

УДК 551.763

ОРБИТАЛЬНО ОБУСЛОВЛЕННАЯ РИТМИЧНОСТЬ МЕЛОВЫХ ПАЛЕООКЕАНИЧЕСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ

© 2010 О.Л. Савельева

*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН
Петропавловск-Камчатский, 683006, e-mail: savelyeva@kscnet.ru*

В статье рассмотрена проблема происхождения ритмичности в океанических отложениях мелового возраста различных регионов. Обсуждаются разные модели происхождения ритмичности. Подробно рассмотрены особенности ритмично-слоистых отложений альб-сеноманского возраста на п-ове Камчатский Мыс (Камчатский п-ов). В этих отложениях наблюдается ритмичность двух порядков с соотношением 1 : 5. Для объяснения этой ритмичности применена модель зависимости параметров осадконакопления от колебаний палеоклимата, связанных с циклами Миланковича. Передаточным звеном являются пассаты, усиление которых увеличивает циркуляцию водных масс в океане и повышает биопродуктивность. Показано, что ритмичность пелагических мергельно-известняковых и кремнисто-карбонатных отложений мелового возраста в разрезах разных регионов мира также часто связана с циклами Миланковича.

Ключевые слова: ритмичность, циклы Миланковича, меловой период, палеоокеанические отложения, биопродуктивность.

ВВЕДЕНИЕ

Ритмичность осадконакопления с периодичностью от нескольких десятков до сотен тысяч лет, записанная в геологической летописи, во многих случаях интерпретируется как отражение климатических изменений, вызванных флюктуациями орбитальных параметров Земли (эксцентриситета, наклона оси и прецессии), известными как циклы Миланковича (Найдин, 2005; Barron et al., 1985 и др.). Этот постулат циклостратиграфии применяется при детальном расчленении разрезов, а также в палеогеографических исследованиях. Особенно четко циклы Миланковича проявляются в осадках открытых областей океана, поскольку в этом случае минимален «шум», создаваемый другими факторами (Bailey, 2009). В силу климатических особенностей мелового периода, влияние орбитальных параметров отчетливо проявлено в разрезах палеоокеанических отложений этого возраста. На Камчатке наиболее подходящий для рассмотрения этой проблемы разрез находится на п-ове Камчатский Мыс (Камчатский п-ов). Здесь автором изучены ритмично построенные палеоокеанические отложения альб-сеноманского воз-

раста, представленные яшмами, известняками и кремнями. В данной статье анализируются различные механизмы возникновения ритмичного переслаивания более карбонатных и менее карбонатных и предлагается модель формирования ритмичности отложений п-ова Камчатский Мыс.

МОДЕЛИ КЛИМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ РИТМИЧНОСТИ

Среднепериодичная (с периодом в десятки — сотни тысяч лет) ритмичность осадочных толщ связана с разными факторами: климатическими колебаниями, мутьевыми потоками, чередованием трансгрессий и регрессий, различными автоколебаниями в природных системах, штормами, а также, возможно, периодическими проявлениями вулканизма. Среди этих факторов наиболее глобальным является климат, поэтому климатически обусловленная ритмичность проявлена в осадочных толщах различного состава. Наиболее ярко эта ритмичность видна в карбонатных и кремнистых толщах, накапливавшихся в океане, поскольку здесь она не заглушается изменениями терригенного сноса.

Многие авторы доказывают климатический контроль ритмичности отложений мелового периода (Красилов и др., 1985; Найдин, 2005; Фролов, Джайкришнан, 1996; Barron et al., 1985; Gale, 1989; Herbert, Fischer, 1986; Mitchell et al., 2008; Pratt, King, 1986; Wendler et al., 2002 и др.). Чаще всего в этих работах рассматриваются известняково-мергельные ритмы, которые преобладают в Тетической области и в Западном Внутреннем бассейне Северной Америки. В Альпах, Апеннингах и на Сицилии нередко наблюдается смена по разрезу мергельно-известняковых ритмов на кремнисто-карбонатные, причем доказывается единая природа этих ритмов (Bellanca et al., 2002; Mitchell et al., 2008; Scopelliti et al., 2004).

Возможными причинами чередования более карбонатных и менее карбонатных слоев являются (Габдуллин, 2002; Bellanca et al., 1996; Eicher, Diner, 1989): 1) изменения скорости поставки скелетного пелагического карбоната и/или кремнезема (циклы продуктивности); 2) изменения скорости поставки терригенных обломков (циклы разбавления); 3) дифференцированное растворение кальцита при диагенезе (циклы растворения); 4) присутствие или отсутствие кислорода на морском дне и, следовательно, степень сохранения органического вещества (окислительно-восстановительные циклы); эти циклы могут быть связаны как со степенью вентиляции придонных вод, так и с первичной продуктивностью планктона, в том числе бесскелетного; 5) активность глубоководных течений, перерабатывающих донные осадки (циклы размывания). Все эти факторы, за исключением второго, так или иначе связаны с интенсивностью циркуляции водных масс. Как показано в работе (Найдин, 2005), большинство исследователей считают, что ведущую роль в создании ритмичности играли изменения биопродуктивности.

Для середины мелового периода были характерны довольно теплые промежуточные воды до глубины по крайней мере 500-1000 м (до 20° в сеномане на широтах от 45° с.ш. до 60° ю.ш.) (Huber et al., 2002) и вследствие этого нерезкий термоклин и низкий плотностной градиент водной колонки. В такой системе сравнительно легко мог меняться характер циркуляции верхней толщи океана, например, под влиянием ветрового перемешивания, что влияло на биопродуктивность поверхностных вод (Leckie et al., 2002). Этим объясняется повышенная чувствительность системы к орбитально обусловленным климатическим изменениям.

О связи мергельно-известняковых и кремнисто-карбонатных ритмов с циклами Миланковича свидетельствует несколько признаков.

