

УДК 551. 8: 551. 763.3 (4+73)

ПАРА ИЗВЕСТНЯК—МЕРГЕЛЬ РИТМИЧНОЙ КАРБОНАТНОЙ ТОЛЩИ В ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ЛЕТОПИСИ

Д.П. Найдин

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

Поступила в редакцию 15.05.04

На материалах разрезов сеномана Европейской палеобиогеографической области развиваются представления Г.К. Гильберта (1895) о формировании пары известняк—мергель (ПИМ) ритмичной карбонатной толщи на протяжении цикла прецессии 21 000 лет $\pm 10\%$. Рассмотрены соотношения составляющих ПИМ с полуциклами прецессии. Показано, что строение ПИМ изменяется по разрезу. Как отдельные пары, так и их последовательности в разрезе, т.е. во времени, заключают информацию, имеющую важнейшее значение для палеогеографии, стратиграфии и геохронометрии.

1

Под ритмичной карбонатной толщей понимается равномерно-многократное повторение в разрезах пары естественно связанных происхождением, отличающихся друг от друга содержанием CaCO_3 слоев.

Визуально-ритмичные пары такого типа давно замечены геологами по чередованию в обнажениях пластов различной твердости и окраски (рис. 1).

Литература, в которой обсуждаются проблемы ритмичности мезозоя Европы и Северной Америки, огромна. Излагаются результаты исследований, согласно которым в разрезах распознаются ритмы *всех* орбитальных циклов: от прецессии до эксцентриситета земной орбиты. При этом, на мой взгляд, недостаточно документированно характеризуются *элементарные единицы ритмичности* конкретных разрезов.

Следует полностью согласиться с Д. Моунтом и П. Вардом [40, с. 228, 236] в том, что прежде чем связывать ритмичность с деятельностью орбитальных сил, необходимо разобраться во все еще неясном происхождении основных элементов (basic elements) ритмичности: в карбонатных разрезах — это пары известняк—мергель (ПИМ).

В статье [8] были подтверждены представления Г.К. Гильберта [26] о том, что, во-первых, ритмичность возникает *только* под воздействием *равномерной астрономической цикличности и, во-вторых, каждая пара известняк—мергель формируется на протяжении одного прецессионного цикла.*

В данной статье основное внимание сосредоточено на выяснении строения, происхождения и историко-геологического значения именно одной пары — элементарной единицы ритмичности.

2

В предгорьях Скалистых гор в штате Колорадо долиной р. Арканзас вскрыта мощная толща верхне-меловых отложений. На некоторых отрезках разреза толщи развито чередование пластов светлоокрашенных известняков (мела) и темноокрашенных мергелей и в различной степени известковистых глин и аргиллитов. Ритмичный характер чередования пластов то обогащенных карбонатом, то почти лишенных CaCO_3 привлек особое внимание Г.К. Гильберта [26, с. 122—124].

Гров Карл Гильберт (1843—1918) — американский геолог и геоморфолог (рис. 2). Известен своими регионально-геологическими исследованиями Скалистых гор. Ввел в науку понятия об орогенических и эпейрогенических тектонических движениях. Один из основателей (1879) и многолетний активный деятель Геологической службы США [45].

В разрезе мощностью 350 м Гильберт выделил четыре интервала проявления ритмичности.

Первый (верхняя часть формации Гринхорн — верхний сеноман—нижний турон) мощностью несколько десятков метров представлен чередованием слоев известняков мощностью несколько дюймов и “сланцев”¹ — 1—2,5 фута (30—95 см); средняя мощность пары слоев — 18 дюймов = 45,7 см.

Выше после толщи “сланцев” мощностью 70 м в основании формации Найобрэра, которые современные американские стратиграфы относят к верхнему турону — коньяку, располагается второй ритмичный интервал (15 м), составленный парами известняк—“сланцы”, со средней мощностью пары 18 дюймов, но с иным соотношением мощнос-

¹ “Сланцы” (shales) — это мергели, а также глины и аргиллиты, содержащие меняющиеся количества CaCO_3 .

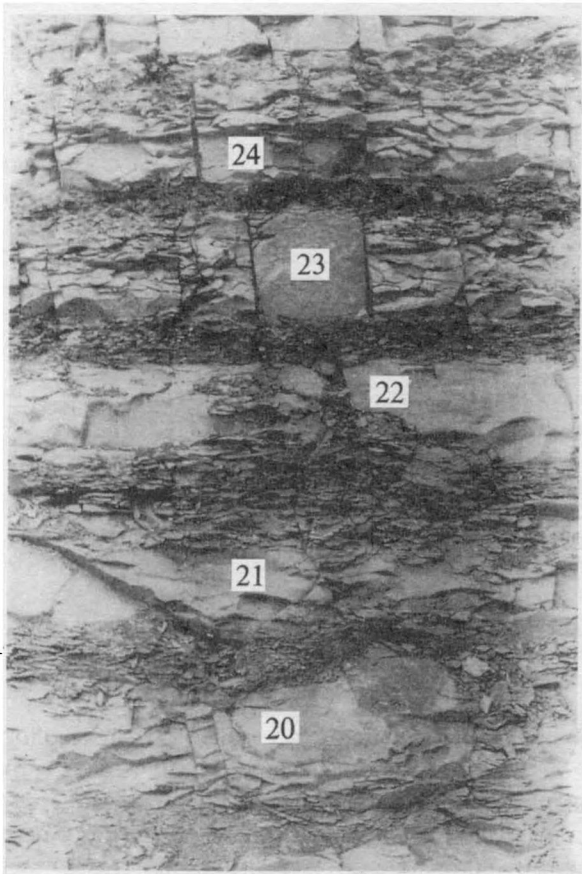


Рис. 1. Отрезок мощностью 2,5 м ритмичной толщи сеномана разреза горы Сельбухры, Юго-Западный Крым. 20—24 — № пар [8, рис. 1, табл. 1]

тей слоев пары: известняки 1—2 фута (30—60 см), а “сланцы” — 1—4 дюйма (2,5—10 см).

В 30 м выше следует третий интервал (10 м), образованный парами известковистых “сланцев” и “сланцев”. Мощность пары от 2—2,5 до 3 футов (75—90 см). Интервал завершается двумя пластами меловых известняков.

Четвертый интервал (верхняя часть формации Найобрэра) отделен от предыдущего толщей “сланцев” (150 м) и сложен известняками, в которых отчетливо намечается ритмичная тенденция (rhythmic tendency).

