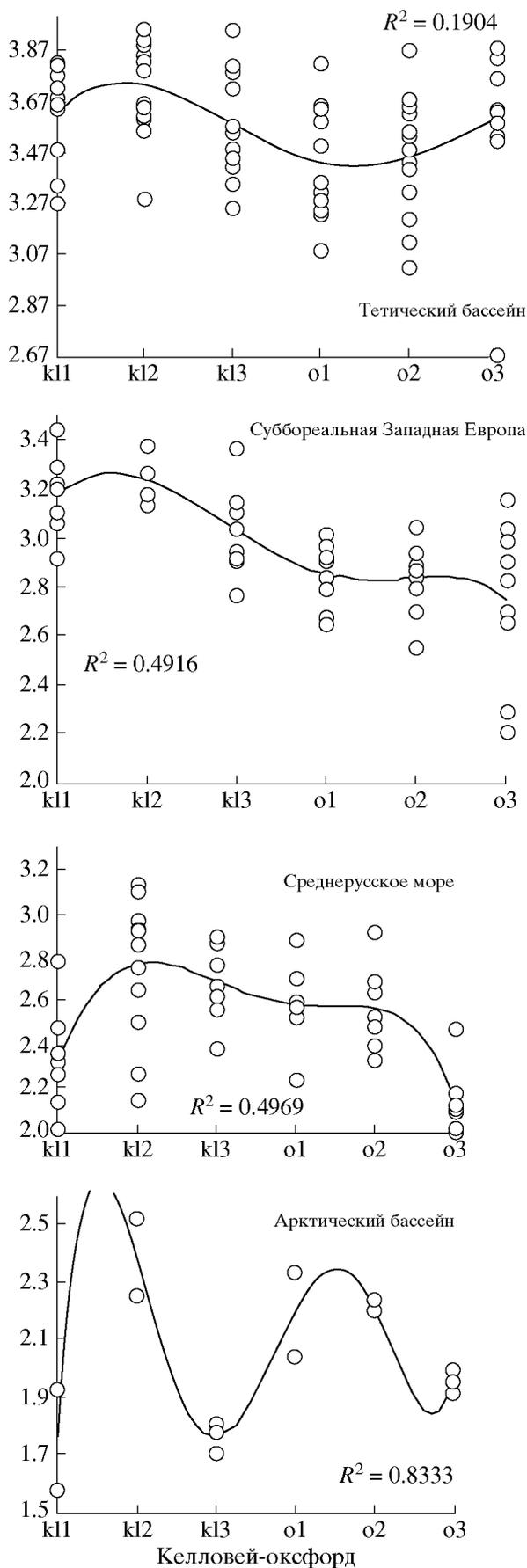
ков) морских палеобассейнов. В большинстве работ, в том числе и в вышеуказанных, положительная корреляция кривых изменений $\delta^{18}\text{O}$ и $\delta^{13}\text{C}$ действительно наблюдается. В работе Т. Андерсона и др. (Anderson et al., 1994) значительный разброс изотопных палеотемператур обнаруживается только для различных таксономических групп, живших в различных горизонтах воды. Наиболее высокие палеотемпературные показатели характерны для аммонитов, живших в верхних горизонтах моря (15–30°C с оптимумом нормального распределения в районе 20–23°C). Для келловейских белемнитов этот показатель равен 11–19°C с оптимумом 13–17°C, что объясняется в работе более глубоководным образом их жизни. Последнее может объяснить рассмотренное выше несоответствие, так как в большинстве работ

палеотемпературные определения сделаны по белемнитам.