Это, в первую очередь, наличие в разрезах ритмов разного порядка с определенным соотношением периодов. Если перерывы в разрезах незначительны и биостратиграфическими методами удастся определить возрастной интервал, которому соответствуют толщи, то может быть вычислена скорость осадконакопления и через нее – периоды колебаний. Также может быть выявлено совпадение выявленных периодов ритмичности с астрономическими циклами. Для выделения ритмов разного порядка, а также в случае нечеткой ритмичности применяется анализ Фурье (Bailey, 2009; Mitchell et al., 2008). Как правило, в меловых ритмичных толщах удается выделить сигналы времени прохождения перигелия (21 тыс. лет) и эксцентриситета (100 тыс. лет), реже сигналы наклона земной оси (41 тыс. лет) и длинного цикла эксцентриситета (400 тыс. лет). Установлено, что меловая климатическая система наиболее чувствительна ко времени прохождения перигелия. Наклон оси и эксцентриситет лишь повышают и понижают амплитуду колебаний, обусловленных этим астрономическим параметром (Park, Oglesby, 1990).

В связи с тем, что в научной литературе иногда смешиваются понятия прецессии и времени прохождения перигелия, необходимы некоторые пояснения. Ось Земли описывает круг относительно полюса эклиптики за 26 тыс. лет. Из-за этого с тем же периодом точки весеннего и осеннего равноденствия, летнего и зимнего солнцестояния перемещаются на орбите по часовой стрелке относительно звезд. Это явление называется прецессией, или предварением равноденствий. Кроме того, эллиптическая орбита Земли поворачивается против часовой стрелки с периодом 100 тыс. лет. В результате период, с которым повторяется взаимное положение перигелия и точки зимнего солнцестояния равен 21 тыс. лет (Бялко, 1989). Таким образом, перигелий (ближайшая к Солнцу точка орбиты Земли) последовательно в течение 21 тыс. лет проходит весной, зимой, осенью и летом.

Вариации времени прохождения перигелия изменяют амплитуду сезонного цикла солнечной радиации (Wendler et al., 2002) в противофазе в северном и южном полушариях. Во время летнего перигелия в соответствующем полушарии может происходить (в зависимости от региональных особенностей географии и циркуляции водных масс) (Barron et al., 1985): 1) увеличение силы летних муссонов (в случае большего летнего температурного контраста между сушей и морем); 2) увеличение силы зимних штормов на средних широтах (в случае большего зимнего температурного контраста между сушей и морем); 3) увеличение скорости формирования теплой соленой глубинной воды при

солёностной циркуляции; 4) изменение скорости локальных и региональных апвеллингов (в связи с изменением силы ветров определенной направленности).

Во время зимнего перигелия происходят обратные изменения.

Орбитальная обусловленность ритмичности меловых отложений выявлена с использованием вычисленной скорости осадконакопления и/или анализа Фурье, например, в разрезах апта – сеномана центральной Италии (Herbert, Fischer, 1986; Mitchell et al., 2008; Pratt, King, 1986), сеномана – турона Западного Внутреннего бассейна Северной Америки (Barron et al., 1985) и бассейна Ваконтейн на юго-востоке Франции (Herrle et al., 2003), сеномана Англо-Парижского бассейна (Gale, 1989; Wendler et al., 2002), верхнего альба – сеномана северной Италии (Bellanca et al., 1996), верхнего альба Нижней Саксонии (Rachold, Brumsack, 2001), на границе сеномана и турона на Сицилии (Scopelliti et al., 2004) и в Северной Атлантике (Kuipers et al., 2004), в разрезах нижнего мела северо-восточной Франции, Туниса, Атлантики, Мексиканского залива (Cotillon, 1987) и Тихого океана (Cotillon, 1987; Ferry, Schaaf, 1981; Roth, 1989). Ритмы прослеживаются на протяжении до сотен километров (Barron et al., 1985).

Влияние периодических изменений климата на осадконакопление выявлено не только для тепличных условий мелового периода, но и для эпох оледенений. Орбитально обусловленная цикличность обнаруживается в геохимических летописях плейстоцена оз. Байкал и льда Антарктиды (станция Восток), а также в летописи $\delta^{18}\text{O}$ бентосных фораминифер Тихого океана. Выявлены периоды времени перигелия, наклона оси и эксцентриситета. Доминирует 100-125-тысячелетний цикл, соответствующий изменениям эксцентриситета, которые слабо влияют на инсоляцию (Федорин, Гольдберг, 2008). Механизмы усиления сигнала эксцентриситета до уровня доминирующего до конца не выяснены. Их связывают, например, с тепловой инерцией ледников (Брокер, Дентон, 1990). В меловом безледниковом периоде система атмосфера – океан обладала меньшей инерционностью, влияние времени прохождения перигелия на климат было более непосредственным и поэтому должно было проявляться отчетливее.

Конкретные механизмы связи между орбитальными параметрами и осадконакоплением мелового периода описываются двумя группами моделей – муссонными и антимуссонными (Herbert, Fischer, 1986; Wendler et al., 2002). В муссонных моделях главное внимание уделяется вентиляции глубинных вод и содержанию кислорода в придонных водах. Например, осадки

превышают испарение при усилении муссонов, уменьшается плотность поверхностных вод, уменьшается скорость формирования глубинной воды и ее вентиляция; одновременно увеличивается снос с суши терригенного материала; в результате отлагаются мергели с повышенным содержанием органического вещества (Bellanca et al., 1996; Herrle et al., 2003). При ослаблении муссонов содержание O_2 в придонной воде увеличивается и отлагаются известняки. Этим способом формируются ритмы разбавления и одновременно окислительно-восстановительные. Такой механизм формирования ритмичности представляется возможным для полузакрытых бассейнов палеоокеана Тетис или Западного Внутреннего бассейна. В обстановке открытого океана, удаленной от источников как терригенного материала, так и речной пресной воды, такое развитие событий маловероятно.

В антимуссонных моделях главное внимание уделяется изменениям циркуляции в зависимости от силы ветра, влияющим на продуктивность планктона. Интенсивное ветровое перемешивание и/или повышение скорости апвеллингов вызывает увеличение поставки питательных веществ из промежуточных водных масс в поверхностные, что способствует увеличению первичной биопродуктивности планктона – бесскелетного, кремнистого и/или известкового (Cotillon, 1987; Eicher, Diner, 1989; Roth, 1989; Wendler et al., 2002).

В качестве примера отложений, образование которых связывается с антимуссонной моделью, можно привести средне-верхнесеноманскую часть формации Scaglia Bianca центральной Италии (Coccioni, Galeotti, 2003). Осадки формировались на глубине 1500–2000 м, скорость осадконакопления ~10 мм/тыс. лет. Светло-серые пелагические фораминиферо-кокколитовые известняки переслаиваются здесь с серыми конкреционными и черными слоистыми кремнями с обильными радиоляриями. В основании кремней встречаются темные тонкослоистые сапропели. Слои кремней интерпретируются как связанные с повышенной продуктивностью радиолярий относительно планктонных фораминифер и представляющие времена сильных муссонов. Выделены циклы времени перигелия, наклона земной оси и эксцентриситета (Mitchell et al., 2008).

