

УДК 551. 8: 551. 763.3 (4+73)

Е.Ю. Барабошкин<sup>1</sup>, И.А. Зибрюв<sup>2</sup>

## ХАРАКТЕРИСТИКА РИТМИЧНОЙ ТОЛЩИ СРЕДНЕГО СЕНОМАНА г. СЕЛЬБУХРА (ЮГО-ЗАПАДНЫЙ КРЫМ)<sup>3</sup>

Приведены новые литологические, ихногеологические и изотопные данные, полученные при изучении ритма из разреза ритмичной толщи среднего сеномана г. Сельбухра. Интенсивная биотурбация пород имеет отчетливую ярусность, типичную для разрезов писчего мела, и отвечает ихнофации Cruziana, характерной для мягких грунтов открытого шельфа. Изучение соотношений стабильных изотопов  $\delta^{13}\text{C}$  и  $\delta^{18}\text{O}$  в ихногеологических находках не подтверждает модель структур фермерства для *Chondrites* и *Zoophycos*, а для *Thalassinoides* свидетельствует о пассивном заполнении этих ходов осадком. Установлено, что богатые органикой мергели накапливались в условиях повышенной биопродукции и донной аноксии при участии циклов растворения. Уверенно связать ритмичность с циклами прецессии по нашим данным нельзя.

**Ключевые слова:** ритмичность, верхний мел, сеноман, ихногеологические находки, стабильные изотопы, циклы разбавления, Крым.

We present new lithological, isotopic and ichnological data obtained in the study of one rhythm from the Middle Cenomanian rhythmic section of Selbukhra Mountain. The intense bioturbation has a distinct tiering typical for Chalk sections, and is responsible for Cruziana ichnofacies, usual for soft grounds of open shelf. The study of stable isotope ratios  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{18}\text{O}$  in trace fossils not confirm the model of farming structures for *Chondrites* and *Zoophycos*, and for *Thalassinoides* it indicates its passive filling by sediment. It is determined that organic-rich marls accumulated in high bioproduction and bottom anoxia conditions under dissolution cycles effect. Confidently associate rhythmicity with the cycles of precession is not possible according to our data.

**Key words:** rhythm, Upper Cretaceous, Middle Cenomanian, trace fossils, stable isotopes, cycles of dilution, Crimea.

**Введение.** Строению и условиям формирования ритмичного карбонатного разреза среднего сеномана на г. Сельбухра (Юго-Западный Крым) посвящено множество исследований [Алексеев, 1989; Найдин, Кияшко, 1994 а, б; Gabdullin et al., 1999; Габдуллин, 2002; Найдин, 2004, 2005, 2008]. В 2010 г. Е.Ю. Барабошкиным и И.А. Зибрювым изучен разрез этой толщи, детально охарактеризованы строение и ихногеология одного ритма, получены новые данные о стабильных изотопах  $\delta^{13}\text{C}$  и  $\delta^{18}\text{O}$  в породах и ихногеологических находках, о чем кратко сообщалось ранее [Барабошкин и др., 2011].

Рассматриваемый разрез находится около учебной базы МГУ в с. Прохладное (Юго-Западный Крым) в промоине на южном склоне г. Сельбухра, в 180 м на восток-юго-восток от ее вершины ( $44^{\circ}44,248'$  с.ш.,  $33^{\circ}59,879'$  в.д.) (рис. 1). Он соответствует пачке V «ритмичного чередования мергелей и светло-серых известковистых мергелей и глинистых известняков», отвечающей фораминиферовой зоне *Rotalipora cushmani*, и входит в состав белогорской свиты (сеноман–нижний турон) [Алексеев, 1989]. Интервал, изученный нами детальнее, соответствует кровле

ритма 2, ритму 3 и основанию ритма 4 (темно-серые мергели [Найдин, 2004]). Породы полого падают на северо-запад ( $300\angle10$ ).

Коллекция ихногеологических находок хранится в Музее землеведения МГУ, № 114.

**Литологический состав.** В изученном ритме отчетливо выделяются два элемента (петротип 3, по [Габдуллин, 2002]), представленные двумя литотипами.

Верхний элемент, более карбонатный, образован литотипом 1 (известняки, рис. 2, А), микроскопически представляющим собой светло-серые биотурбированные фораминиферово–кальцисферовые вакстоуны (фораминиферы 10–25%,  $\text{CaCO}_3$  до 88,8%) с единичными алевритовыми зернами кварца, фрагментами призматического слоя иноцерамов, кристаллами лириита (размеры до 0,05 мм) [Габдуллин, 2002]. Количество глины составляет от 4,5–5%, среди глинистых минералов преобладает иллит [Габдуллин, 2002]; содержание органического вещества — 0,08% [Gabdullin et al., 1999]. Кровля слоев, сложенных литотипом 1, представляет собой поверхность перерывов мягкого дна [Барабошкин и др., 2002], а не твердого дна, как это представлялось ранее [Найдин, 2008].

<sup>1</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра региональной геологии и истории Земли, профессор; e-mail: barabosh@geo.msu.ru

<sup>2</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра региональной геологии и истории Земли, студент; e-mail: zibrivilya@gmail.com

<sup>3</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты № 10-05-06049-г, 10-05-00276, 10-05-00308).

