

УДК 551.763.333.(477.75)

Б.И. Сизанов, А.В. Рудакова, Р.Р. Габдуллин

НОВАЯ МЕТОДИКА ВЫДЕЛЕНИЯ РИТМОВ И ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ИХ ГЕНЕЗИСА НА ПРИМЕРЕ НИЖНЕСААСТРИХТСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ ОВРАГА ТОКМА (ЮГО-ЗАПАДНЫЙ КРЫМ, УКРАИНА)

Введение. В 2004 г. авторами был детально описан 25метровый разрез нижнесаастрихтских отложений, слагающих правый борт оврага Токма у с. Скалистое (Бахчисарайский район, Юго-Западный Крым). Выделено 30 слоев, отобрано 100 образцов, которые исследовались нижеописанными методами.

Впервые при описании разреза описывался каждый слой: его мощность, цвет, структура, плотность/прочность, процент биотурбированности породы, состав (в том числе процентное содержание пирит-марказитовых и лимонитовых конкреций, их приуроченность к разным типам органических остатков). Отмечалось различие слоев по профилю выветривания. Помимо описания проходил отбор образцов через каждые 25 см, где капнометром замерялась магнитная восприимчивость (*k*).

Суть нового способа выделения ритмов, применяемого в данной работе, заключается в выделении колебаний параметров (магнитной восприимчивости, содержания карбоната кальция, железистых минералов, биотурбированности толщи и др.) относительно среднеарифметического содержания компонента в данной толще (*CA*) (магнитная восприимчивость, карбонатность и т.д.), а также среднеарифметического минимального (*CA_{min}*) и максимального (*CA_{max}*) значения параметра (рис. 1, 2).

Классификация пород принята согласно В.Т. Фролову [5], за стратиграфическую основу взята схема А.С. Алексеева [1], изученный интервал разреза отвечает пачке XXI и характеризует верхнюю часть кудринской свиты. Схематическое описание разреза приведено в табл. 1 и проиллюстрировано на рис. 1.