Кроме колебаний продуктивности радиолярий, большую роль в создании ритмичной слоистости могут играть изменения состава известкового планктона. Поведение наннофлоры в зависимости от содержания питательных веществ в поверхностных водах океана описывают Э. Эрба и Ф. Тремолада (Erba, Tremolada, 2004). Увеличение количества питательных веществ

и/или содержания CO_2 в поверхностных водах вызывает увеличение продуктивности наннофлоры и одновременно радикальное уменьшение кальцификации скелета (формирование более мелких плаколитов). В результате меловые эпизоды/площади сильно повышенной продуктивности характеризуются уменьшением отложения биогенного карбоната, а также увеличением отложения органического вещества и биогенного кремнезема. В частности, в скважине DSDP 463 (возвышенность Мид-Пацифик) в климатически обусловленных известняково-мергельных ритмах верхнего апта – нижнего альба наблюдается изменение ассоциаций наннопланктона. В известняках обнаружены кокколитофориды и тяжело кальцифицированные наннокониды; последние преобладают. В мергелях встречены только кокколитофориды, значительно менее кальцифицированные (Ferry, Schaaf, 1981).

Распространение современных наннопланктонных илов обусловлено положением критической глубины карбоната накопления; на подводных возвышенностях высокое содержание карбоната в осадках (> 70%) наблюдается на низких и средних широтах (до ~50-60°), в то время как накопление радиоляриевых илов ограничено более узкой полосой в районе экватора до широт ~5-15° и менее; оно связано с зоной экваториальной дивергенции.

Кремнезема накопление мелового периода в Тихом океане было более рассеянным, чем в настоящее время, что объясняется уже упомянутой неустойчивостью стратификации (вследствие низкого температурного градиента) и многочисленными локальными апвеллингами (Leckie et al., 2002). Последние часто были связаны с подводными возвышенностями и могли усиливаться под действием ветра. Орбитально обусловленные вариации скорости апвеллинга могли создать кремнисто-карбонатное переслаивание. Концентрация питательных веществ и вертикальное перемешивание менялись в экваториальной зоне дивергенции с частотой десятки тысяч – сотни тысяч лет в соответствии с интенсивностью атмосферной циркуляции. Орбитальная обусловленность этих циклов установлена для кремнисто-карбонатных отложений верхнего альба поднятия Хесса (скв. DSDP 466, поблизости от палеоэкватора) (Roth, 1989). Климатически обусловленная ритмичность установлена и в районе, более удаленном от палеоэкватора – в верхнем апте – нижнем альбе возвышенности Мид-Пацифик (скв. DSDP 463, палеоширота 20.9° ю.ш.) (Ferry, Schaaf, 1981; Roth, 1981). Здесь увеличение биопродуктивности скорее связано с усилением ветрового перемешивания и/или локального апвеллинга, связанного с подводной возвышенностью. Высокочастот-

ные флюктуации океанского перемешивания затрагивали только верхние несколько сотен метров океана, то есть не влияли на циркулирующую глубинных вод (Roth, 1989).

В Тихоокеанском регионе ритмичность океанских меловых отложений исследовалась в разрезах скважин глубоководного бурения. Важные дополнительные сведения могут быть получены при изучении разрезов в складчатом обрамлении Тихого океана, где наряду с островодужными присутствуют и палеоокеанические комплексы. В разрезах на суше гораздо лучше, чем в керне скважин, сохраняются детали строения ритмичных отложений. Для рассмотрения поставленной проблемы уникальным является разрез альб-сеноманских палеоокеанических отложений в южной части п-ова Камчатский Мыс.

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ПОЛОЖЕНИЕ И СТРОЕНИЕ КАРБОНАТНО-КРЕМНИСТЫХ ПАЧЕК НА П-ОВЕ КАМЧАТСКИЙ МЫС

На п-ове Камчатский Мыс (Камчатский п-ов) пакеты карбонатно-кремнистого переслаивания входят наряду с базальтами и гиалокластитами в состав смагинской ассоциации альб-сеноманского возраста, залегающей в виде тектонических пластин и олистолитов среди туфогенно-кремнистых отложений более молодого возраста. Развитые на юге полуострова ультрабазиты, габброиды и смагинская вулканогенно-осадочная породная ассоциация хорошо сопоставляются с различными горизонтами океанической литосферы и рассматриваются как элементы гетерогенной офиолитовой ассоциации (Хотин, Шапиро, 2006).

Наиболее полный разрез карбонатно-кремнистого переслаивания с хорошо проявленной ритмичностью имеет мощность 9 м. Особенности литологического состава пород приведены в (Савельева, 2007, 2009), а данные по радиоляриевым комплексам, характеризующие возраст отложений, в (Палечек и др., 2010). В разрезе преобладают две разновидности пород – красно-бурые или коричневые яшмы и более светлые розовые известняки (рис. 1). В верхней и средней частях разреза присутствуют углеродистые прослойки, обогащенные сапропелевым органическим веществом, формирование которых связано с эпизодами аноксии в океане (Савельева, 2009, 2010).

В данном разрезе выявлена разнопорядковая ритмичность. Наиболее ярко выражено переслаивание яшм и известняков, обозначенное как ритмичность первого порядка. Нижними членами ритмов приняты кремнистые слои, верхними членами – карбонатные. Очень четко