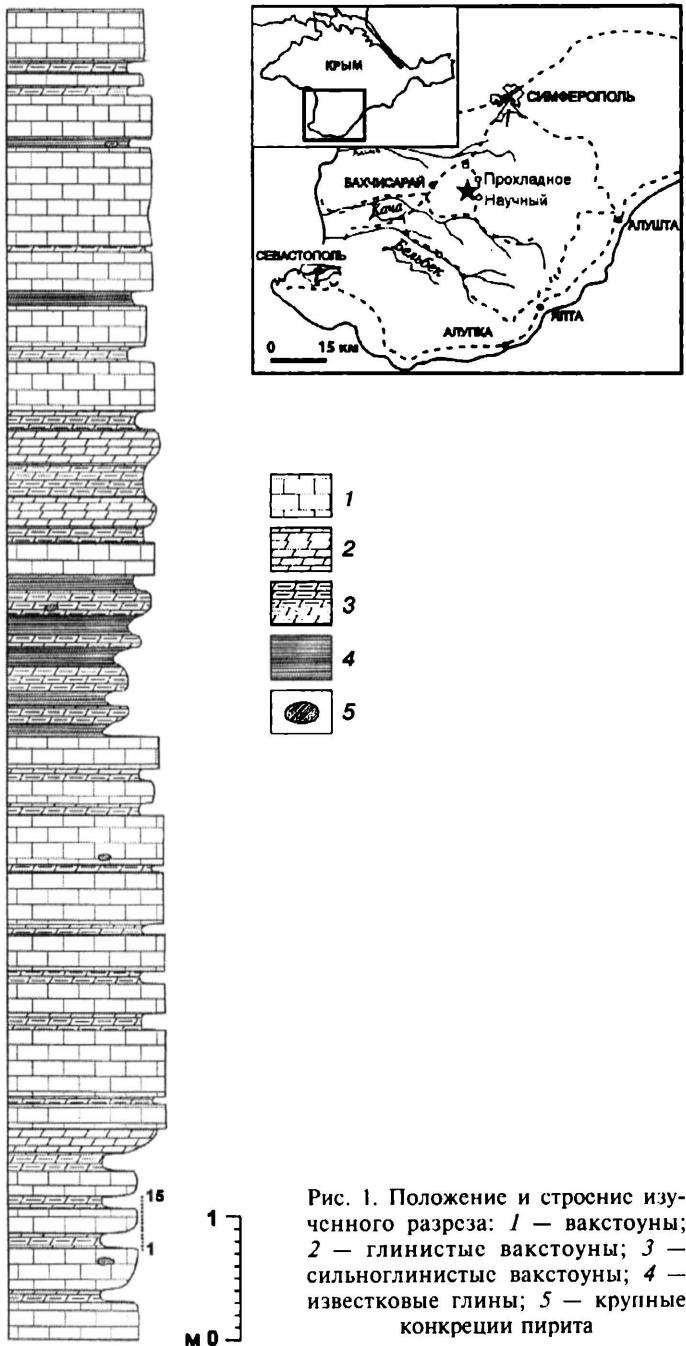


Рис. 1. Положение и строение изученного разреза: 1 — вакстоуны; 2 — глинистые вакстоуны; 3 — сильно глинистые вакстоуны; 4 — известковые глины; 5 — крупные конкреции пирита

Нижний элемент, менее карбонатный и более глинистый, образован литотипом 2 (мергели, рис. 2, Б), постепенно сменяющим литотип 1. Он представлен темно-бурыми глинистыми биотурбированными фораминиферово-кальцисферовыми вакстоунами (фораминифер 10–20%,  $\text{CaCO}_3$  до 69,7%) [Габдуллин, 2002], с единичными зернами кварца и глауконита алевритовой размерности (0,05–0,15 мм). Более темный цвет породы объясняется большим количеством глинистого (12,5%) [Габдуллин, 2002] и органического (0,44%) [Gabdullin et al., 1999] вещества. Состав глинистых минералов разнообразнее (иллит, монтмориллонит, хлорит), но преобладает иллит [Габдуллин, 2002]. Подошва этого элемента ритма всегда резкая.

В обоих литотипах среди фораминифер доминируют планктонные (80–90% от общего количества), из которых Л.Ф. Копаевич определены *Heterohelix* spp., *Whiteinella* spp., *Whiteinella archaeocretacea* Pessagno, *Rotalipora* sp., *Thalmanninella* sp. Бентосные фораминиферы представлены известковыми и агглютинированными формами, в том числе *Lenticulina* sp. и *Textularia*(?) sp. В некоторых местах раковины фораминифер заполнены аутигенным кварцем.

Отсутствие грубозернистого терригенного материала, иллитовый состав глинистой фракции, резкое преобладание планктонных фораминифер над бентосными свидетельствуют о накоплении осадка в морском бассейне на значительном удалении от побережья, в глубокой части шельфа (несколько сотен метров) [Алексеев, 1989].

**Ихнокомплексы и ихноФоссилии.** В предшествующих работах в исследуемом разрезе указывались *Chondrites* isp., *Phycosiphon* isp., *Planolites* isp., *Teichichnus* isp., *Thalassinoides* isp., *Zoophycos* isp. [Габдуллин, 2002]. Нами определены *Arenicolites* isp., *Asterosoma*? isp., *Chondrites intricatus* Sternberg, Ch. isp., *Cylindrichnus* isp., *Helminthopsis* isp., *Planolites* isp., *Thalassinoides paradoxicus* (Woodward), *Th.* isp., *Taenidium* isp., *Zoophycos* cf. *brianteus* Massalongo, *Zoophycos* isp.

Интенсивность биотурбации и ихноФоссилии по элементам ритма распределены неравномерно. Для оценки интенсивности биотурбации использованы

полуколичественные биотурбационные (ихнотекстурные) индексы (BI), предложенные М.Д. Дрозер и Д.Ж. Ботье [Droser, Bottjer, 1986]. Породы обоих элементов ритма биотурбированы полностью ( $BI = 6$ ), этот вывод можно сделать по полному отсутствию первичных текстур; на фоне полностью биотурбированной массы выделяется разное количество отдельных ходов. Согласно нашим наблюдениям (рис. 3), наиболее

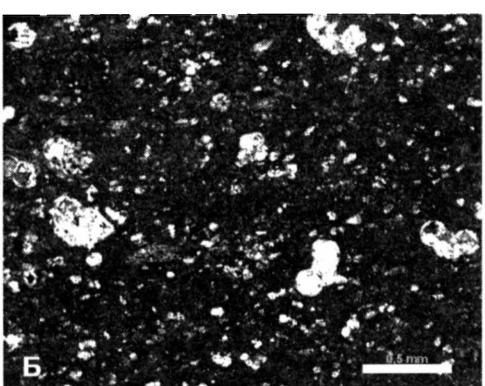


Рис. 2. Основные литотипы изученного ритма: А — литотип 1, вакстоуны с *Textularia* (?) sp., шлиф КР-10-3/7; Б — литотип 2, глинистые вакстоуны с *Whiteinella* sp. и *Thalmanninella* sp., шлиф КР-10-3/3. Масштаб 0,5 мм; николи скрещены