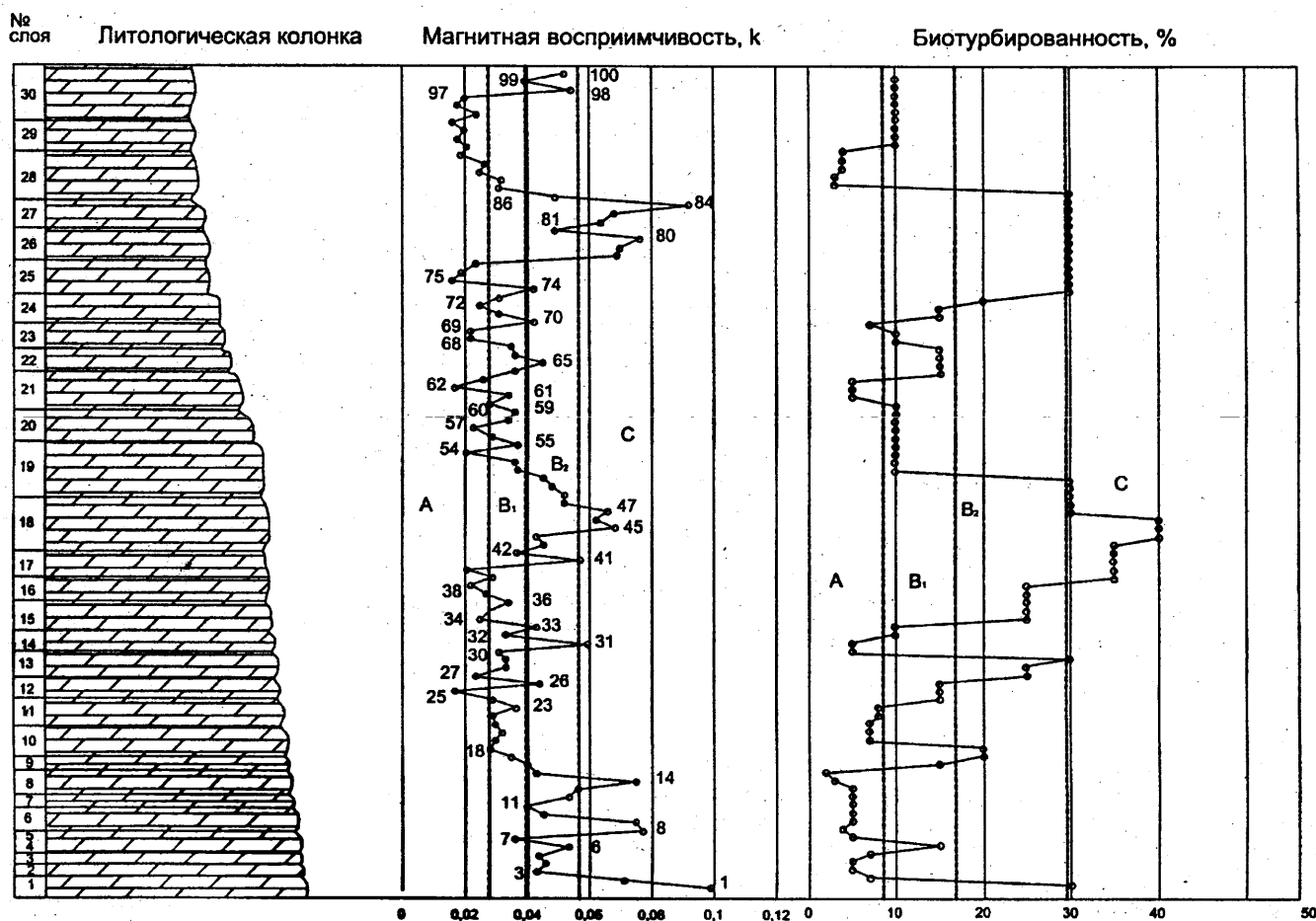


Рис. 1. Распределение магнитной восприимчивости и объема биотурбации в разрезе нижнесаастрихтских отложений оврага Токма. Цифры на геологической колонке соответствуют порядковому номеру слоя, а на графике магнитной восприимчивости — порядковому номеру точки замера и отбора образца