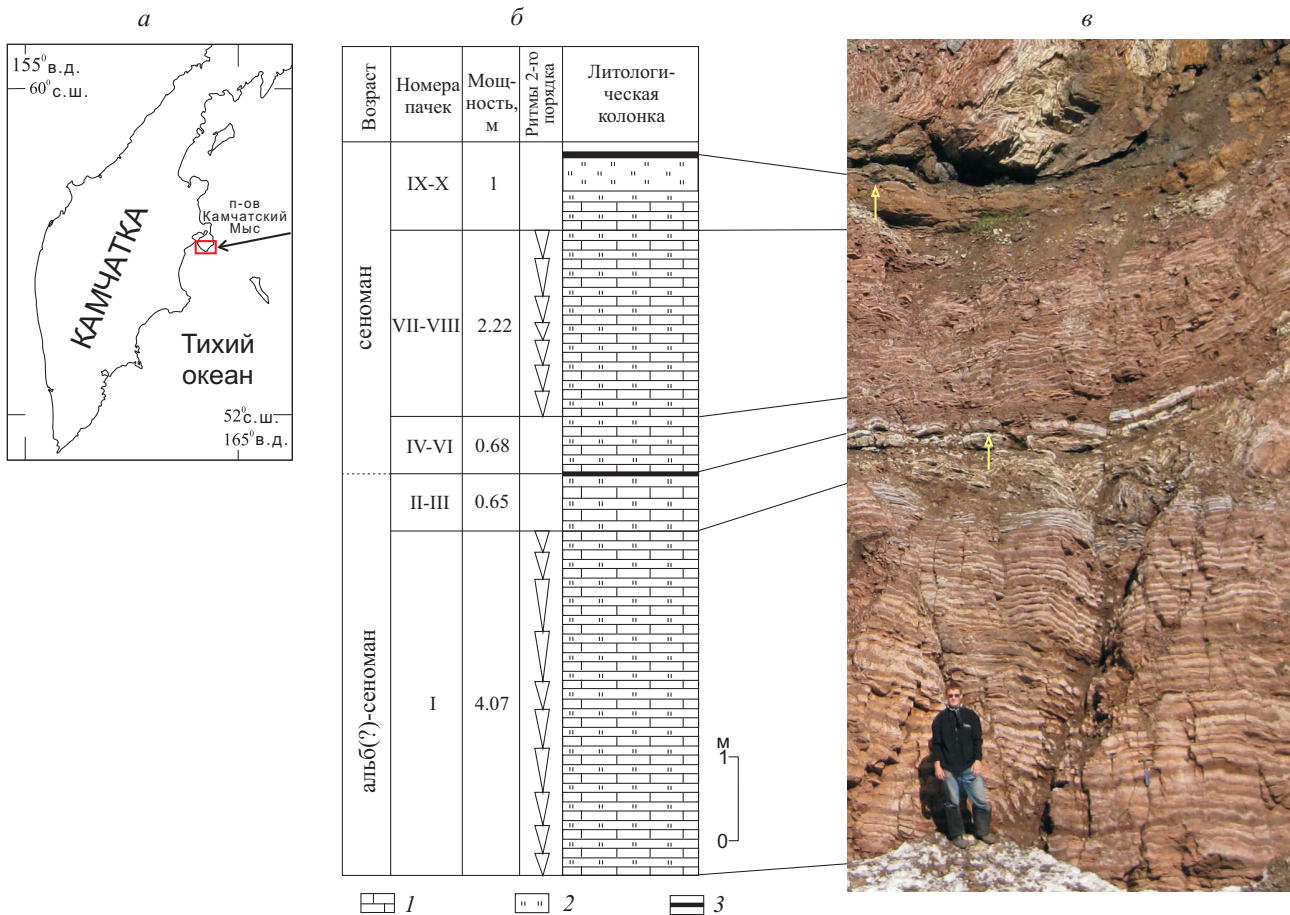


Рис. 1. Разрез карбонатно-кремнистого пакета смагинской ассоциации: *а* – местоположение района работ, *б* – литолого-стратиграфическая колонка, *в* – фотография обнажения; 1 – известняки, кремнистые известняки; 2 – яшмы, кремни; 3 – углеродистые слои (на фотографии показаны стрелками).

эта ритмичность проявлена в нижней части разреза (пачки I-III) (рис. 1, 2) и на интервале между углеродистыми прослоями в пачках VII-IX. На отдельных интервалах четкая ритмичность нарушается – выше нижнего углеродистого прослоя (пачки IV-VI) и ниже верхнего углеродистого прослоя (пачка X). В пачках IV-VI ритмичность не отсутствует полностью, но сильно нарушена; присутствуют яшмовые прослои повышенной мощности, в которых наблюдаются слойки известковистой яшмы. По-видимому, часть ритмов была уничтожена за счет растворения карбонатного материала. Кремнистость известняков на данном интервале повышена, мощность их сильно колеблется. Верхний интервал отсутствия ритмичности (пачка X) характеризуется полным отсутствием известняков и даже карбонатных прожилков в породе. Можно предположить, что и здесь происходило растворение карбонатов, еще более интенсивное, чем в пачках IV-VI. Растворение карбонатного материала могло быть вызвано уменьшением pH придонных вод в связи с аноксическими событиями (Савельева, 2009).

В изученной толще присутствует более тон-

кое, миллиметровое, переслаивание известняков и кремнистых известняков с известковистыми яшмами. Оно наблюдается достаточно редко на границе кремнистых и карбонатных слоев. Именно там, где мелкая ритмичность сохранилась лучше всего, наблюдается и самая лучшая сохранность радиолярий, что свидетельствует о первичной природе миллиметровых слоев и отсутствии биотурбации.

Ритмы более высокого, чем переслаивание яшм и известняков, порядка (названные ритмами второго порядка) выражены по-разному в различных частях разреза (рис. 2). Они отмечены либо слоями яшмы повышенной мощности, либо слоями известняка с повышенной кремнистостью и, следовательно, с многочисленными диагенетическими выделениями известковистой яшмы. Ритмичность второго порядка исчезает вблизи углеродистых прослоев.

В пачках I, VII и VIII наблюдаются симметричные ритмы. Так, в слое яшмы содержание карбоната нередко увеличивается по направлению к кровле и подошве. Отмечено также увеличение количества радиолярий в верхней и нижней частях слоев известняка. Это свиде-