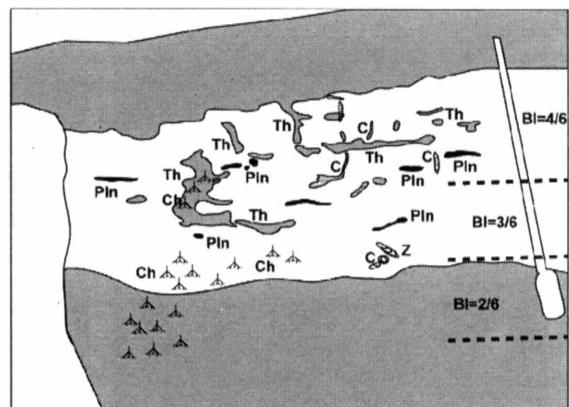
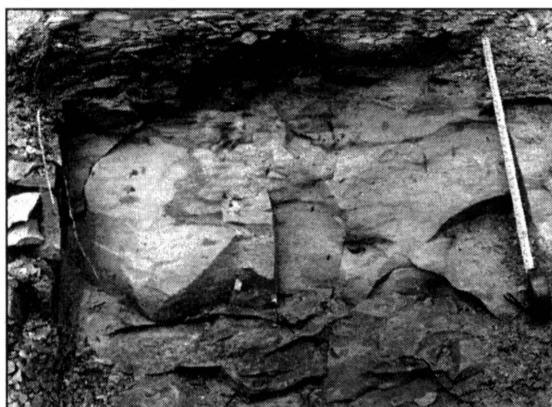


Рис. 3. Ярусное расположение ихнофоссилий в изученном ритме: фото (слева) и его дешифрирование (справа): BI — биотурбационные индексы, по [Droser, Bottjer, 1986]; C — *Cylindrichnus* isp., Ch — *Chondrites* isp., Pln — *Planolites* isp., Th — *Thalassonoides* isp., Z — *Zoophycos* isp.

биотурбирована верхняя часть более карбонатного элемента ритма (светлые известняки, BI = 4/6), меньше всего биотурбирован менее карбонатный элемент ритма (темные мергели, BI = 2/6). Основание слоя светлых известняков занимает промежуточное положение (BI = 3/6).

Сверху вниз в ритме меняется таксономический состав ихнофоссилий. В верхней части светлого элемента преобладают *Thalassinoides* и *Planolites*, заполненные серыми глинистыми вакстоунами; в основании светлого — *Zoophycos* и *Chondrites*, в темных известняках присутствует только *Chondrites*. Таким образом, отчетливо выражена ярусность в расположении ихнофоссилий, типичная для разрезов писчего мела [Bromley, 1996] и характеризующая уменьшение аэрации осадка и усиление в нем аноксии (рис. 4). При этом только *Chondrites* выявляются в нижнем элементе ритма, содержащем наибольшее количество глинистого и органического вещества и, следовательно, наиболее «бескислородном», что объясняется устойчивостью *Chondrites* к аноксии [Bromley, 1996; Stanley, 1996]. Кроме того, многочисленные *Chondrites* отмечены внутри нор *Thalassinoides* (рис. 4), пассивно заполненных темноцветными породами нижнего — аноксийного — элемента ритма. Заполнение *Planolites*, в отличие от *Thalassinoides*, более светлое и, видимо, не связано с осадками нижнего элемента ритма.

Наиболее распространены в разрезе следующие ихнофоссилии.

*Chondrites* Brongniart, 1828 (фототаблица, 5) представляет собой систему мелких цилиндрических, дихотомически ветвящихся (но никогда не пересекающихся) ходов-туннелей. Обычный размер всей системы — несколько сантиметров по горизонтали и вертикали. Ходы *Chondrites* часто встречаются в осадке, заполняющем следы рытья, оставленные более крупными организмами, например в норах *Thalassinoides* (фототаблица, 3). *Chondrites* встречается в разных морских ихнофациях и устойчив к аноксии. Ходы *Chondrites* интерпретируются как структуры фермерства [Bromley, Ekdale, 1984], их возможные продюсеры — черви (сипункулиды и полихеты).

*Thalassinoides* Ehrenberg, 1944 (фототаблица, 3, 4) представляют собой трехмерную систему ходов, состоящую из цилиндрических туннелей и шахт с ровными стенками. Туннели разветвляются более или менее равномерно, образуя Y- и T-образные сочленения, иногда с раздувами. Диаметр ходов варьирует от 5 до 45 мм. Глубина положения ходов в осадке — от нескольких сантиметров до 1,5 м. *Thalassinoides* встречаются во всех фациях — от прибрежных до глубоководно-морских, но наиболее типичны для