Два рода палеотемпературных показателей, абсолютные и относительные, отражают примерно одну и ту же картину (типы водных масс, их границы и распространение) для всей системы морских палеобассейнов Северо-Западной Евразии. Это позволяет полагать, что они действительно отражают какие-то реальные закономерности. Обрисованная ситуация подтверждается некоторыми дополнительными наблюдениями в области распространения различных индикаторов температур, например, герматипных кораллов. В позднем оксфорде склерактинии проникли далеко на север, вплоть до Поморья и Шотландии (рис. 10). В последнем случае они образовывали массивные, но небольшие биогермы и биостромы (Краснов, 1983). В распространении кораллов выявляется интересная закономерность: все отмеченные случаи наиболее северного распространения герматипных склерактиний располагаются вблизи ОПИ 2.22, что примерно соответствует изотерме 20.5°C – температурной границе современного распространения рифообразующих кораллов. При этом они практически не пересекают ее. Более того, распространение кораллов происходит почти параллельно всей системе изолиний, что свидетельствует о термическом контроле над распространением позднеоксфордских кораллов. Наблюдаемая граница распространения герматипных склерактиний является, видимо, реальной, поскольку севернее от нее наблюдается таксономическое и экологическое обеднение в суббореальных коралловых ассоциациях. Самые северные местонахождения кораллов (ОПИ 2.7, примерно соответствующая температуре 22°C) не представляют рифовых построек. Коралловые сооружения в этих местах (Шотландия, Припятский прогиб и Донецкий бассейн) являются небольшими биогермами, что говорит об угнетенности их образовавших коралловых сообществ. Выше ОПИ 2.22 изредка отмечаются находки кораллов, которые не являются герматипными (Подмосковье (Герасимов, 1955); Унжа). В основном это крохотные одиночные склерактинии. Угнетенные ассоциации агерматипных кораллов обнаружены и южнее (в Туркмении (Краснов, 1983; Аманниязов, 1971)), на широте массовой встречаемости рифообразующих кораллов. Можно предположить, что региональный сдвиг этих угнетенных сообществ связан с влиянием холодного течения. Разумеется, рассмотренная закономерность не является безусловным аргументом при палеотемпературной реконструкции, так как распространение герматипных склерактиний контролируется не только температурой (Leinfelder, 1993). Причины экспансии кораллов в позднем оксфорде сложны и требуют особого исследования, однако зональный характер распространения этой

группы позволяет говорить о большом значении температурного контроля в этом событии.

Изменения ОПК во времени. На протяжении келловейского и оксфордского веков в большинстве рассматриваемых районов (из 54) наблюдаются вполне определенные изменения ОПК (рис. 11, 12), которые зачастую носят ритмический характер. Для подавляющего большинства районов характерно повышение ОПК в среднем келловее, но лишь для некоторых это значение является пиковым. Для суббореальных регионов (Европейский бассейн и Среднерусское море) и Арктического бассейна общим является постепенное или скачкообразное падение ОПК от среднего келловя к позднему оксфорду с резким падением ОПК в позднем оксфорде. На границе келловя и оксфорда (в позднем келловее или раннем оксфорде) в большинстве районов также наблюдается относительный палеотемпературный минимум. Однако в наблюдаемой картине помимо глобальных закономерностей, более заметны многочисленные региональные отклонения. Так, кардинально отличается поведение кривых для Арктического и Тетического бассейнов (в первую очередь для оксфорда). Также потепление в позднем оксфорде вод Крымско-Кавказского Тетиса (миграция на север Тетического течения) сопровождается похолоданием вод в Среднерусском море (усиление и раздвоение бореального стока). Больше общих черт характерно для регионов Суббореальной провинции, однако и здесь существует много отклонений. Наибольшее сходство в поведении кривых наблюдается *между районами одного региона*. Отсюда можно заключить, что региональные изменения термического режима бассейнов в келловее и оксфорде преобладали над глобальными. Общие потепления или похолодания, видимо, имели место, но лишь в небольшой степени. В аппроксимированных (трендовых) кривых (рис. 12) можно выделить три общих пика: нижнекелловейский минимум, среднекелловейский максимум и пограничный минимум между келловеем и оксфордом. Как общую закономерность их можно выделять по данным кривым лишь условно, поскольку коэффициент корреляции достаточно высок только для Арктического бассейна. Тем не менее эту закономерность и некоторые более частные закономерности подтверждают данные ряда работ, где приводятся результаты анализа изотопных соотношений кислорода в карбонатах из ряда разрезов келловя и оксфорда на территории Северо-Западной Евразии, а также Америки. Пограничный келловей-оксфордский минимум отмечается для Англии, Польши (Gruszczynski, 1998); Центральной России (Riboulleau et al., 1998; Барсков, Кияшко, 2000); верхнеоксфордский минимум и, частично, среднеоксфордский максимум – для Перитетической провинции, Западной Кубы (Gruszczynski,



1998; Riboulleau et al., 1998); Центральной России (Барсков, устное сообщение). Совпадения ритмов изменений $\delta^{18}\text{O}$ и ОПК позволяет рассматривать последние не как случайные и дает некоторую возможность трактовать их как отражение реальных палеотемпературных колебаний.