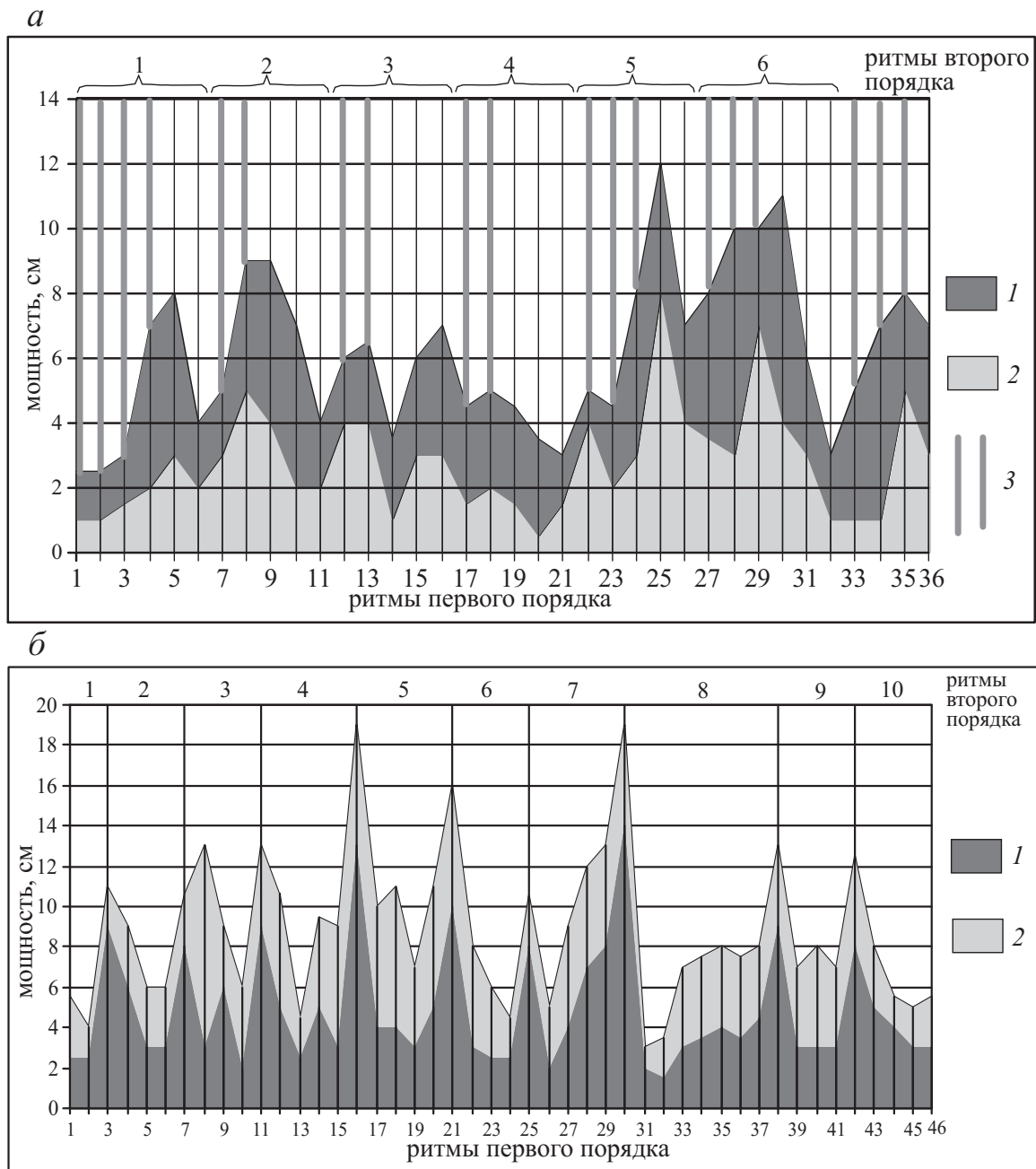


Рис. 2. Ритмограммы разреза карбонатно-кремнистого пакета смагинской ассоциации: *а* – пачки VII-VIII, *б* – пачка I; 1 – яшмы; 2 – известняки и кремнистые известняки; 3 – положение ритмов с повышенной кремнистостью известняков в пачках VII-VIII.

тельствует о том, что переходы между яшмами и известняками первоначально были постепенными и лишь вследствие диагенеза стали более резкими.

**ПРОИСХОЖДЕНИЕ И МЕХАНИЗМ
 ОБРАЗОВАНИЯ РИТМИЧНОСТИ
 КАРБОНАТНО-КРЕМНИСТЫХ ПАЧЕК
 СМАГИНСКОЙ АССОЦИАЦИИ**

Для понимания природы ритмичности особенно важно, что каждый ритм второго порядка в пачках I, VII и VIII изученной толщи вмещает 5,

реже (только в I пачке) – 4 ритма первого порядка (рис. 2). Соотношение 1:5 для ритмов разного порядка обычно рассматривается как свидетельство влияния на осадконакопление вариаций параметров орбиты Земли (Barron et al., 1985; Gale, 1989; Herbert, Fischer, 1986; Pratt, King, 1986; Wendler et al., 2002). Именно таково соотношение периода времени перигелия 21 тыс. лет и короткого периода эксцентриситета 100 тыс. лет. Таким образом, можно предположить, что элементарные двуслой яшма-известняк в смагинской ассоциации отвечают циклам времени перигелия, а ритмы

второго порядка – коротким циклам эксцентриситета.

Литологические различия пород подчеркиваются их геохимическими особенностями. В карбонатно-кремнистых породах п-ова Камчатский Мыс яшмы значительно обогащены барием по сравнению с известняками (Савельева, 2009). Содержание Ва в пелагических отложениях, не содержащих терригенной примеси, так же как и содержание биогенного SiO₂, нередко рассматривается как показатель первичной биопродуктивности (Bellanca et al., 2002; Scopelliti et al., 2004; Tribouillard et al., 2006; Warning, Brumsack, 2000). Кроме того, повышенные содержания бария и кремнезема в отдельных членах ритмов иногда используются как показатель гидротермальной деятельности (например, Королук, Щекотова, 1992). Однако данная модель образования кремнисто-карбонатного переслаивания неприменима к отложениям смагинской ассоциации п-ова Камчатский Мыс, поскольку спектры редкоземельных элементов, полученные для яшм и известняков изученного разреза, отвечают составу океанской воды и биогенных пелагических осадков (Савельева, 2009). Высокое содержание радиолярий в наименее измененных слоях также свидетельствует о биогенном происхождении кремнистых пород.

Следовательно, установленное в разрезе смагинской ассоциации обогащение барием яшм по сравнению с известняками связано с большей первичной биопродуктивностью во время их отложения, т.е. мы имеем дело с циклами продуктивности.