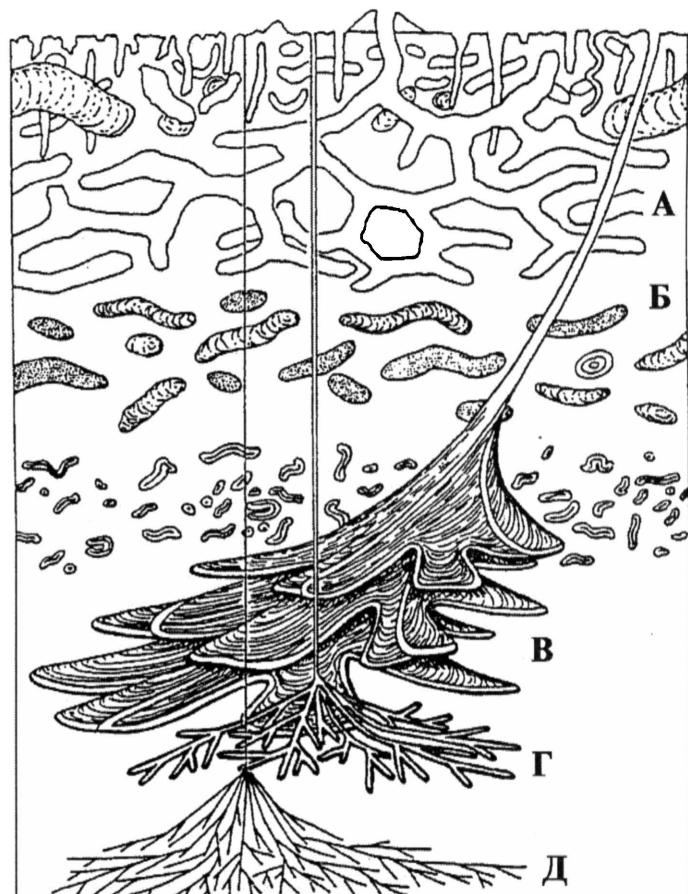
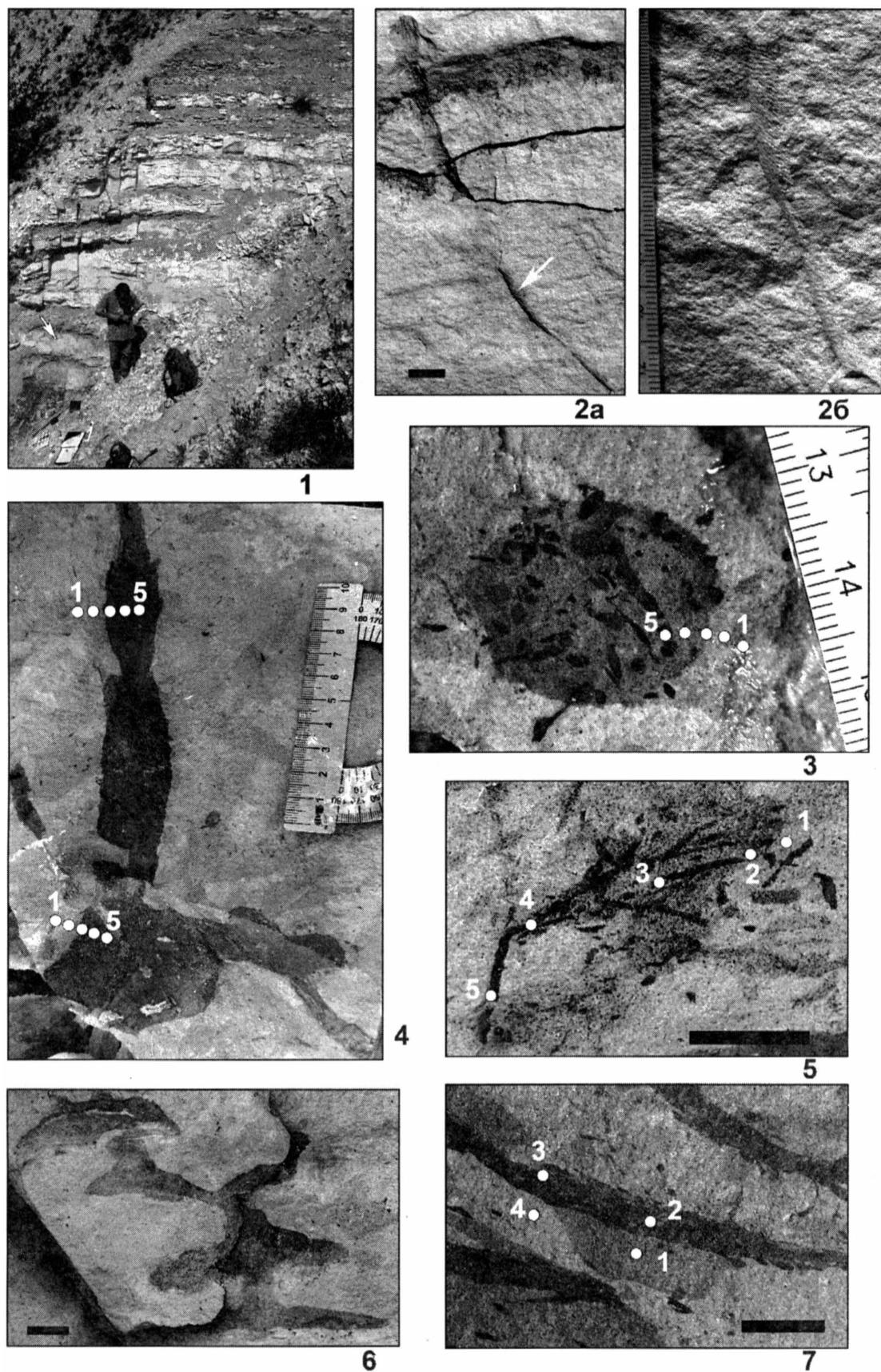


Рис. 4. Вертикальная ярусность расположения нор основных биотурбаторов: А — *Thalassonoides*, Б — *Planolites*, В — *Zoophycos*, Г — крупные *Chondrites*, Д — мелкие *Chondrites*, по [Stanley, 1996]



Общий вид разреза (1), стрелка показывает положение изученного ритма. Ихнофоссилии: 2 — *Arenicolites?* isp. (обр. 114/1); 2а — общий вид, стрелка показывает на положение фрагмента, приведенного на 2б; 3 — ходы *Chondrites* isp. внутри норы *Thalassinoides* isp. (обр. 114/2); 4 — *Thalassinoides paradoxicus* (Woodward) (обр. 114/3); 5 — *Chondrites intricatus* Sternberg (обр. 114/4); 6 — *Zoophycos* cf. *brianteus* Massalongo; 7 — *Zoophycos* isp. (обр. 114/5). Точки с цифрами обозначают положение проб, выбранных на изотопный анализ; масштаб 1 см

мелководья. Наиболее вероятные строители *Thalassinoides* — десятиногие раки.

***Zoophycos* Massalongo, 1855** (фототаблица, 6, 7) представляют собой сложнопостроенные системы ходов внутри осадка, имеющие общую форму в виде винтовой лестницы. Винтовая поверхность состоит из лопастей, образованных вложенными одна в другую дугами индивидуальных ходов, заполненных осадком. Форма всей постройки от плоской до конусообразной. Ось конуса ориентирована почти перпендикулярно поверхностям напластования, а склоны направлены наружу. Диаметр последующих оборотов увеличивается снизу вверх.

*Zoophycos* преобладают в одноименной ихnofации, отвечающей обстановке континентального склона, но встречаются и на мелководье.

Возможные интерпретации *Zoophycos* — складирование пищи [Löwemark, Schäfer, 2003] или питание бесскелетных иллюдных животных. Вероятные продюсеры — черви (эчуриды, сипункулиды и полихеты).

***Arenicolites* Salter, 1857** (фототаблица, 2) представляют собой простые U-образные норы диаметром несколько миллиметров. *Arenicolites* приурочены к прибрежным и мелководно-морским обстановкам ихnofации *Cruziana*, хотя известны также из глубоководных осадков. Ходы *Arenicolites* интерпретируются как норки обитания / питания роющих беспозвоночных организмов, таких, как черви (аннелиды или мелкие ракообразные) [Bromely, 1996].

***Planolites* Nicholson, 1873** (рис. 3) представлены прямыми, наклонными или слабоизгибающимися, не ветвящимися ходами с гладкими или слегка орнаментированными стенками. Вертикальное сечение туннелей округлое (овальное после уплотнения осадка). Заполнение туннелей бесструктурное, но его можно рассматривать как активное, т.е. туннели заполнены осадком при участии самого организма.