ОБСУЖДЕНИЕ

Обобщая рассмотренную картину циркуляции в келловей-оксфордских морях Северо-Западной Евразии, можно отметить характерное постоянство в количестве и расположении предполагаемых главных течений. К ним относятся Европейское и Среднерусское холодные стоковые течения и теплые Тетическое и Приднепровское течения. Все они характеризуются примерно одним и тем же географическим положением и направлением стока.

На протяжении келловей-оксфордского времени неоднократно наблюдаются зоны конвергенции теплых и холодных течений с предположительно вертикальной циркуляцией, причем располагаются они примерно в одних и тех же местах. В Среднерусском море этим местом является его центр, на стыке трех его рукавов (средний келловей и поздний оксфорд). В Тетисе повторяется расположение зоны конвергенции вблизи юго-западного края Украинской суши (район Днестра) (ранний, средний келловей, поздний оксфорд). Постоянство описанной циркуляционной системы позволяет полагать, что она отражает реальные события. В связи с этим реальными можно считать и некоторые отклонения от общей картины. Ее достоверность подтверждается и направленностью изменений в циркуляционной системе келловей-оксфордских морей. Так, направленными были перемещения Европейского Бореального течения и теплого Тетического, которые смещались в западном направлении. Показанные региональные отличия гидрологического режима подтверждаются и абсолютными палеотемпературными данными, рассмотренными ранее.

Обсуждаемая картина циркуляции довольно сложна и зачастую не находится в соответствии с факторами, определяющими гидрологический режим. В частности, направления некоторых течений изменяются вразрез с силой Кориолиса. Эти отклонения могут быть объяснены тем, что рассматриваемый регион в юре представлял, в ос-



Рис. 12. Тренды изменений относительного палеотемпературного коэффициента на протяжении келловей-оксфорда для 4 акваторий в пределах Северо-Западной Евразии. Трендовые линии аппроксимации являются полиномами шестой степени. Аппроксимлируемые значения для каждого региона даны в таблице (в тексте), а их группировка отображена на рис. 11.

новном, систему небольших мелководных эпиконтинентальных морей. Направление течений в таких морях определяется градиентом между низким и высоким уровнем воды в бассейне, который зависит, главным образом, от расположения областей питания и стока вод, определяемых широтой места, конфигурацией берегов, морфологией дна, и, для особенно мелких бассейнов, расположением устьев рек (Боуден, 1988). Сила Кориолиса является фактором глобальной циркуляции и отражается, в большей степени, на океанических течениях. В последнем случае наблюдается полное соответствие с позднечурской циркуляцией: теплое течение океана Тетис, вероятно экваториальное, на протяжении келловей и оксфорда всегда имеет западное направление, как и в современных океанах. В западной оконечности Тетиса оно упирается в сушу и под влиянием силы Кориолиса отклоняется на север, доходя до Гренландии, откуда закономерно поворачивает на восток и доходит, вероятно, до Сибири (Тейс, Найдн, 1973; Худолей, 1984, 1985, 1988, 1993).