Поразившее Гильберта удивительно равномерное и многократное повторение пар слоев колорадского разреза заставило его отказаться от объяснения происхождения ритмичности действием земных сил. Как подчеркивает Гильберт, в проявлении действия известных ему земных сил (поднятий и опусканий, перемещениях береговой линии и водотоков и т.п.) нет ни регулярности, ни равномерности. Он пришел к выводу о необходимости привлечения к объяснению возникновения ритмичных толщ влияния равномерно действующих астрономических параметров [26, с. 124; 27, с. 1009—1012]:

- 1) вращение Земли вокруг Солнца;
- 2) precession of the equinoxes (период прецессии около 26 000 лет; так как положение перигелия

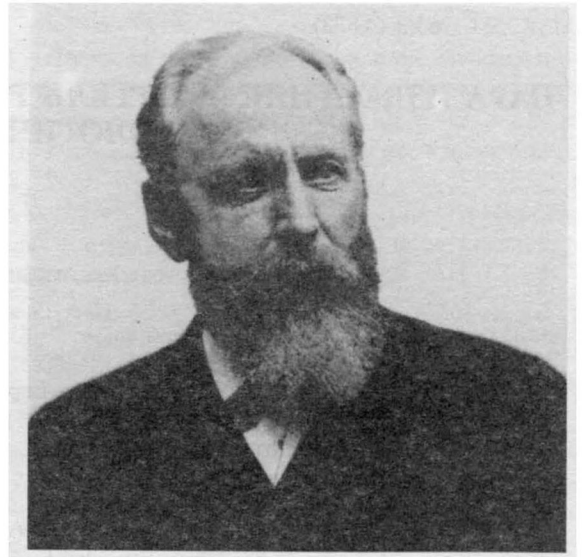


Рис. 2. Гров Карл Гильберт, фотография 1898 г. [45, фиг. 1В]

перемещается по орбите в направлении, обратном перемещению равнодействий, то среднее значение этих перемещений равно примерно 21 000 лет \pm 10%);

3) колебания эксцентриситета земной орбиты; среднее значение 91 000 лет.

Каждый из этих параметров воздействует на климат, изменения которого в свою очередь определяют природу осадконакопления. Сообразуясь с мощностями колорадского разреза и разумными оценками темпа накопления меловых осадков, Гильберт пришел к заключению, что каждая пара разреза формировалась на протяжении одного цикла прецессии, состоявшего из эпох то сближения, то удаления от Солнца. Чередование этих эпох на различных участках земной поверхности приводило к формированию локально проявляющейся ритмичности седиментации. Так, на равнинах в эпохи увлажнения развивалась растительность, эрозия подавлялась, накопление терригенных осадков в прилежащих морях существенно сокращалось, а в эпохи сухого климата, когда исчезал растительный покров, наоборот, резко возрастал объем сносимого в море обломочного материала. В прибрежных зонах моря даже небольшие периодические колебания положения береговой линии приводили к значительным, также периодическим изменениям приноса химического и терригенного материала в море. Периодические изменения ветровой циркуляции изменяли силу и направление течений мелового моря, что приводило к возникновению на отдельных участках его дна чередующихся во времени условий накопления то глинистого, то карбонатного материала.

Важнейшие для понимания феномена ритмичности карбонатных толщ верхнего мела положения небольшой статьи Гильберта состоят в следующем:

- 1) ритмичность подобных толщ инициировалась повторением прецессионных циклов;

2) смена составляющих один цикл прецессии эпох (полуциклов) сближения и удаления планеты от Солнца приводила к колебаниям земного климата;

3) на протяжении каждой эпохи локально и регионально развивались определяемые климатом условия, во-первых, денудации и эрозии суши, во-вторых, переноса в морские бассейны растворенного и обломочного материала и, в-третьих, накопления его на дне моря. В разрезах смена эпох регистрируется парой слоев (pair of beds);

4) ритмичность проявлялась на разобщенных интервалах разреза, а ее характер изменялся от интервала к интервалу.

Современные американские авторы [15, 20, 22, 23, 38] вправе подчеркивать, что Гильберт был первым исследователем, привлечшим для объяснения чисто геологических процессов действия астрономических сил.

“Циклы Миланковича” были предложены много позже для объяснения особенностей четвертичного климата [8, с. 12].

3

Продолжу начатое в статье [8] рассмотрение астрономических факторов, предопределяющих возникновение феномена ритмичности в карбонатных толщах².

Ось вращения Земли испытывает медленное движение (качание) по круговому конусу, ось симметрии которого перпендикулярна к плоскости эклиптики (плоскость орбиты вращения планеты вокруг Солнца); период полного оборота — 26 000 лет. Это осевая прецессия.

Осевая прецессия смещает на эллиптической орбите Земли точки-даты весеннего и осеннего равноденствий (это так называемое предварение равноденствий, так как точки равноденствий перемещаются навстречу видимому годичному движению Солнца), даты летнего и зимнего солнцестояния, что обусловлено движениями плоскости эклиптики и экваториальной плоскости; полный оборот совершается от 19 000 до 23 000 лет, среднее — 21 000 лет (табл. 1).

Смещение точек-дат направлено по часовой стрелке, тогда как сама эллиптическая орбита вращается в той же плоскости, но гораздо медленнее и в противоположном направлении. Прецессия четко выражена при большом эксцентриситете земной орбиты и ослабляется с его уменьшением.

Прецессия теснейшим образом связана с наклоном земной оси — углом между осью вращения Земли и перпендикуляром к плоскости эклиптики (это же: наклон эклиптики — угол между экваториальной плоскостью планеты и плоскостью эклипти-

Таблица 1

Продолжительность астрономических циклов (в тысячах лет) за последние 150 млн лет (Ма), по А. Бергеру [39, табл. 3]

Время, Ма	Прецессия			Наклон земной оси, град.	Эксцентриситет земной орбиты
	1	2	среднее		
Настоящее	19	23	21	41	95
100	18,5	22,3	20,4	38,8	95
125	18,35	22,1	20,23	38,25	95
150	18,2	21,9	20,05	37,7	95

ки). В настоящее время угол равен 23,5°. Наклон оси “в течение 40 тыс. лет колеблется в пределах от 21° 58’ до 24° 26’ (с промежутком между самым отвесным и самым пологим положениями)” [11, с. 235].

Если в какой-то момент прошлого в первый полуцикл прецессии северный конец оси наклонен к Солнцу (и Северное полушарие обращено к Солнцу), то в следующем полуцикле прецессии северный конец оси будет наклонен в сторону, противоположную от Солнца, а к нему будет обращено Южное полушарие. Значит, интенсивность инсоляции земной поверхности солнечной радиацией в полуциклы прецессии различна. Следовательно, климатические условия изменяются в соответствии со сменой полуциклов прецессии. Особенно значительное воздействие цикл прецессии оказывает на климат низких и средних широт.