*Planolites* встречаются в континентальных и морских ихnofациях. Они интерпретируются как следы «червеобразных» организмов, питавшихся илом и относящихся к различным родам или семействам [Bromely, 1996].

Суммируя сказанное, можно утверждать, что изученный комплекс ихnofоссилий характеризует ихnofацию *Cruziana* и формировался на глубине в открытом морском бассейне, что не противоречит данным, приведенным в работе [Алексеев, 1989].

Кроме того, из изложенного следует, что ярусность расположения ихnofоссилий связана с ритмичностью осадконакопления: во время формирования более глинистого элемента, богатого органикой, в осадке развивались аноксийные условия, сохранявшиеся и во время накопления верхнего элемента, на что указывает расположение ходов *Chondrites*. При формировании более карбонатного элемента осадок нормально аэрировался. Между соседними ритмами существовал перерыв в осадконакоплении («мягкое дно»), благодаря чему осадок колонизировался рако-

образными, норы которых впоследствии заполнялись аноксийным осадком. Цементации и возникновения поверхности твердого дна не происходило из-за большого содержания глинистого компонента в вакстоунах. Очередной этап осадконакопления снова приводил к формированию локальной аноксии и гибели большинства биотурбаторов (кроме *Chondrites*).

**Данные изотопного анализа.** Изотопный состав изучал Б.Г. Покровский на масс-спектрометре «Delta V Advantage» и установке «Gas-Bench-II» в лаборатории геохимии изотопов и геохронологии ГИН РАН. Выполнено 39 анализов соотношения стабильных изотопов  $\delta^{13}\text{C}$  и  $\delta^{18}\text{O}$ : 15 анализов валового состава пород (табл. 1; рис. 1) и 24 анализа состава ихnofоссилий *Thalassinoides paradoxicus* (Woodward), *Chondrites intricatus* Sternberg, *Zoophycos* isp. (табл. 2, фототаблица, 3–7).

Из проб, положение которых показано на рис. 1 и в фототаблице, изготовлены порошки навеской 500–1000 мкг на каждое измерение. Разложение образцов и стандартов КН-2 и NBS-19 проводили с помощью  $\text{H}_3\text{PO}_4$  при 50°C. Для  $\delta^{13}\text{C}$  значения приведены относительно стандарта V-PDB, для  $\delta^{18}\text{O}$  — относительно стандарта V-SMOW и V-PDB. Точность (воспроизводимость) анализов  $\delta^{18}\text{O}$  и  $\delta^{13}\text{C}$  находится в пределах  $\pm 0,2\%$ .

**Результаты исследований.** Образцы для определения валового изотопного состава мергелей и известняков отбирали из двух ритмов (рис. 1, табл. 1). Изотопный состав углерода в разных элементах ритмов близок (рис. 5, А), среднее значение  $\delta^{13}\text{C}$  (PDB) составляет 2,7‰ в обоих литотипах. Изотопный состав кислорода также не обнаруживает ритмичности: среднее значение  $\delta^{18}\text{O}$  в обоих элементах равно 27,6‰ (SMOW).

Таблица 1  
Значения  $\delta^{13}\text{C}$  и  $\delta^{18}\text{O}$  в валовых пробах пород

Номер образца	$\delta^{13}\text{C}$ , ‰ (PDB)	$\delta^{18}\text{O}$ , ‰ (SMOW)	$\delta^{18}\text{O}$ , ‰ (PDB)	Палеотемпература, °C
КР-10-01	2,6	28,0	-2,82	22,4
КР-10-02*	2,7	27,7	-3,11	23,8
КР-10-03	2,8	27,7	-3,11	23,8
КР-10-04	2,8	27,6	-3,21	24,3
КР-10-05	2,8	27,6	-3,21	24,3
КР-10-06	3	27,6	-3,21	24,3
КР-10-07	2,8	27,6	-3,21	24,3
КР-10-08	2,8	27,4	-3,40	25,2
КР-10-09	2,8	27,7	-3,11	23,8
КР-10-10	2,6	27,5	-3,31	24,7
КР-10-11	2,6	27,6	-3,21	24,3
КР-10-12	2,6	27,9	-2,92	22,9
КР-10-13	2,6	28,0	-2,82	22,4
КР-10-14	2,8	27,2	-3,60	26,1
КР-10-15	2,6	27,3	-3,50	25,7

\* Полужирным — образцы из менес карбонатного элемента ритма — «мергелей».

Таблица 2  
Значения  $\delta^{13}\text{C}$  и  $\delta^{18}\text{O}$  в изученных ихнофоссилиях

Ихнофоссилии	Образец	Масса, мкг	$\delta^{18}\text{O}$ , ‰ (PDB)	$\delta^{13}\text{C}$ , ‰ (PDB)	$\delta^{18}\text{O}$ , ‰ (SMOW)
<i>Chondrites intricatus</i> , Sternberg	1	760	-4,08	2,5	26,7
	2	900	-3,6	2,8	27,2
	3	980	-3,89	2,8	26,9
	4	970	-3,6	2,6	27,2
	5	910	-3,6	2,6	27,2
<i>Thalassinoides</i> isp.	1	600	-2,82	2,2	28,0
	2	800	-2,82	2,4	28,0
	3	680	-3,02	2,4	27,8
	4	960	-3,02	2,4	27,8
	5	890	-3,11	2,5	27,7
<i>Thalassinoides paradoxicus</i> , (Woodward)	1	590	-4,18	1,6	26,6
	2	720	-4,28	2,6	26,5
	3	960	-4,76	2,5	26,0
	4	980	-4,08	2,5	26,7
	5	930	-4,18	2,5	26,6
	6	860	-3,79	2,6	27,0
	7	910	-3,99	2,6	26,8
	8	750	-4,18	2,7	26,6
	9	1000	-5,64	2,8	25,1
	10	970	-4,47	2,6	26,3
<i>Zoophycos</i> isp.	1	900	-3,02	2,4	27,8
	2	900	-2,82	2,3	28,0
	3	750	-2,73	2,3	28,1
	4	740	-2,82	1,8	28,0