Для рассмотренной картины характерно, что практически все палеотемпературные изменения в данной системе бассейнов на протяжении келловейского и оксфордского веков имели региональный (т.е. не планетарный) характер. Относительные палеотемпературные кривые, построенные для отдельных небольших районов (рис. 12), ведут себя согласованно только в рамках одного региона. Вероятно, поведение кривых отражает изменения в направлении теплых и холодных течений, которые были разными в разных бассейнах. Даже общее потепление вод в среднем келловее, видимо, имеет региональный характер. В связи с этим первичная климатическая интерпретация полученных данных вряд ли становится возможной. Самые высокие амплитуды колебаний ОПК (рис. 9) отмечаются именно в районах, где наблюдаются постоянные фарватеры предполагаемых течений, что свидетельствует о первичной зависимости палеотемпературных данных от гидрологических факторов. Остальные факторы, способные непосредственно повлиять на температуру воды (солнечная постоянная, температура воздуха и широта места) почти не прослеживаются в рассмотренной картине. Есть основание полагать, что скорее климат изменялся вслед за изменениями термического режима моря. Взаимный характер изменений термического режима наземного климата и морской среды в юре подтверждается для отдельных регионов, в частности для района Северного моря (Abbink et al., 2001). Палеоклиматические кривые для Скандинавской суши (ibid.), а также для всей Северо-Западной Европы (Poulsen, Riding, Burchard, in press) построенные на основе палинологических данных, удивительно совпадают с относительными палео-

температурными кривыми по аммонитам для суббореальных и бореальных районов (рис. 11, 12).

Возможным объяснением более или менее масштабных потеплений и похолоданий в данной системе палеоакваторий может служить сходная динамика трансгрессий и регрессий на протяжении келловей-оксфордского времени. Действительно, пик келловейской трансгрессии приходится на средний келловей (Сазонов, Сазонова, 1967; Hallam, 1988, 2001; Westermann, 1993), что коррелирует с повсеместным “потеплением” различных показателей палеотемператур. Та же ситуация характерна и для среднего оксфорда (Abbink et al., 2001; Gruszczynski, 1998) (самый теплый век во всей юре, по выражению Грущинского). Моменты регрессий (границы бата-келловей, келловей-оксфорда и оксфорда-кимериджа (Hallam, 1988, 2001; Norris, Hallam, 1995 (кроме границы келловей-оксфорда); Westermann, 1993; Сазонов, Сазонова, 1967)) сопровождаются понижением значений палеотемпературных показателей. В рассматриваемой ситуации подобные перемещения могут быть объяснены достаточно логично в рамках механизмов эвстатических изменений уровня моря. Эвстатические кривые (Haq et al., 1998 и др.) характеризуются критическими значениями в пиковые моменты трансгрессий и регрессий.

Обсуждаемая палеотемпературная и палеоциркуляционная картина несколько напоминает современный, термический тип океанического водообмена между высокими и низкими широтами, запускающим механизмом которого служит погружение тяжелых холодных вод в приполярных районах с образованием психросферы. Эта модель циркуляции уже применялась в реконструкции гидрологического режима “корридора Викинг” для поздней юры (Oschmann, 1987). Альтернативная модель для юры и мела предполагает другой тип водообмена – галинный (Красилов, 1985; Miller, 1991; Несов, 1997 и др., Abbink et al., 2001), при котором запускающее погружение происходит в низких широтах, но уже теплых пересоленных вод (S-даунвеллинг, по Несову). Несмотря на доминирование шельфовых морей в келловей-оксфордских акваториях Северо-Западной Евразии, здесь отсутствовали обширные бассейны выпаривания, необходимые для галинной циркуляции вод. Не исключено, что рассмотренная циркуляция могла иметь промежуточный характер, совмещающий признаки галинного и термического водообмена.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Аманниязов К. Биостратиграфия, зоогеография и аммониты верхней юры Туркмении. Ашхабад: Изд-во АН Туркменской ССР, 1971. 223 с.