Наклон земной оси регулирует распределение инсоляции в течение года, т.е. сезонность климата. Если ось перпендикулярна к плоскости эклиптики (угол = 0°), то усиливается климатическая зональность и сокращаются сезонные колебания. При увеличении угла возрастает контрастность между зимними и летними температурами. На климате колебания величины угла сказываются больше в высоких широтах, чем в низких: когда угол уменьшается, поступление солнечной энергии в полярные регионы снижается, а когда угол увеличивается, то поступление возрастает.

Прецессия предопределяет действие двух факторов: инсоляции — величины и широтного распределения солнечной радиации по земной поверхности и геостатических колебаний уровня океаносферы, вызванных перемещением оси вращения планеты [8].

4

Доказательства образования составляющих ритмичных пар за интервал времени, близкий продол-

² Графические изображения цикла прецессии содержатся в работах [3, рис. 13–16, 25; 5, рис. 1; 6, рис. 6; 18, фиг. 6.1; 24, фиг. 2; 25, фиг. 7.2; 35, фиг. 9; 46, фиг. 1].

Таблица 2

Продолжительность (в тыс. лет) формирования составляющих ПИМ в разрезах сеномана Южной Англии и Северной Франции [41, табл. 5]

Разрез	Число пар	Цикл продуктивности		Цикл разбавления	
		М	И	М	И
Кульвер Клифф	16	13994	7006	10808	10192
Соутергем	15	14649	6351	11460	9540
Абботс Клифф	15	15656	5344	14353	6647
Мыс Блан-Не (Северная Франция)	14	15138	5862	12575	8475
	60	14860	6140	12300	8700

Примечание. Прецессия 21000 лет, И — мел (известняки), М — мергели.

жительности прецессионного цикла, представляют основанные на огромном фактическом материале работы, в которых какие-либо орбитальные факторы к объяснению ритмичности не привлекаются.

Так, Ф. Шнейдер [44, с. 353, 376] в разрезах глинистых пород нижнего мела (готерив—альб) Северо-Западной Германии насчитал 745 (!) пар светло- и темноокрашенных пластов, отличающихся друг от друга высоким и низким содержанием CaCO_3 . Средняя мощность пары 0,5 м, а продолжительность ее образования, по Шнейдеру, 25 500 лет $\pm 10\%$. Шнейдер пришел к заключению, что каждая составляющая пары формировалась на протяжении 12 760 лет.

В. Брэдли [17, с. 105—106] определил продолжительность формирования составляющих пары ритмичного интервала эоценовой формации Грин-Ривер Колорадо. Пары представлены пластами битуминозных глинистых сланцев и мергелей. На основе разработанной им методики подсчета темпа аккумуляции различных типов отложений он установил, что 1 фут глинистых сланцев в среднем формировался 4700 лет, а 1 фут мергелей — 2000 лет. Применив эти цифры, Брэдли получил меняющиеся значения продолжительности образования пар и их составляющих. Из 16 пар у 13 более высокая скорость была определена для мергелей. Средняя продолжительность образования одной пары 21 630 лет³. Таким образом, было подтверждено заключение Г.К. Гильберта [26] о формировании ритмичной пары на протяжении одного прецессионного цикла.

На материалах изучения ритмичных разрезов сеномана—турона Северной Америки было предложено объяснение условий образования ПИМ [13, 14, 20]. Из трех циклов — продуктивности, разбавления

и растворения Г. Эйнзеле [12, с. 23—28] — принимаются два первых.

По Д. Эйхеру и Р. Динеру [20, с. 127, 130—135], образование пары известняк—мергель в разрезах Западного Внутреннего бассейна США можно объяснить двумя моделями. Первая — циклы разбавления (dilution cycles), — согласно которой мергели накапливались в результате обильного сноса обломочного материала во влажные эпохи, а известняки — в эпохи сухого климата, когда снос был незначительным. Вторая модель — циклы продуктивности (productivity cycles): известняки формировались в эпохи высокой, а мергели при низкой продуктивности карбонатного планктона.

Как отмечают Эйхер и Динер, идея первой модели в общей форме была предложена еще Гильбертом. Однако современные данные распределения между двумя составляющими пары остатков планктонных фораминифер и кокколитофорид, кварцевых зерен и глинистых частиц, а также другие материалы свидетельствуют о том, что модель продуктивности более реальна [20, с. 143].

Принципиально важные данные о продолжительности формирования составляющих ПИМ были получены при изучении ритмичных интервалов сеноманских разрезов Южной Англии и Северной Франции [41, 42]. Исходное положение английских авторов: каждая пара формировалась на протяжении одного цикла прецессии — 21 000 лет (табл. 2). Рассматриваются все те же две модели. Модель циклов разбавления: мергели формировались в условиях возрастания приноса в бассейн обломочного материала, а мел (известняки) — при значительном снижении его поступления.

Цикл продуктивности, регистрируемый парой мергель—мел (известняк), заключался в смене условий “мергельного моря” условиями “мелового моря”. “Меловое море” было теплее (по изотопным данным, в среднем на 2°C), и поэтому первичная продуктивность кокколитофорид в нем была более высокой, чем в “мергельном море”. Мел (известняк) образовывался быстрее мергелей.

В 60 исследованных парах мощность нижней составляющей (мергелей) значительно больше мощности слоя мела (известняков). Очевидно, пары были такого типа, как в интервале 5 разреза Истборн (рис. 3, А), в интервалах 1—5 разреза Кульвер Клифф (рис. 3, Б).

По модели продуктивности получены различные значения продолжительности формирования составляющих пар: для мела (известняков) существенно меньше, чем для мергелей (табл. 2). Подсчеты по модели разбавления принесли иные соотношения продолжительности формирования составляющих пар.

³ Подсчеты Брэдли воспроизведены в книге П. Даффа и др. [2, с. 77].