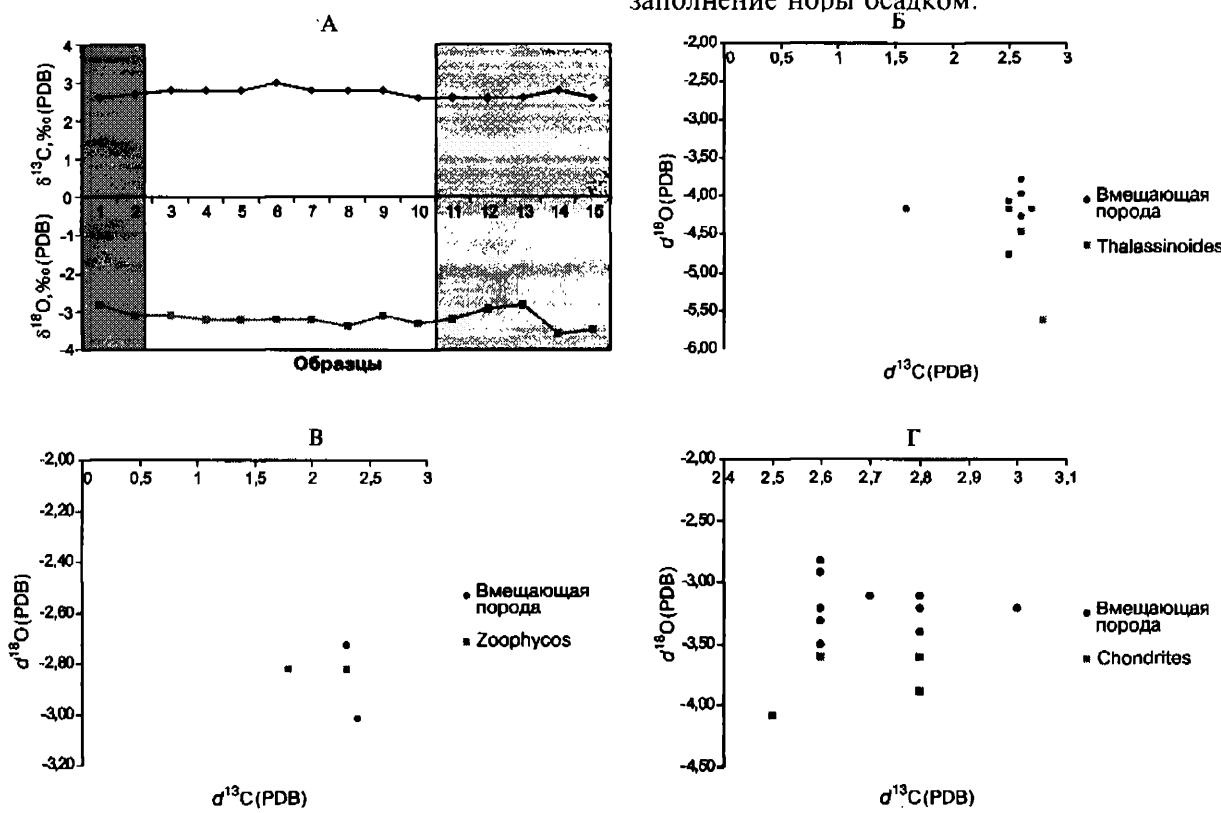


Рис. 5. Изотопный состав (в координатах  $\delta^{13}\text{C}$ – $\delta^{18}\text{O}$ ): А — валового состава пород, серое — замеры в менее карбонатном элементе (литотип 2); остальное — замеры в более карбонатном элементе (литотип 1); положение образцов см. на рис. 1; Б — заполнения норы *Thalassinoides paradoxicus* и вмещающей породы (обр. 114/3; фототаблица, 3, 4); В — хода *Zoophycos* isp. и вмещающей породы (обр. 114/5; фототаблица, 7); Г — заполнение хода *Chondrites intricatus* и вмещающей породы (обр. 114/4; фототаблица, 5)

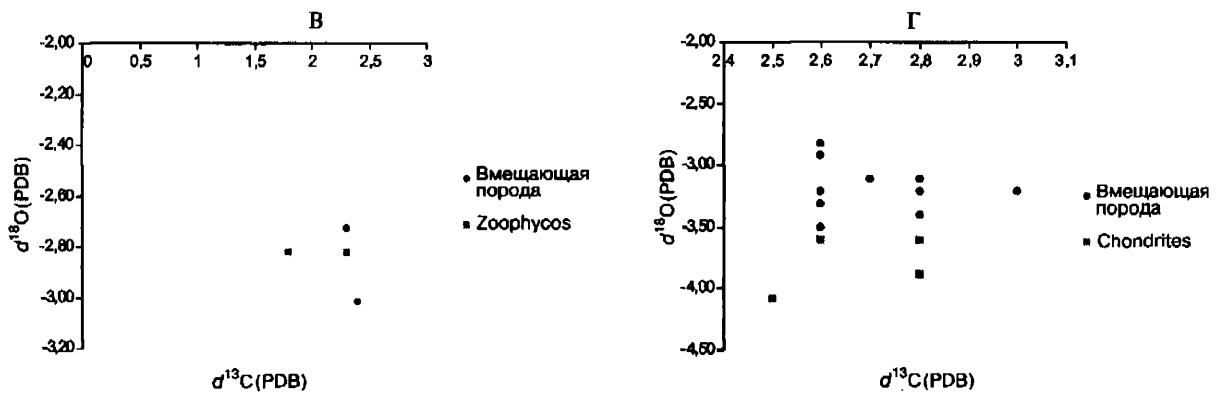
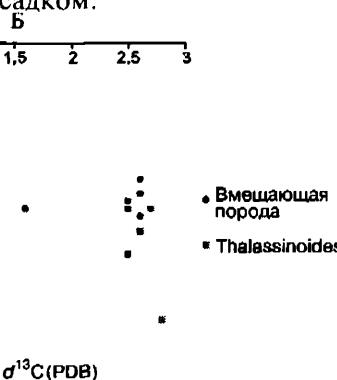
Рассчитывали температуру (°C) по формуле

$$T = 16,5 - 4,3(\delta^{18}\text{O}_{\text{обр.}}(\text{PDB}) - \delta^{18}\text{O}_{\text{воды}}(\text{PDB})) + 0,14(\delta^{18}\text{O}_{\text{обр.}}(\text{PDB}) - \delta^{18}\text{O}_{\text{воды}}(\text{PDB}))^2.$$

Изотопный состав океанской воды в сеноманско время принят за  $-1,5\text{‰}$  (PDB). Расчитанная температура составляет для обоих элементов ритма  $\sim 24$  °C и согласуется с данными [Габдуллин, 2002], согласно которым оба элемента формировались при температуре  $23,5$ – $25$  °C.