- Аркелл В. Юрские отложения Земного шара. М.: Изд-во Ин. лит., 1961. 800 с.
- Барсков И.С., Кияшко С.И. Изменение термического режима юрского морского бассейна Восточно-Европейской платформы на рубеже келловей/оксфорд по данным анализа стабильных изотопов в рострах белемнитов // Докл. РАН. Геология. 2000. Т. 372. № 4. С. 507–509.
- Боуден К. Физическая океанография прибрежных вод. М.: Мир, 1988. 318 с.
- Боуэн Р. Палеотемпературный анализ. Л.: Недра, 1969. 206 с.
- Герасимов П.А. Руководящие ископаемые мезозоя центральных областей Европейской части СССР. М.: Госгеолтехиздат, 1955. Ч. II. 58 с.
- Жижченко Б.П. Методы палеогеографических исследований в нефтегазоносных областях. М.: Недра, 1974. 374 с.
- Киселев Д.Н. Относительные палеотемпературные изменения в Среднерусском море келловей-оксфордского времени // Экосистемные перестройки и эволюция биосферы. М.: ПИН РАН, 1998. Вып. 3. С. 96–105.
- Красилов В.А. Геологическое время: направленные и периодические процессы // Экостратиграфия. Теория и методы. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1985. С. 11–27.
- Краснов Е.В. Кораллы в рифовых фациях мезозоя СССР. М.: Наука, 1983. 158 с.
- Леднев В.А., Муромцев А.М. Течения Мирового океана // Морской атлас. Л.: Изд-во Глав. штаба ВМС, 1953. Т. II. С. 26–31.
- Несов Л.А. Неморские позвоночные мелового периода Северной Евразии. СПб.: БИН РАН, 1997. 217 с.
- Сазонова И.Г., Сазонов Н.Т. Палеогеография Русской Платформы в юрское и меловое время. Л.: Недра, 1967. 260 с.
- Сакс В.Н. Палеотемпературные определения // Опорный разрез верхнеюрских отложений бассейна р. Хеты. Л.: Наука, 1969. С. 95–98.
- Тейс Р.В., Найдин Д.П. Палеотемпературный и изотопный состав кислорода органических карбонатов. М.: Наука, 1973. 254 с.
- Худолей К.М. Пути расселения аммоноидей и направления течений в Тихом океане в мезозое // Палеонтология. Морская геология. Докл. XXV сессии МГК. М.: Наука, 1976. С. 221–231.
- Худолей К.М. Палеобиогеографические провинции титонского века и пути миграции аммоноидей // Палеонтологический журнал. 1984. № 3. С. 17–26.
- Худолей К.М. Основные черты палеобиогеографии Евразии в юрском периоде // Сов. геология. 1985. № 9. С. 65–76.
- Худолей К.М. Палеобиогеография Атлантического океана в юрском периоде // Морская геология. 1988. № 7. С. 86–97.
- Худолей К.М. Палеобиогеографические провинции Земли в начале поздней юры // Отечественная геология. 1993. № 4. С. 40–48.
- Хэллем А. Юрский период. Л.: Недра, 1978. 271 с.
- Янин Б.Т. Развитие биоты Среднерусского моря в келловее // Экосистемные перестройки и эволюция биосферы. М.: ПИН РАН, 1998. Вып. 3. С. 60–65.
- Янин Б.Т. Биота келловейского моря Русской плиты // Бюл. МОИП. Отдел геологии. 1999. Т. 74. Вып. 1. С. 47–55.