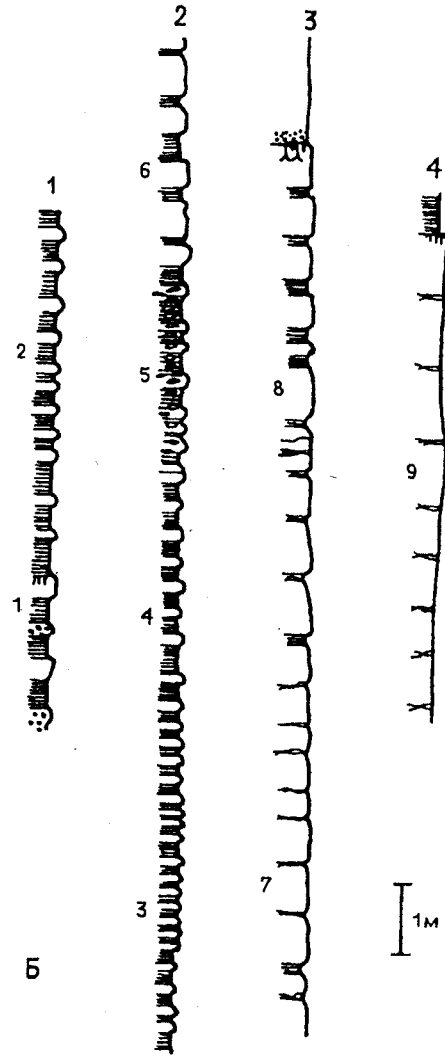
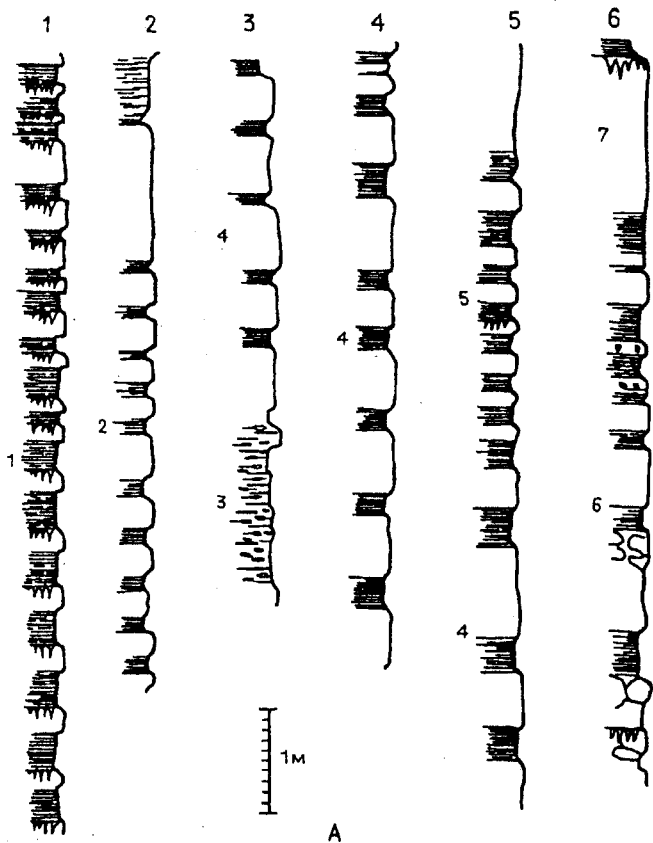


Рис. 3. Изменения типа ритмичности в разрезах сеномана Южной Англии, по В. Кеннеди [36]: А — разрез Истборн, Суссекс [36, фиг. 12]; Б — разрез Кульвер Клифф, о. Уайт [36, фиг.13]. Цифры вверх — номера (снизу вверх) отрезков разреза, цифры слева — номера интервалов ритмичности одного типа

Предполагается [41, с. 100], что ритмичность сеномана в основном создана возрастающей при повышении поверхностной температуры кокколито-вой продуктивностью, но при этом фоновую (background) седиментацию создавали мергели.

Д. Моунт и П. Вард [40, с. 228, 236] связывают возникновение ритмичного чередования пар известняк—мергель в разрезах верхнего маастрихта Цумая (Северная Испания) с особенностями режима приноса терригенного материала, т.е. с циклом разбавления.

Как мне представляется, ритмичность сеномана Европейской палеобиогеографической области в основном можно объяснить моделью продуктивности. Изучение первичной продуктивности планктонных фораминифер, кокколитофорид, других пелагических организмов массового распространения с карбонатным скелетом может доставить реально значимую информацию о происхождении ритмичности в своей основе планктоногенных эпиконтинентальных толщ. Карбонатная продуктивность, несомненно, была ведущей, но одновременно действовали и процессы разбавления.

Несколько замечаний относительно возможного искажения первичной картины образования ПИМ в результате действия диагенетических процессов.

По предварительному заключению К. Паула [41, с.100], процессы растворения и уплотнения в разрезах сеномана были незначительными и протекали равномерно при образовании составляющих ПИМ. Однако различия все-таки отмечаются: обломочные частицы глинистой размерности обезвоживаются значительно; следовательно, мергели должны уплотняться больше мела. Так что на образование мергелей могло быть затрачено времени больше рассчитанного [41, с. 100].

П. Дитчфилд и Д. Маршалл [19] показали, что изменения $\delta^{18}\text{O}$ карбонатов в разрезах ритмичных толщ сеномана Южной Англии строго следуют ритмичной закономерности: в мергелях $-2,4\div-2,6\text{‰}$ (среднее значение температуры 23°C), в мелу (известняках) $-3,2\div-3,4\text{‰}$ (25°C). В целом первичная изотопная запись сохраняется.

В одном из ритмичных разрезов верхнего кампана Мангышлака также зарегистрированы ритмичные изменения значений $\delta^{18}\text{O}$: в мергелях $-1,8\div-2,4\text{‰}$; в известняках $-2,9\div-3,4\text{‰}$ [7, с. 41].

Как и английские авторы, я полагаю, что общая первичная ритмичность сеномана Крьюма и Южной Англии (в более общем плане — Европейской палеобиогеографической области) в процессе диагенеза значительно не изменялась. Дальнейшие исследования в этом направлении, несомненно, желательны: они могут принести дополнительную полезную информацию о происхождении ритмичности, однако, по всей видимости, кардинально не изменят указанного заключения.

5

Г.К. Гильберт заметил, что пары в четырех выделенных им ритмичных интервалах разрезов формаций Гринхорн и Найобрэра (сеноман—коньяк) построены различно (см. раздел 2).

Изменение типа ритмичности в разрезах сеномана Южной Англии отображено на графиках в работах [25, 32, 36, 41]. Наиболее полно и графически наглядно это показано в работе В. Кеннеди [36]. По колонкам Кеннеди намечаются интервалы, характеризующиеся ритмичностью определенного типа.

Так, в разрезе Истборн (90 км восточнее Дувра) мощностью 39,5 м [36, фиг. 12, с. 507—518, слой 6—18] (рис. 3, А) намечены следующие интервалы:

Интервал 1. Пара составлена глинистым мергелем внизу и известняками вверху; в кровле известняков — хардграунды. Средняя мощность пары по 16 замерам 46 см; мощности составляющих пары меняющиеся, но в среднем примерно одинаковы.

Интервал 2. Мергели и более мощные известняки. Средние мощности: пары 52 см, мергелей 18 см, известняков 34 см.

Интервал 3. Единая пара из мощного известняка (135 см) и мощного мергеля (220 см).

Интервал 4. Глинистые мергели и значительно большей мощности известняки. Средние мощности: пары 80 см, мергелей 24 см, известняков 56 см.