Исследования изотопного состава ихнофоссилий проводили в связи с проверкой гипотез о возможных условиях их формирования (в частности, хемосимбиоза для *Chondrites* и *Zoophycos* [Löwemark, Schäfer, 2003]). Для этого с помощью бормашины из нескольких ихнофоссилий были взяты точечные пробы (фототаблица, 3–7), изотопный состав которых сравнивали с таковым из вмещающей и заполняющей породы. Результаты приведены на рис. 5, Б–Г и в табл. 2.

В норе *Thalassinoides paradoxicus*, ракообразные-продюсеры которой были, вероятно, детритофагами [Griffis, Suchanek, 1991], разница между значениями  $\delta^{13}\text{C}$  внутри норы в пищевой камере ( $-2,5$ ... $-2,8\text{‰}$ ) и в породе ( $-2,5$ ... $-2,6\text{‰}$ ) незначительна, нет различий и в изотопном составе кислорода (рис. 5, Б). Близость изотопного состава породы, заполняющей нору, и вмещающей породы подтверждает пассивное заполнение норы осадком.



Значения  $\delta^{13}\text{C}$  в ходах *Zoophycos* близки к таковым во вмещающей породе (рис. 5, В), что хорошо согласуется с данными [Löwemark et al., 2004], это позволяет поддержать мнение об отсутствии фермерства у продюсеров *Zoophycos*. Модель формирования *Zoophycos* в связи с детритофагией должна приводить к различиям изотопного состава углерода в ходе и породе. Полученные данные также не подтверждают эту модель. Модель запасания пищи в ходах *Zoophycos* (cache model) [Löwemark, Schäfer, 2003] согласуется с данными об одинаковом изотопном составе углерода в осадке и в ходах.

В случае *Chondrites*, участвующих в сложных биотурбациях (внутри нор *Thalassinoides*), значения  $\delta^{18}\text{O}$  (PDB) в ходах (от  $-3,6$  до  $-4,1\text{\textperthousand}$ ) ниже, чем во вмещающей породе (от  $-2,8$  до  $-3,6\text{\textperthousand}$ ) (рис. 5, Г). Из-за того, что изотопы кислорода более подвижны, чем изотопы углерода, полученная разница значений объясняется, видимо, наложенным диагенезом. Поэтому модель структур фермерства, когда за счет биологического фракционирования изотопов углерода порода должна обогащаться  $^{13}\text{C}$  [Löwemark et al., 2004], не находит прямого подтверждения.

**Обсуждение результатов.** Полученные значения в целом согласуются с полученными для этого разреза ранее [Алексеев, 1989; Найдин, Кияшко, 1994б; Фролов, Джайкришнан, 1996; Габдуллин, 2002; Корчагин и др., 2010]. Согласно этим данным, ритмичная толща среднего сеномана формировалась в глубокой части шельфа (до 300 м) с температурой поверхностных вод около  $24-25\text{ }^{\circ}\text{C}$  [Габдуллин, 2002] и от  $14-16\text{ }^{\circ}\text{C}$  в мергелях до  $24\text{ }^{\circ}\text{C}$  в известняках [Фролов, Джайкришнан, 1996]. В осадке существовал дефицит кислорода, о чем свидетельствуют пиритовые конкреции, повышенное содержание  $\text{C}_{\text{орг}}$  и развитие *Chondrites*.

Для аналогичных ритмичных карбонатных разрезов установлено, что менее карбонатные элементы ритма образуются при более низких значениях температуры (на  $1-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), чем более карбонатные [Габдуллин, 2002; Найдин, 2005] или на  $4-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  [Корчагин и др., 2010], что должно сказываться на изотопном составе кислорода. Вероятнее всего, отсутствие ритмичности в разрезе по значениям  $\delta^{18}\text{O}$ , установленное нами, связано с интенсивной биотурбацией осадка или с осреднением придонных и поверхностных значений температуры, определенным в валовых пробах.

Отметим данные валового анализа изотопного состава карбонатов внутри слоя мергелей, полученные для этого же разреза О.А. Корчагиным с соавт. [2010], согласно которым здесь выделяются более мелкие ритмы, выраженные в вариациях значений  $\delta^{18}\text{O}$ . По данным наших измерений, проведенных по той же методике и на том же приборе, изотопный состав кислорода варьирует очень слабо; по нему невозможно различить даже элементы ритма. Кроме того, в разрезе и шлифах присутствуют только

вторичные биотурбационные текстуры, поэтому, на наш взгляд, приведенные в работе [Корчагин и др., 2010] данные нуждаются в дальнейшем уточнении.

**Условия формирования изученных ритмов.** Ритмичность разреза, как показано предыдущими исследованиями [Найдин, Кияшко, 1994а, б; Gabdullin et al., 1999; Габдуллин, 2002; Найдин, 2004, 2005, 2008], отвечает циклам прецессии земной оси продолжительностью 20–25 тыс. лет. Каждый слой отвечает полуциклу, т.е. формировался в течение 10–12 тыс. лет. Конкретные механизмы образования ритмичности сводятся к вариациям циклов продуктивности, циклов разбавления и циклов растворения [Габдуллин, 2002; Найдин, 2004, 2005, 2008].

**Циклы разбавления (dilution cycles).** Мергели накапливались в результате привноса терригенного материала во влажные эпохи, а известняки — в эпохи сухого климата, когда снос был незначительный.

**Циклы продуктивности (productivity cycles).** Известняки образовались в эпохи высокой продуктивности карбонатного планктона, а мергели — в эпохи низкой.

**Циклы растворения** (модель действует совместно с предыдущей). Периодически происходило растворение уже накопленного карбонатного материала, и менее карбонатные элементы ритма формировались в результате конденсации глинистого вещества при растворении карбонатного осадка.

Учитывая отсутствие различий в количестве планктонных фораминифер в известняках двух литотипов (различаются только по количеству глинистой составляющей), для объяснения происхождения ритмичности в разрезе г. Сельбухра можно применить модель циклов растворения:

- количество биокластов фораминифер в разных элементах ритма близкое, но на некоторых фораминиферах в мергелях заметны следы растворения;
- в мергелях из ихнофоссилий встречены только *Chondrites*, что свидетельствует об аноксийной обстановке их формирования, это в свою очередь объясняется присутствием большого количества органического вещества.