На п-ове Камчатский Мыс присутствие миллиметрового переслаивания известковистых яшм и известняков на границе карбонатных и кремнистых членов ритмов указывает на существование неустойчивых переходных условий при смене кремнистого осадконакопления карбонатным и карбонатного кремнистым. Такие соотношения могут возникнуть лишь в спокойной гидродинамической обстановке осадконакопления. Этот вывод подтверждается тем, что в изученных отложениях полностью отсутствует принесенный с мелководья материал (алевритовые и песчаные зерна, обломки мелководных организмов). В основании карбонатных слоев отсутствуют следы размыва и грубозернистый материал (радиолярии, фораминиферы, карбонатный детрит и т.п.). В известняках смагинской ассоциации присутствуют конденсированные слои с радиоляриями и оксигидроксидами Fe и Mn, что говорит о низкой скорости осадконакопления. Некоторые ритмы, как уже было указано, имеют симметричное строение. Эти факты свидетельствуют об отсутствии связи ритмичности с мутьевыми потоками и периодическими

штормами. В частности, ритмичность изученных отложений не объясняется турбидитной моделью, предложенной, например, для ритмичного переслаивания яшм и известняков на Малом Кавказе в составе верхнеюрско-нижнемеловой вулканогенно-радиоляритовой толщи (Вишневская, 1984), а также для некоторых карбонатно-кремнистых отложений глубоководных впадин (Larson, Schlanger, 1981) и склонов подводных вулканических поднятий (Roth, 1981).

Приведенные данные позволяют предположить, что ритмичность изученных отложений возникла вследствие колебаний биопродуктивности поверхностных вод океана, связанных с орбитально обусловленными вариациями климата.

Рассмотрим возможный механизм влияния орбитальных параметров Земли на климат и через него – на формирование ритмичности карбонатно-кремнистых пакетов смагинской ассоциации п-ова Камчатский Мыс. Как было показано выше, для отложений открытого океана более применима антимуссонная модель – изменения циркуляции верхней части водной толщи в зависимости от силы ветра, влияющие на продуктивность планктона. Отложения смагинской ассоциации формировались в альбе – сеномане на подводной внутриокеанической вулканической возвышенности на низких широтах (Савельева, 2009; Хотин, Шапиро, 2006). В соответствии с климатическим моделированием в меловом периоде, как и в настоящее время, главное влияние на циркуляцию водных масс в Тихом океане имели пассаты (Barron, Peterson, 1990). Но сила пассатов, так же как и муссонов, подвержена влиянию астрономических факторов, в первую очередь времени прохождения перигелия. При летнем перигелии увеличивается амплитуда сезонных колебаний температуры, в зимнем полушарии возрастает широтный температурный градиент – это вызывает усиление пассата (рис. 3).

Таким образом, в карбонатно-кремнистых пакетах на п-ове Камчатский Мыс циклу времени перигелия соответствуют элементарные двуслой известняк-яшма. Образование их происходило следующим образом. Планктон, обитающий в верхней части водной толщи, был представлен в основном кокколитофоридами и радиоляриями, а также бесскелетными водорослями и фораминиферами. Образование слоев известняка было связано с относительно более высокими температурами поверхности океана и более сильной стратификацией поверхностных вод. Образование кремнистых слоев могло быть связано с периодическим усилением зимних пассатов во время летнего перигелия и соответственно лучшим перемешиванием поверхностных водных масс. Таким образом, можно

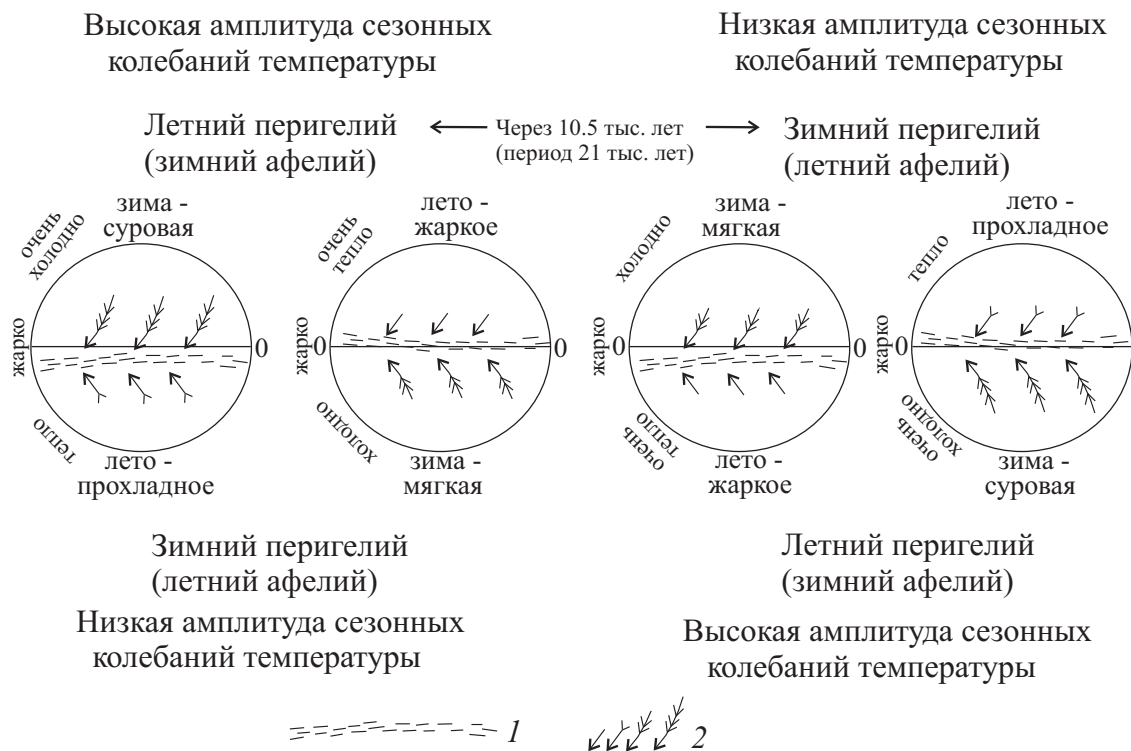


Рис. 3. Зависимость силы пассатов от времени перигелия: 1 – зона экваториальной дивергенции; 2 – сила и направление пассатов.