Интервал 5. Мергели и малой мощности известняки. В кровле известняков одной из пар — хардграунд, выше которого в основании мергелей обломки раковин иноцерамов, ядра аммонитов, галька фосфоритов. Средние мощности: пары 40 см, мергелей 22 см, известняков 18 см.

В разрезе Соутергем (несколько восточнее Истборна) в последовательности мощностью порядка 25 м [36, фиг. 10, с. 497—499] намечаются 5 интервалов. В двух нижних интервалах мощность пары порядка 70—80 см (мощность отдельных пар превышает 100 см), а мощность нижней составляющей (глинистые мергели) значительно превышает мощность верхних твердых известняков. В остальных ПИМ соотношения мощностей составляющих пар обратное. Для

четырёх нижних интервалов характерны хардграунды в кровле известняков.

В разрезе Кульвер Клифф (восточный уступ о. Уайт) мощностью 45 м выделяются несколько интервалов ритмичности резко различного типа [36, фиг. 13, с. 512—518, слои 5—14] (рис. 3, Б).

Разумеется, как и всякая рисованная графика, колонки Кеннеди в какой-то степени субъективны. Но они выполнены очень тщательно и, на мой взгляд, весьма убедительно подтверждают (что я подчеркиваю их интерпретацией) эволюцию стиля строения ПИМ вверх по разрезу. Эволюция прежде всего выражена в изменении крайне важных при использовании явления ритмичности в качестве индикатора палеогеографических условий, подаваемых в числовой форме конкретных величин: мощностей пар и их составляющих.

6

Пара известняк—мергель — наиболее распространенная в разрезах верхнего мела Европейской палеобиогеографической области и Северной Америки *элементарная единица ритмичности (ЭЕР)*.

Данные о вещественном содержимом ПИМ — литологическом и химическом, палеонтологическом и минералогическом — многочисленны и хорошо известны. Самое главное: составляющие ПИМ отличаются друг от друга формой, составом и количественным содержанием CaCO_3 .

Значительно более скромны опубликованные материалы о границах как между парами, так и между их составляющими.

Ритмичность в карбонатных толщах наглядно обозначается границей известняк—мергель, то есть границей между ПИМ. Менее определена граница мергель—известняк, т.е. граница внутри ПИМ (рис. 4).

Граница мергель—известняк должна быть обозначена в отложениях, накапливавшихся при постепенной смене условий седиментации. В образовавшейся непрерывной последовательности мергель—известняк наметить границу затруднительно. При визуальном ее определении субъективность неизбежна.

Граница известняк—мергель отделяет слои, формировавшиеся в различных физико-географических условиях. Граница, как правило, отчетлива и определена. Ее резкость часто подчеркивается образованиями типа “твердого дна” (хардграундами) в кровле пласта известняка. Степень субъективности в ее определении обычно невелика.

7

Ритмичные карбонатные толщи сеномана формировались в обширных эпиконтинентальных морях Европейской палеобиогеографической области⁴ и Северной Америки в пределах пояса средних широт.

⁴ Европейская палеобиогеографическая область [9, с. 37—86] у западноевропейских авторов — шельфовое море, простиравшееся севернее альпийских складчатых сооружений Евразии от Атлантического побережья Европы до юго-запада Сибири [16, с. 78—80; 29, с. 211—217]. Его западную часть английские авторы [16, 30, 37] называют Меловым морем (Chalk sea).

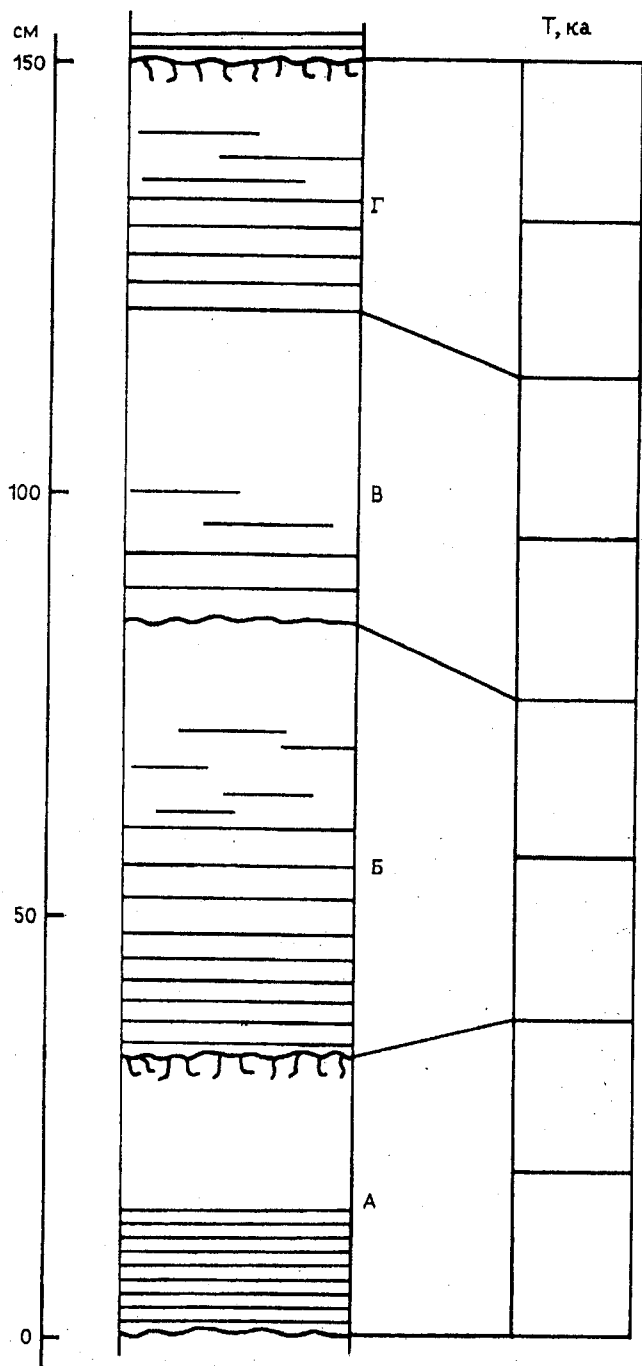


Рис. 4. Соотношение границ ПИМ и ее составляющих с прецессионными рубежами:
 А—Г — ПИМ; горизонтальные линии и белое — составляющие пары. Т, ка — прецессионный цикл, тыс. лет

Ритмичный сеноман изучен в разрезах Крыма (44° 30'—45° с.ш.) [1, 8, 10], Южной Англии и Северной Франции (51°—52° с.ш.) [19, 25, 32, 33, 36, 41, 42], Колорадо и Канзаса, США (38° — 40° с.ш.) [15, 20, 21, 28, 34, 38, 43].