Таким образом, вероятно, мергели (литотип 2), а не известняки, как считалось ранее, формировались в эпохи более высокой биопродуктивности. Связь этого факта с вариациями температуры, к сожалению, на основе наших данныхельзя.

Кроме того, не подтверждается связь ритмичности с полуциклами прецессии из-за отсутствия (по крайней мере в донных карбонатах) вариаций изотопного состава кислорода. Вариации, скорее всего, фиксируются в карбонате раковин планктонных фораминифер.

Итак, ритмичная толща среднего сеномана формировалась в глубокой части шельфа, средняя температура воды составляла  $24\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а более глинистый элемент накапливался в условиях аноксии. Ритмич-

ность разреза можно объяснить моделью циклов растворения, что согласуется с выводами Р.Р. Габдуллина [2002].

**Выводы.** 1. Ритмичная толща среднего сеномана на г. Сельбухра формировалась в глубокой части шельфа, средняя температура воды составляла 24°C и не менялась при формировании разных элементов ритма; мергели накапливались в условиях повышенной биопродукции и донной аноксии. Ритмичность разреза объясняется моделью циклов растворения, что согласуется с выводами Р.Р. Габдуллина [2002]. По нашим данным, нельзя уверенно связать ритмичность с циклами прецессии.

2. Интенсивная биотурбация пород (ВI изменяется от 2/6 до 4/6) имеет отчетливую ярусность, типичную

для разрезов писчего мела, а ассоциация ихнофоссилий отвечает ихнофации *Cruziana*, характерной для мягких грунтов открытого шельфа ниже базиса волнового воздействия.

3. Значения  $\delta^{18}\text{O}$  (PDB) в ходах *Chondrites* меньше, чем во вмещающей породе, что, вероятно, связано с диагенетическими изменениями пород.

4. Соотношение стабильных изотопов  $\delta^{13}\text{C}$  и  $\delta^{18}\text{O}$  не подтверждает модель структур фермерства для *Chondrites* и *Zoophycos*, а для *Thalassinoides* свидетельствует о пассивном заполнении этих ходов осадком.

Авторы благодарят Л.Ф. Копаевич (МГУ) за определения фораминифер и консультации и Б.Г. Покровского (ГИН РАН) за измерения изотопного состава карбонатов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Алексеев А.С. Меловая система. Верхний отдел // Геологическое строение Качинского поднятия Горного Крыма. Стратиграфия мезозоя. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1989. 168 с.

Барабошкин Е.Ю., Веймарн А.Б., Копаевич Л.Ф., Найдин Д.П. Изучение стратиграфических перерывов при производстве геологической съемки: Метод. рекомендации. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2002. 163 с.

Барабошкин Е.Ю., Зибров И.А., Покровский Б.Г. Изотопный состав некоторых ихнофоссилий из среднего сеномана Крыма и условия их образования. Предварительные данные // ПАЛЕОСТРАТ-2011. Годичное собрание секции палеонтологии МОИП и Моск. отд. Палсонт. об-ва, Москва, 24–26 января 2011 г.: Программа и тезисы докл. М., 2011. С. 16.

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

Корчагин О.А., Тараскина Н.А., Андрухович А.О., Покровский Б.Г. Лево-правозавернутые планктонные фораминиферы, изотопия  $\delta\text{O}^{18}$  и интрапаулы среднего сеномана г. Сельбухра (Бахчисарайский район, Крым, Украина) // Проблемы региональной геологии Северной Евразии: Мат-лы совещ. М.: РГГРУ, 2010. 136 с.

Найдин Д.П. Пара известняк–мергель ритмичной карбонатной толщи сеномана Крыма — показатель различных палеогеографических режимов полуциклов прецессии // Изв. вузов. Геология и разведка. 2004. № 1. С. 12–17.

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

Найдин Д.П. Астрономические факторы возникновения ритмичности в геологии // Там же. 2008. Т. 83, вып. 4. С. 38–42.

Найдин Д.П., Кияшко С.И. Геохимическая характеристика пограничных отложений сеноман–турон Горного Крыма. Ст. 1. Литологический состав, содержание органического углерода и некоторых элементов // Там же. 1994а. Т. 69, вып. 1. С. 28–42.

Найдин Д.П., Кияшко С.И. Геохимическая характеристика пограничных отложений сеноман–турон Горного Крыма. Ст. 2. Изотопный состав углерода и кислорода, условия накопления органического углерода // Там же. 1994б. Т. 69, вып. 2. С. 59–74.

Фролов В.Т., Джайкришнан С. Циклы верхнемеловых известняков Горного Крыма и их возможная природа // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 1996. № 4. С. 59–66.

Bromley R.G. Trace Fossils. Biology, taphonomy and applications. Second edition. L.: Chapman & Hall, 1996. 361 p.

Bromley R.G., Ekdale A.A. Chondrites: A trace fossil indicator of anoxia in sediments // Sci. 1984. Vol. 224. P. 872–874.

Droser M.D., Bottjer D.J. A semiquantitative field classification of ichnofabric // J. Sed. Petrol. 1986. Vol. 56. P. 556–559.

Gabdullin R., Guzhikov A., Dundin I. Origin of rhythmically bedded Cenomanian carbonate rocks of the Bakhchisarai Region (SW Crimea) // Geologica Carpathica. 1999. Vol. 50, N 1. P. 49–61.

Griffis R.B., Suchanek T.H. A model of burrow architecture and trophic modes in thalassinidean shrimp (Decapoda: Thalassinidea) // Marin. Ecol. Progr. Ser. 1991. Vol. 79. P. 171–183.

Löwemark L., Lin I.-T., Wang C.-H. et al. Ethology of the *Zoophycos*-producer: Arguments against the gardening model from  $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$  evidences of the spreiten material // TAO. 2004. Vol. 15, N 4. P. 713–725.

Löwemark L., Schäfer P. Ethological implications from a detailed X-ray radiograph and  $^{14}\text{C}$ -study of the modern deep-sea *Zoophycos* // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. 2003. Vol. 192 (1–4). P. 101–121.

Stanley B.D. Ichnofabric analysis and benthic oxygenation in the Monte dei Corvi Cliffs, Ancona, Italy // The Ninth Keck Research Symposium in Geology. Abstr. Williams College, Williamstown, Massachusetts, April 1996. 1996. Vol. 9. P. 297–300.