выстроить следующую логическую цепочку: наибольшее удаление Земли от Солнца зимой (зимний афелий, или летний перигелий) → усиление зимних пассатов → сокращение стратификации верхней части водной колонки (и понижение температуры поверхностных вод) → увеличение поступления питательных веществ из промежуточных вод на поверхность океана → увеличение продуктивности бесскелетного планктона и радиолярий → сокращение кальцификации наннопланктона и формирование радиоляриевых илов. Окисление органики производило обогащение придонных вод растворенным диоксидом углерода, что вызывало дополнительное растворение карбоната на поверхности осадка. Однако растворение играло второстепенную роль в образовании ритмичности. Таким образом, мы имеем дело с типичными циклами продуктивности, обусловленными климатическими изменениями, происходящими под действием вариаций времени перигелия. Ритмичность второго порядка связана с колебаниями эксцентриситета, усиливающими или ослабляющими амплитуду сезонных изменений, зависящих от времени перигелия. Наблюдающееся местами миллиметровое переслаивание яшм и известняков возникло, по-видимому, под воздействием более высокочастотных климатических колебаний в периоды неустойчивого переходного состояния системы океан-атмосфера.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Одной из важных особенностей мелового океанского осадконакопления является четкая ритмичность отложений. Такой ритмичностью, зачастую нескольких порядков, обладают отложения многих районов земного шара. Многие авторы связывают образование ритмичности с колебаниями климата, вызванными периодическими изменениями астрономических параметров (циклами Миланковича). Доказательством служат измеренные независимыми методами продолжительности ритмов, соотношение периодов ритмов разного порядка. Для мелового периода связь между орбитальными параметрами и осадконакоплением описывается муссонными моделями, в которых большая роль отводится изменениям вентиляции глубинных вод в зависимости от климата, а также более применимыми для открытого океана антимуссонными моделями, которые показывают, как изменения силы ветра через циркуляцию поверхностных и промежуточных вод влияют на продуктивность планктона.

На п-ове Камчатский Мыс детально изучены пакеты карбонатно-кремнистого переслаивания, входящие наряду с базальтами и гиалокластитамы в состав смагинской ассоциации альбсеноманского возраста. Выявлена ритмичность двух порядков. Для ритмов разного порядка наблюдается соотношение 1 : 5, характерное для

периодитов, формирующихся под влиянием вариаций орбитальных параметров Земли (времени перигелия и эксцентриситета).

Повышенные содержания бария в яшмах по сравнению с известняками рассматриваются как показатель увеличения продуктивности планктона во время отложения кремнистых слоев.

Особенности строения изученных ритмов свидетельствуют в пользу медленного отложения илов в спокойной гидродинамической обстановке и существования неустойчивых переходных условий при смене кремнистого осадконакопления карбонатным и карбонатно-кремнистым. Это исключает турбидитную природу ритмичности.

Для объяснения формирования ритмичного переслаивания яшм и известняков смагинской ассоциации привлечена модель влияния орбитальных параметров Земли на климат и через него – на биопродуктивность поверхностных вод океана. Слои известняка в карбонатно-кремнистых пакетах формировались во время зимнего перигелия при относительно более сильной стратификации водной толщи. Кремнистые слои отлагались при летнем перигелии, в периоды усиления ветрового перемешивания водных масс, когда с глубины поступало повышенное количество питательных веществ, что вызывало повышенную продуктивность бесскелетного фитопланктона и радиолярий; в таких условиях резко уменьшались размеры скелетов известкового наннопланктона. Первичные различия в литологии были подчеркнуты диагенезом.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ № 10-05-00065-а, ДВО РАН № 09-III-A-08-429 и российско-германского проекта KALMAR.

Список литературы

Брокер У.С., Дентон Дж.Г. В чем причина оледенений? // В мире науки. 1990. № 3. С. 31-37.

Бялко А.В. Наша планета – Земля. М.: Наука, 1989. 110 с.

Вишневецкая В.С. Радиоляриты как аналоги современных радиоляриевых илов. М.: Наука, 1984. 120 с.

Габдуллин Р.Р. Ритмичность верхнемеловых отложений Русской плиты, Северо-Западного Кавказа и Юго-Западного Крыма (строение, классификация, модели формирования). М.: Изд-во МГУ, 2002. 304 с.

Королюк И.К., Шекотова И.А. Зилимская матриасная кремнисто-карбонатная формация Южного Урала // Изв. вузов. Геология и разведка. 1992. № 5. С. 20-30.

Красилов В.А., Зубаков В.А., Шульдинер В.И., Ремизовский В.И. Экостратиграфия. Теория и методы. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1985. 148 с.

Найдин Д.П. Пара известняк-мергель ритмичной карбонатной толщи в геологической летописи // Бюл. МОИП. Отд. геол. 2005. Т. 80. Вып. 1. С. 75-84.

Палечек Т.Н., Савельев Д.П., Савельева О.Л. Альб-сеноманские радиолярии Камчатского Мыса (Восточная Камчатка) // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2010. Т. 18. № 1. С. 67-87.

Савельева О.Л. Альб-сеноманская карбонатно-кремнистая ассоциация Восточной Камчатки: влияние климата на седиментацию // Изв. вузов. Геология и разведка. 2007. № 5. С. 3-7.

Савельева О.Л. Меловые океанские аноксические события: обзор современных представлений // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2010. № 1. (Вып. 15). С. 45-55.

Савельева О.Л. Ритмичность осадконакопления и следы аноксических событий в меловых (альб-сеноманских) отложениях Восточной Камчатки. Автореф. дисс. канд. геол.-мин. наук. М., 2009. 25 с.

Федорин М.А., Гольдберг Е.Л. Ранний отклик внутриконтинентальной Азии на плейстоценовые климатические циклы // Геология и геофизика. 2008. Т. 49. № 1. С. 50-58.

Фролов В.Т., Джайкришнан С. Циклиты верхнемеловых известняков Горного Крыма и их возможная природа // Вестник МГУ. Сер. 4. Геология. 1996. № 4. С. 58-70.

Хотин М.Ю., Шапиро М.Н. Офиолиты Камчатского Мыса (Восточная Камчатка): строение, состав, геодинамические условия формирования // Геотектоника. 2006. № 4. С. 61-89.

Bailey R.J. Cyclostratigraphic reasoning and orbital time calibration // Terra Nova. 2009. V. 21. № 5. P. 340-351.

Barron E.J., Arthur M.A., Kauffman E.G. Cretaceous rhythmic bedding sequences: a plausible link between orbital variations and climate // Earth and Planetary Science Letters. 1985. V. 72. P. 327-340.

Barron E.J., Peterson W.H. Mid-Cretaceous ocean circulation: results from model sensitivity studies // Paleoceanography. 1990. V. 5. № 3. P. 319-337.