Глубины моря в пределах Восточно-Европейской платформы были порядка 50—200 м, местами и временами больше или меньше — до нескольких десятков метров и даже нескольких метров [8, с. 14; 9, с. 83].

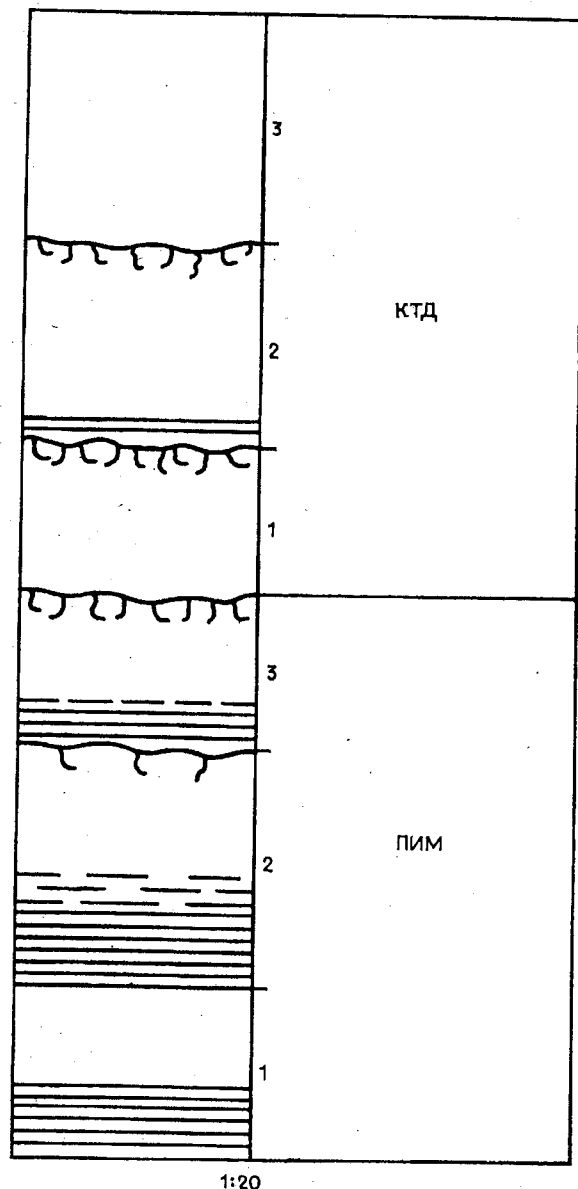


Рис. 5. Элементарные единицы ритмичности (ЭЕР) карбонатных толщ:
 ПИМ — пара известняк—мергель; КТД — пласт карбонатной породы (мел, известняк, мергель), ограниченный поверхностями “твердого дна” (хардграундами); 1—3 — варианты

Глубины Мелового моря (Chalk sea), по В. Кеннеди и Р. Гаррисону [37, с. 311, 321], от 50 до 200—300 м, по М. Блейку [16, с. 70, фиг. 13; 31, с. 89], — 180 ± несколько десятков метров.

В удалении от берегов на открытых участках акватории чередование трансгрессий и регрессий приводило к колебаниям глубины бассейна: при трансгрессиях они возрастали, при регрессиях — уменьшались вплоть до почти полного обмеления.

При высоком уровне моря в прогреваемой и освещаемой Солнцем пелагиали возникали условия, благоприятствовавшие массовому развитию кокколитофорид и планктонных фораминифер. Теплолюбивые фораминиферы и светозависимые кокколито-

фориды были особенно чувствительны к колебаниям глубин бассейна. Вероятный нижний предел процветания планктонных фораминифер — 185 м, а кокколитофорид — 55 м [9, рис. 8; 16, фиг. 13]. В огромных объемах воды пелагиали резко возрастала первичная карбонатная продуктивность. На дне моря равномерно накапливались обильные карбонатные осадки.

При понижениях уровня в условиях меняющихся глубин значительно возрастала активность гидродинамических факторов; равномерность процесса осадконакопления нарушалась: на дне происходило перераспределение осадков. В осадках повышалось количество приносимого с суши растворенного и взвешенного материала. Существенно возрастало удельное содержание нерастворимого остатка.

Инсоляция и геоэвстазия (см. раздел 3) инициировали как изменения климата, так и колебания уровня моря. В эпиконтинентальных морях позднего мела масса планктоногенных карбонатных осадков определялась контролируемой инсоляцией первичной продуктивностью пелагиали.

В статье [8] было предположено, что составляющие ПИМ формировались на протяжении равных отрезков времени, соответствующих продолжительности полуциклов прецессии. Предполагалось, что осадки нижней составляющей ПИМ (“мергели”) накапливались в первый полуцикл прецессии, когда инсоляция была невысокой. Осадки верхней составляющей (“известняки”) формировались во время второго полуцикла прецессии, когда происходило геоэвстатическое повышение уровня моря, а в результате усиления солнечной радиации резко возрастала первичная продуктивность пелагиали.

Но это лишь упрощенный вариант более сложной картины.

Для ПИМ сеномана Южной Англии и Северной Франции, у которых мощности нижней (мергельной) составляющей превышают мощности верхней (известняки, мел), подсчитана различная продолжительность их образования (табл. 2).

По модели продуктивности определено существенно более короткое время формирования известняков (мела) по сравнению с мергелями. В среднем по 60 парам для известняков (мела) — 6140 лет, а для мергелей — 14860 лет. Эти цифры резко отличаются от продолжительности полуциклов прецессии — 10500 (21000:2).

По модели разбавления средние значения для известняков (мела) — 8700 лет, а для мергелей — 12300 лет. Цифры отличаются от продолжительности полуцикла прецессии, но не так значительно, как по модели продуктивности.

Очевидно, смена режимов солнечной радиации и геоэвстазии на рубежах полуциклов не приводила к резким, контрастным изменениям физико-географических параметров эпиконтинентального моря. Какое-то время во втором полуцикле сохранялись

физико-географические условия предшествовавшего первого полуцикла. Причем условия, соответствующие модели разбавления, сохранялись дольше, чем условия модели продуктивности. Таким образом, в варианте строения ПИМ, в котором мощность первой “мергельной” составляющей превышает мощность второй составляющей, развитие характерных для второго полуцикла физико-географических условий запаздывало.

При обратном соотношении мощностей, составляющих ПИМ — мощность “мергелей” меньше мощности “известняков”, — смена полуциклов прецессии, возможно, не сказывалась на общем режиме седиментации.

Вопрос о соотношении развития режима седиментации на протяжении прецессионного цикла с рубежами полуциклов я предполагаю рассмотреть в статье о КТД.