- Abbink O.A. Palynological investigations in the Jurassic of the North Sea region. LPP Contrib. 1998. Ser. 8. 192 p.
- Abbink O.A., Targarona J., Brinkhuis H., Visscher H. Late Jurassic to earliest Cretaceous palaeoclimatic evolution of the southern North Sea // Global and Planetary Change. 2001. V. 30. 231–256 p.
- Anderson T.F., Popp B.N., Williams A.C. et al. The stable isotopic records of fossils from Peterborough Member, Oxford Clay Formation (Jurassic), UK: palaeoenvironmental implications // J. Geol. Soc. London. 1994. V. 151. P. 125–138.
- Arkell W.J. Jurassic system of Great Britain. Oxford: Clarendon press, 1933. 681 p.
- Bertling M. Ecology and distribution of the Late Jurassic scleractinian *Thamnastrea concinna* (Goldfuss) in Europe // Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol. 1993. V. 105. 311–335 p.
- Bertling M., Insalaco E. Late Jurassic corals/microbial reefs from the northern Paris basin – facies, palaeoecology and palaeobiogeography // Palaeogeogr., Palaeoclimatol. Palaeoecol. 1998. V. 139. 139–175 p.
- Callomon J.H. Measurement of Geological Time // Proceedings of the Royal Institution of Great Britain. 1884. V. 56. P. 66–99.
- Cariou E., Contini D., Dommergues J.-L. et al. Biogeographie des Ammonites et evolution structurale de la Tethys au cours du Jurassique // Bull. Soc. geol. France. 1985, (8). T. I. № 5. P. 679–697.
- Clayton R.N., Stevens G.R. Paleotemperatures of New Zealand belemnites // Stable isotopes in oceanographic studies and paleotemperatures. Consiglio Nazionale Delle Ricerche. Spoleto, 1965. 6 p.
- Clayton R.N., Stevens G.R. Paleotemperatures of New Zealand Jurassic and Cretaceous // Tuatara. 1968. V. XVI. № 1. P. 3–7.
- Ditchfield P.W. High northern palaeolatitudes Jurassic-Cretaceous palaeotemperature variation: new data from Kong Karls Land, Swabard // Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol. 1997. V. 130. P. 163–175.
- Dommergues J.-L., Marchand D., Thierry J. Biogeographie des ammonites jurassiques et reconstruction palinspastique de la Tethys // Geodinamica Acta. 1987. V. 1. № 4/5. P. 273–281.
- Dommergues J.-L., Marchand D., Sapunov I., Thierry J. Les faunes d'ammonites du Jurassique bulgare: une confirmation paleobiogeographique de l'isolement relatif de la region balcanomoisienne // Bull. Soc. geol. France. 1987. № 4. P. 737–742.
- Emiliani C. The generalized temperature curve for the past 425 000000 years // J. Geol. 1967. № 4. P. 35–69.
- Enay R. Paleobiogeographie et ammonites Jurassiques: "rythmes fauniques" et variations du niveau marin; voies d'echanges, migrations et domaines biogeographiques // Livre Jubilaire Soc. Geol. France. Paris: 1980. Mem. h.-s. № 10. P. 261–281.