Bellanca A., Claps M., Erba E. et al. Orbitally induced limestone/marlstone rhythms in the Albian-Cenomanian Cismon section (Venetian region, northern Italy): sedimentology, calcareous and siliceous plankton distribution, elemental and isotope geochemistry // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. 1996. V. 126. P. 227-260.

- Bellanca A., Erba E., Neri R. et al.* Palaeoceanographic significance of the Tethyan «Livello Selli» (Early Aptian) from the Hybla Formation, northwestern Sicily: biostratigraphy and high-resolution chemostratigraphic records // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 2002. V. 185. P. 175-196.
- Coccioni R., Galeotti S.* The mid-Cenomanian Event: prelude to OAE 2 // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 2003. V. 190. P. 427-440.
- Cotillon P.* Bed-scale cyclicity of pelagic Cretaceous successions as a result of world-wide control // *Marine Geology*. 1987. V. 78. P. 109-123.
- Eicher D.L., Diner R.* Origin of the Cretaceous Bridge Creek cycles in the Western Interior, United States // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 1989. V. 74. P. 127-146.
- Erba E., Tremolada F.* Nannofossil carbonate fluxes during the Early Cretaceous: Phytoplankton response to nutrification episodes, atmospheric CO₂, and anoxia // *Paleoceanography*. 2004. V. 19. PA 1008.
- Ferry S., Schaaf A.* The Early Cretaceous environment at Deep Sea Drilling Project site 463 (Mid-Pacific Mountains), with reference to the Vocontian trough (French Subalpine ranges) // *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project*. V. 62. Washington, 1981. P. 669-682.
- Gale A.S.* A Milankovitch scale for Cenomanian time // *Terra Nova*. 1989. № 1. P. 420-425.
- Herbert T.D., Fischer A.G.* Milankovitch climatic origin of mid-Cretaceous black shale rhythms in central Italy // *Nature*. 1986. V. 321. P. 739-743.
- Herrle J.O., Pross J., Friedrich O. et al.* Forcing mechanisms for mid-Cretaceous black shale formation: evidence from the Upper Aptian and Lower Albian of the Vocontian Basin (SE France) // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 2003. V. 190. P. 399-426.
- Huber B.T., Norris R.D., MacLeod K.G.* Deep-sea paleotemperature record of extreme warmth during the Cretaceous // *Geology*. 2002. V. 30. № 2. P. 123-126.
- Kuypers M.M.M., Lourens L.J., Rijkstra W.I.C et al.* Orbital forcing of organic carbon burial in the proto-North Atlantic during oceanic anoxic event 2 // *Earth and Planetary Science Letters*. 2004. V. 228. P. 465-482.
- Larson R.L., Schlanger S.O.* Geological evolution of the Nauru basin, and regional implications // *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project*. Washington, 1981. V. 61. P. 841-862.
- Leckie R.M., Bralower T.J., Cashman R.* Oceanic anoxic events and plankton evolution: Biotic response to tectonic forcing during the mid-Cretaceous // *Paleoceanography*. 2002. V. 17. № 3. P. 1041-1070.
- Mitchell R.N., Bice D.M., Montanari A. et al.* Oceanic anoxic cycles? Orbital prelude to the Bonarelli Level (OAE 2) // *Earth and Planetary Science Letters*. 2008. V. 267. P. 1-16.
- Park J., Oglesby R.J.* A comparison of precession and obliquity effects in a Cretaceous paleoclimate simulation // *Geophysical Research Letters*. 1990. V. 17. № 11. P. 1929-1932.
- Pratt L.M., King J.D.* Variable marine productivity and high eolian input recorded by rhythmic black shales in mid-Cretaceous pelagic deposits from Central Italy // *Paleoceanography*. 1986. V. 1. № 4. P. 507-522.
- Rachold V., Brumsack H.-J.* Inorganic geochemistry of Albian sediments from the Lower Saxony Basin NW Germany: palaeoenvironmental constraints and orbital cycles // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 2001. V. 174. P. 121-143.
- Roth P.H.* Mid-Cretaceous calcareous nannoplankton from the Central Pacific: implications for paleoceanography // *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project*. V. 62. Washington, 1981. P. 471-489.
- Roth P.H.* Ocean circulation and calcareous nannoplankton evolution during the Jurassic and Cretaceous // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 1989. V. 74. P. 111-126.
- Scopelliti G., Bellanca A., Coccioni R. et al.* High-resolution geochemical and biotic records of the Tethyan 'Bonarelli Level' (OAE2, latest Cenomanian) from the Calabianca-Guidaloca composite section, northwestern Sicily, Italy // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 2004. V. 208. P. 293-317.
- Tribovillard N., Algeo T.J., Lyons T., Riboulleau A.* Trace metals as paleoredox and paleoproductivity proxies: An update // *Chemical Geology*. 2006. V. 232. P. 12-32.
- Warning B., Brumsack H.-J.* Trace metal signatures of eastern Mediterranean sapropels // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 2000. V. 158. P. 293-309.
- Wendler J., Gräfe K.-U., Willems H.* Palaeoecology of calcareous dinoflagellate cysts in the mid-Cenomanian Boreal Realm: implications for the reconstruction of palaeoceanography of the NW European shelf sea // *Cretaceous Research*. 2002. V. 23. P. 213-229.

САВЕЛЬЕВА

THE RHYTHMICITY OF CRETACEOUS PALEOCEANIC DEPOSITS

O.L. Savelyeva

Institute of Volcanology and Seismology FEB RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky, 683006

This article considers the problem of rhythmicity origin in oceanic deposits of Cretaceous age in various regions. The article contains discussions on different models of rhythmicity origin. Besides, features of rhythmical layered deposits of Albian – Cenomanian age on the Kamchatsky Mys peninsula (Eastern Kamchatka) are considered in detail. In those deposits rhythmicity of two orders with a ratio 1:5 is observed. In order to explain this rhythmicity the author used a model of dependancy of sedimentation features on paleoclimate fluctuations connected to Milankovitch cycles. An intermediate link are trade winds increasing of which increases ocean water circulation and raises bioproductivity. The paper shows that rhythmicity of Cretaceous pelagic marl-limestone and siliceous-carbonate deposits in the majority of sections of the world is also connected to Milankovitch cycles.

Keywords: Cretaceous period, rhythmicity, Milankovich cycles, biological productivity, paleoceanic deposits.