Усиление солнечной радиации во втором полуцикле приводило к возрастанию первичной продуктивности пелагиали. Накопление планктоногенных осадков (их мощности), по-видимому, опережало эвстатическое повышение уровня моря, что приводило к снижению глубины бассейна [8, с. 15—16]. График на рис. 2—11 [8] показывает эвстатическое углубление бассейна во втором полуцикле прецессии без учета эффекта обмеления, вызванного возросшей карбонатной продуктивностью пелагиали.

В конце каждого цикла прецессии происходило регистрируемое особенностями границы между парами (см. раздел 6) кратковременное импульсивное снижение уровня моря [8, рис. 2]. По-видимому, геоэвстатический феномен был вызван какими-то пертурбациями осевой прецессии. Повышенная активность действия геоэвстазии на рубежах прецессионных циклов несомненна.

8

Каждая ПИМ является продуктом одного прецессионного цикла, который синтезировал эффект деятельности и других орбитальных циклов: эксцентриситета земной орбиты и наклона оси вращения планеты.

Развитие палеогеографических условий региона (участка эпиконтинентального моря) как на протяжении одного прецессионного цикла, фиксируемого одной ПИМ, так и в последовательности пар во времени, что регистрируется ритмичностью толщи, может быть намечено в конкретных разрезах по соотношению мощностей ПИМ и их составляющих с седиментометрическими материалами (мощностями осадков и образованных из них отложений, скоростям накопления осадков и их превращения в отложения) [4].

Определение палеогеографических условий одного цикла прецессии (т.е. интервала времени “всего лишь” 21 000 лет) отвечает запросам совре-

менной стратиграфии, стремящейся оперировать все более и более дробными стратонами.

Чем больше мощность пары и ее составляющих, тем выше был темп седиментации. Батиметрия контролировала развитие различных процессов, проходивших как в объеме воды, так и на дне эпиконтинентального бассейна. При образовании составляющих пары фактор глубины сказывался различно. Модель разбавления действовала дольше модели продуктивности. Для второй составляющей пары важными являлись разнонаправленные тенденции геоэвстатического углубления бассейна и его обмеления в результате эффекта карбонатной продуктивности пелагиали.

Изучение изменения строения ПИМ по разрезу позволяет выяснить общую направленность эволюции базовых физико-географических параметров позднемеловых эпиконтинентальных морей.

Как давно известно, в формировании ритмичности карбонатных отложений первостепенная роль

принадлежит климатическим колебаниям. Более точно — ритмичность создается дуплетом инсоляция—климат.

Ритмичные карбонатные разрезы верхнего мела в полосе средних широт располагаются мозаично, что отражает региональные и локальные особенности глубины и рельефа дна эпиконтинентальных бассейнов.

Как убедительно показал еще 110 лет тому назад Г.К. Гильберт [26], изучение ритмичности может обеспечить геологическую летопись количественными оценками продолжительности интервалов прошлого времени. Ресурсы ритмичности в геохронометрии в силу различных причин все еще используются недостаточно. Дальнейшие перспективы применения ритмичности в этом направлении в значительной степени зависят от совершенствования методов седиментометрического изучения разрезов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Габдуллин Р.Р. Ритмичность верхнемеловых отложений Русской плиты, Северо-Западного Кавказа и Юго-Западного Крыма. М., 2002. 303 с.
2. Дафф П., Халлам А., Уолтон Э. Цикличность осадконакопления. М., 1971. 284 с.
3. Имбри И., Имбри К.П. Тайны ледниковых эпох. М., 1988. 263 с.
4. Зотов П.П. Сущность седиментометрического метода // Происхождение и история Земли. Алма-Ата, 1972. С. 138—150.
5. Малиновский Ю.М., Флоренский П.В. О связи циклических астрономических явлений с колебаниями климата и ритмичностью осадочных толщ // Проблемы планетарной геологии. М., 1963. С. 122—128.
6. Найдин Д.П. Астрономические вариации, флуктуации климата и ритмичность карбонатных толщ. Ст. 1. Актуалистические предпосылки. Параметры земной орбиты и климат // Изв. вузов. Геол. и разведка. 1989. № 10. С. 35—47.
7. Найдин Д.П. Позднемеловые события на востоке Европейской палеобиогеографической области. Ст. 2. События рубежей сеноман/турон и маастрихт/данний // Бюл. МОИП. Отд. геол. 1993. Т. 68, вып. 3. С. 33—53.
8. Найдин Д.П. Пара известняк—мергель ритмичной карбонатной толщи сеномана Крыма — показатель различных палеогеографических режимов полуциклов прецессии // Изв. вузов. Геол. и разведка. 2004. № 1. С. 12—17.
9. Найдин Д.П., Похилайнен В.П., Кац Ю.И., Красилов В.А. Меловой период. Палеогеография и палеоокеанология. М., 1986. 262 с.
10. Фролов В.Т., Джайакришнан С. Циклиты верхнемеловых известняков Горного Крыма и их возможная природа // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геол. 1996. № 4. С. 59—66.
11. Шварцбах М. Климаты прошлого. М., 1955. 283 с.
12. Эйнзель Г. Известняково-мергельные циклы (периодиты): диагностика, значение, причины образования. (Обзор). М., 1985. С. 16—63.
13. Arthur M.A., Dean W.E., Bottjer D., Scholle P.A. Rhythmic bedding in Mesozoic-Cenozoic pelagic carbonate sequences: the primary and diagenetic origin of Milankovitch-like cycle // A.L. Berger et al. (eds). Milankovitch and Climate. Part 1. 1984. P. 191—222.
14. Arthur M.A., Bottjer D.J., Dean W.E. et al. Rhythmic bedding in Upper Cretaceous pelagic carbonate sequences: Varying sedimentary response to climatic forcing // Geology. 1986. Vol. 14, N 2. P. 153—156.
15. Barron E.J., Arthur M.A., Kauffman E.G. Cretaceous rhythmic bedding sequences: a plausible link between orbital variations and climate // Earth and Planet. Sci. Letters. 1985. Vol. 72, N 4. P. 327—340.
16. Black M. On Chalk, Globigerina ooze and aragonite mud // C.V. Jeans and P.F. Rawson (eds). Andros island, Chalk and Oceanic oozes. 1980. P. 54—85.
17. Bradley W.H. The varves and climate of the Green River Epoch // U.S. Geol. Survey. Prof. Pap. 1929. N 158-E. P. 87—110.
18. Boer P.L. de. Aspects of middle Cretaceous pelagic sedimentation in southern Europe: production and storage of organic matter, stable isotopes and astronomical influences // Geologia Ultraiectina. 1983. T. 31. P. 1—104.
19. Ditchfield P., Marshall J.D. Isotopic variation in rhythmically bedded chalks: Paleotemperature variation in the Upper Cretaceous // Geology. 1989. Vol. 17, N 9. P. 842—845.
20. Eicher D.L., Diner R. Origin of the Cretaceous Bridge Creek cycles in the Western Interior, United States // Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol. 1989. Vol. 74, N 1/2. P. 127—146.