- Golonka J.* Jurassic paleogeography of the world. // Ed. Martire L. 6th International Symposium on the Jurassic System, September 12–22 2002, Palermo. Abstracts and program. 2002. P. 73–74.
- Golonka J., Bocharova N.Y.* Hot spot activity and the break-up of Pangea // *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.* 2000. V. 161. P. 49–69.
- Gruszczynski M.* Chemistry of Jurassic seas and its bearing on the existing organic life // *Acta Geol. Polonica.* 1998. V. 48. № 1. P. 1–29.
- Hallam A.* An evaluation of Jurassic eustasy in the light of new data and the revised Exxon curve // *Sea-level changes – an integrated approach.* Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Special Publication. 1988. V. 42. P. 261–273.
- Hallam A.* A review of the broad pattern of Jurassic sea-level changes and their possible causes in the light of the current knowledge // *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.* 2001. V. 167. P. 23–37.
- Haq B.U., Hardenbol J., Vail P.R.* Mesozoic and Cenozoic chronostratigraphy and cycles of sea-level change. Eds. Wilgus C.K., Hastings B.S. *Sea Level Changes; An integrated Approach* // *Soc. Econ. Paleontol. Mineral. Spec. Publ.* 1998. V. 42. P. 71–108.
- Leinfelder R.R.* Upper Jurassic reef types and controlling factors. A preliminary report // *Profil.* № 5. Stuttgart. 1993. S. 1–45.
- Miller R.G.* A paleoceanographic approach to the Kimmeridge clay formation // *Huc A. Y. Deposition of Organic Facies.* AAPG Stud. Geol. 1991. V. 30. P. 13–26.
- Norris M.S., Hallam A.* Facies variations across the Middle-Upper Jurassic boundary in Western Europe and the relationship to sea-level changes // *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.* 1995. V. 116. P. 189–245.
- Oshmann W.* Kimmeridge clay sedimentation – a new cyclic model // *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.* 1987. V. 65. P. 217–251.
- Padden M.* Late Jurassic 13C stratigraphy: carbon cycle and paleoceanography. In press.
- Poulsen N.E., Riding J.B., Buchard B.* The Jurassic Dinoflagellate cyst zonation of Subboreal north-west Europe (with a supplement: Oxygen isotope paleotemperatures from the Jurassic of north-west Europe) // *Ineson J. et al.: The Jurassic of Denmark and Greenland. Spec. Iss. Geol. Surv. of Denmark and Greenland.* In press.
- Price G.D., Grocke D.R.* Strontium-isotope stratigraphy and oxygen- and carbon-isotope variation during the Middle Jurassic-Early Cretaceous of the Falkland Plateau, South Atlantic // *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.* 2002. V. 183. P. 209–222.
- Riboulleau A., Baudin F., Daux V. et al.* Evolution de la paleotemperature des eaux de la plate-forme russe au cours du Jurassique superieur // *C. R. Acad. Sci. Paris, Sciences de la terre et des planetes.* 1998. V. 326. P. 239–246.
- Rohl H.-J., Schmid-Rohl A., Oshmann W. et al.* The Posidonia Shale (Lower Toarcian) of SW-Germany: an oxygen-depleted ecosystem controlled by sea level and palaeoclimate // *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.* 2001. V. 165. P. 27–52.
- Stampfli G.M., Mosar J., De Bono A., Vavasis I.* Late Paleozoic, Early Mesozoic plate tectonics of the western Thetys // *Bull. Geol. Soc. Greece.* 8. Internat. Congress Geol. Soc. Greece. Patra. 1998. V. XXXII/1. P. 113–120.
- Stevens G.R.* Relationship of isotopic temperatures and faunal realms to Jurassic-Cretaceous paleogeography, particularly of the South-west Pacific // *J. Roy. Soc. N. Z.* 1971. № 2. 76 p.
- Stevens G.R., Clayton R.N.* Oxygen isotope studies on Jurassic and Cretaceous belemnites from New Zealand and their biogeographic significance // *New Zealand J. Geol. and Geophys.* 1971. V. 14. № 4. P. 829–897.
- Tan F.C., Hudson J.D., Keith M.L.* Jurassic (Callovian) paleotemperatures from Scotland. *Earth Planet. Sci. Letters.* 1970. № 9. 34 p.
- Thierry J.* Paleobiogeographie quelques Stephanocerataceae (Ammonitina) du jurassique moyen et superieur; une conformation avec la theorie mobiliste // *Geobios.* 1976. № 9. fasc. 3. P. 291–331.
- Thierry J.* Tethys, Mesogee et Atlantique au Jurassique: quelques reflexions basees sur les faunes d'Ammonites // *Bull. Soc. geol. France.* 1982. V. 7. T. XXIV. № 5–6. P. 1053–1067.
- Thierry J.* Provincialisme et/ou Ecologie des Ammonites du Callovien en France // *Cephalopods – Present and Past.* Schweizerbartsche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, 1988. P. 387–402.
- Vakhrameev V.A.* Jurassic and Cretaceous floras and climates of the Earth. Cambridge: Cambridge University Press. 1991. 318 p.
- Westermann G.E.G.* Ammonoid biochronology and biogeography of the Circum-Pacific area // *House M.R., Senior J.R.* Recent advances in quantitative stratigraphic correlation techniques. Hindistan. Publ. Co. Delhi. 1981. P. 90–100.
- Westermann G.E.G.* Jurassic-Cretaceous biochronology and paleogeography of North America // *Geol. Assc. of Canada. Spec. Paper.* 1984. V. 27. 315 p.
- Westermann G.E.G.* Global bio-events in mid-Jurassic ammonites controlled by seaways // *The Ammonoidea: Environment, Ecology, and Evolutionary Change. Systematic Association Spec. V. 47.* Oxford: Clarendon Press, 1993. P. 187–226.
- Zeiss A.* Untersuchungen der Paleontologie der Cephalopoden der Unter-Tithon der sudlichen Frankenalb. Bayer. Acad. Wiss.-Math. Naturwiss. Kl. Abh. N. S. 1968. 132 s.
- Ziegler B.* Die Fauna der Lemes-Schichten (Dalmatien) und ihre Bedeutung fur den mediterranean Oberjura // *N. Jb. Geol. Palaontol. Mh.,* 1963. № 8. P. 405–421.
- Ziegler P.A.* Geological Atlas of Western and Central Europe. 2nd Ed. Shell Int. Petroleum Mij. Den Haag. 1990. 239 p.

Рецензенты М. А. Жарков, Н. М. Чумаков