21. *Elder W.P., Kirkland J.I.* Stratigraphy and depositional environments of the Bridge Creek Limestone Member of the Greenhorn Limestone at Rock Canyon Anticline near Pueblo, Colorado // *SEPM Field Trip Guidebook N 4*. 1985. Tulsa. P. 122–134.
22. *Fischer A.G.* Gilbert-bedding rhythms and geochronology // *Geol. Soc. America Spec. Pap.* 1980. N 183. P. 93–104.
23. *Fischer A.G.* Cyclostratigraphy of Cretaceous chalk-marl sequences // *Geol. Assoc. Canada. Spec. Pap.* 1993. N 39. P. 283–295.
24. *Fischer A.G., Bottjer D.J.* Orbital forcing and sedimentary sequences // *J. Sed. Petrol.* 1991. Vol. 61, N 7. P. 1063–1069.
25. *Gale A.S.* Cyclostratigraphy // *P. Doyle and M.R. Bennett (eds).* *Advances in modern stratigraphy*. 1998. P. 195–220.
26. *Gilbert G.K.* Sedimentary measurement of Cretaceous time // *J. Geol.* 1895. Vol. 3. P. 121–127.
27. *Gilbert G.K.* Rhythms and geological time // *Science*. 1900. Vol. 11. P. 1001–1012.
28. *Glancy, Jr. T.J., Arthur M.A., Barron E.J., Kauffman E.G.* A paleoclimatic model for the North American Cretaceous (Cenomanian-Turonian) epicontinental sea // *Geol. Assoc. Canada. Spec. Pap.* 1993. N 39. P. 219–241.
29. *Håkansson E., Bromley R., Perch-Nielsen K.* Maastrichtian chalk of north-west Europe — a pelagic shelf sediment // *Intern. Association of Sedimentologists. Spec. Publ.* 1974. N 1. P. 211–233.
30. *Hancock J.M.* The petrology of the Chalk // *Proc. Geologists' Assoc. London*. 1975. (1976). Vol. 86, pt 4. P. 499–535.
31. *Hancock J.M.* The significance of Maurice Black's work on the Chalk // *C.V. Jeans and P.F. Rawson (eds).* *Andros island, Chalk and Oceanic oozes*. 1980. P. 86–97.
32. *Hart M.B.* Orbitally induced cycles in the chalk facies of the United Kingdom // *Cretaceous Res.* 1987. Vol. 8, N 4. P. 335–348.
33. *Hart M.B., Swiecicki A.* Foraminifera of the chalk facies // *M.B. Hart (ed.). Micropalaeontology of carbonate environments*. Chichester. 1987. P. 121–137.
34. *Hattin D.E.* Distribution and significance of widespread, time-parallel pelagic limestone beds in Greenhorn Limestone (Upper Cretaceous) of the Central Great Plains and southern Rocky Mountains // *SEPM Field Trip Guidebook N 4*. 1985. Tulsa. P. 28–37.
35. *House M.R.* Orbital forcing timescales: an introduction // *M.R. House and A.S. Gale (eds).* *Orbital forcing timescales and cyclostratigraphy*. 1995. P. 1–18.
36. *Kennedy W.J.* The correlation of the Lower Chalk of South-East England // *Proc. Geologists' Assoc. London*. 1969. Vol. 80, pt 4. P. 459–560.
37. *Kennedy W.J., Garrison R.E.* Morphology and genesis of nodular chalks and hardgrounds in the Upper Cretaceous of southern England // *Sedimentology*. 1975. Vol. 22. P. 311–386.
38. *Laferriere A.P., Hattin D.E.* Effects of climate, tectonics, and sea-level changes on rhythmic bedding patterns in the Niobrara Formation (Upper Cretaceous), U.S. Western Interior // *Geology*. 1987. Vol. 15, N 3. P. 233–236.
39. *Mayer H., Appel E.* Milankovitch cyclicity and rock-magnetic signatures of paleoclimatic change in the Early Cretaceous Biancone Formation of the Southern Alps, Italy // *Cretaceous Res.* 1990. Vol. 20, N 2. P. 189–214.
40. *Mount J.F., Ward P.* Origin of limestone/marl alternations in Upper Maastrichtian of Zumaya, Spain // *J. Sed. Petrol.* 1986. Vol. 56, N 2. P. 228–236.
41. *Paul C.R.* Milankovitch cycles and microfossils: principles and practice of palaeoecological analysis illustrated by Cenomanian chalk-marl rhythmus // *J. Micropalaeontology*. 1992. Vol. 11, pt 1. P. 95–105.
42. *Paul C.R.C., Mitchell S.F., Marshall J.D. et al.* Palaeoceanographic events in the Middle Cenomanian of Northwest Europe // *Cretaceous Res.* 1994. Vol. 15, N 6. P. 707–738.
43. *Pratt L.M., Arthur M.A., Dean W.E., Scholle P.A.* Paleo-oceanographic cycles and events during the Late Cretaceous in the Western Interior Seaway of North America // *Geol. Assoc. Canada. Spec. Pap.* 1993. N 39. P. 333–353.
44. *Schneider F.K.* Erscheinungsbild und Entstehung der rhythmischen Bankung der altkretazischen Tongesteine Nordwestfalens und der Braunschweiger Bucht // *Fortschritte Geologie Rheinland und Westfalen*. 1964. Bd 7. S. 353–382.
45. The scientific ideas of G.K. Gilbert. An assessment on the occasion of the Centennial of the United States Geological Survey (1879–1979) // *Geol. Soc. America. Spec. Pap.* 1980. N 183. 148 p.
46. *Zachos J., Pagani M., Sloan L. et al.* Trends, rhythms, and aberrations in global climate 65 Ma to present // *Science*. 2001. Vol. 292. P. 686–693.

LIMESTONE — MARL COUPLET OF RHYTHMIC CARBONATE FORMATION IN GEOLOGICAL RECORD

D.P. Naidin

The ideas of G.C. Gilbert (1895) on origin of limestone — marl couplet of rhythmic carbonate formation during precessional cycles (21000 years $\pm 10\%$) are developed on the studies of Cenomanian sections of the European paleobiogeographic province. It is shown that structure of couplets is modified along the section. As single couplets as well as their succession in the section (in time) contain information which is important for paleogeography, stratigraphy and geochronometry.