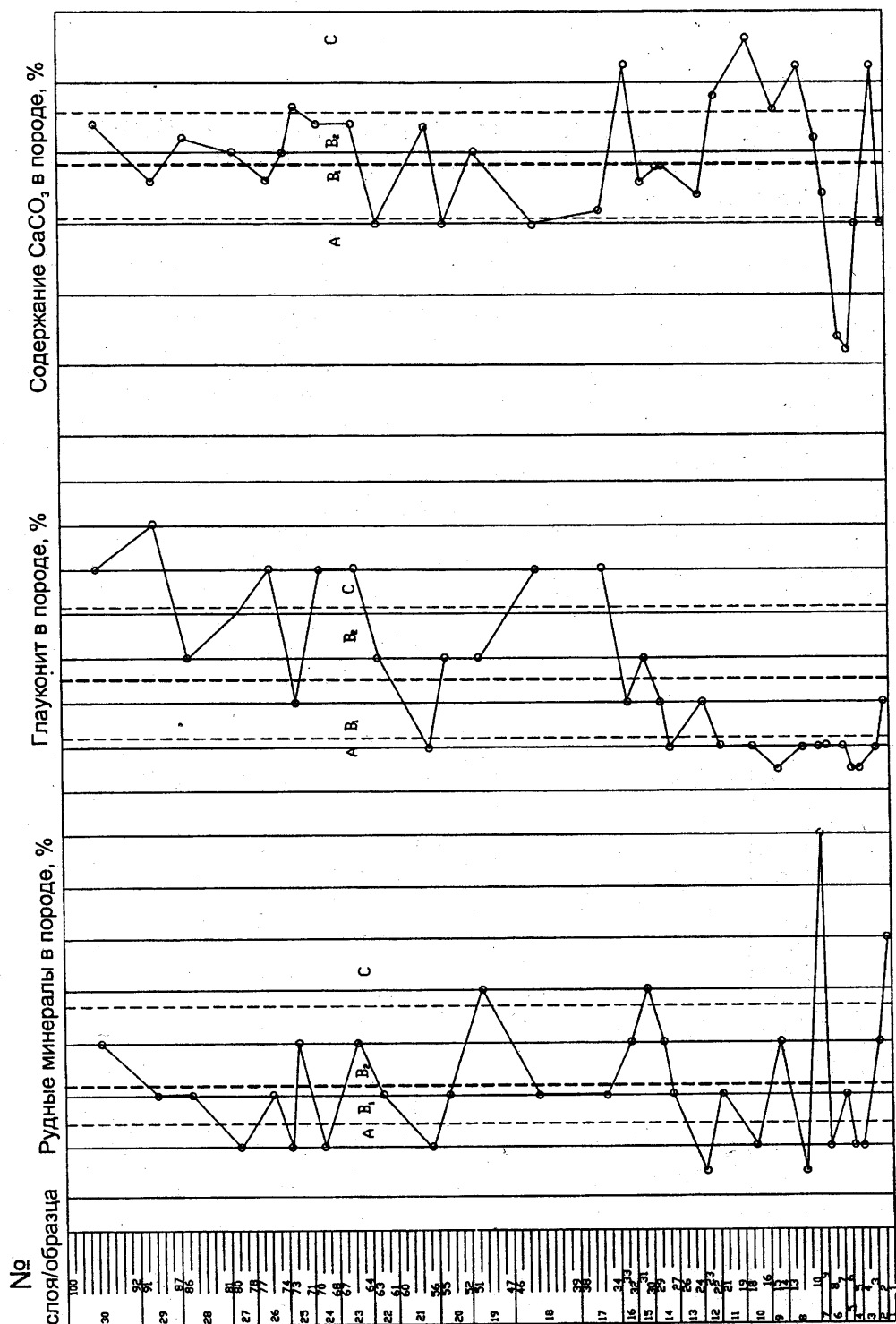


Рис. 2. Распределение содержания рудных минералов, глауконита и CaCO_3 в изученном разрезе. Условные обозначения см. на рис. 1

Результаты аналитического исследования. Образцы породы в шлифах, а также химическими и физическими методами изучались в лабораториях при участии специалистов кафедры литологии МГУ. Шлифы были сделаны в шлифовальной лаборатории геологического факультета МГУ. Описание 30 шлифов (по одному на каждый слой) проводилось под микроскопами ПОЛАМ и МИН-8 на кафедре литологии.

первые предложенным авторами. Тип I — это 7 карбонатных двухэлементных ритмов (14 элементов ритма), представленных чередованием более карбонатных элементов ритма (БКЭР) и менее карбонатных (МКЭР). Тип II — 6 ритмов (11 элементов ритма), которые были выделены по вариациям магнитной восприимчивости.

Химическое изучение проводилось в спектрохимической лаборатории геологического факультета МГУ (табл. 2), а также самостоятельно в лаборатории кафедры литологии (табл. 3), кроме того, определялось содержание диоксида углерода (CO_2) объемным методом на аппарате Кноппа—Фрезениуса [3].

Часть образцов изучалась рентгенофазовым анализом на приборе “Дрон-3”, методика рентгеновского анализа описана в работе [6]. Сначала исследовалось 10 образцов (6 из них были отданы в спектрохимическую лабораторию, табл. 2) на определение состава карбонатов. Изучение показало, что карбонаты представлены только кальцитом, хотя химическими методами выявлено наличие кальцита, доломита и сидерита. Еще три образца (№ 27, 43, 89) после растворения в кислоте исследовали на минералогический состав нерастворимого остатка (табл. 4).

Полученные полевые и аналитические данные позволили выделить ритмы различных типов новым методом, впервые предложенным авторами.

Таблица 1

Описание разреза правого борта оврага Токма и распределение в нем среднего значения магнитной восприимчивости

Порядковый номер	Отобранные образцы	Литологическое описание	Номер точки; среднее значение магнитной восприимчивости	Мощность слоя, м
1	1—2	Мергель серый, плотный; биотурбация 30% (диаметр ходов 5—7 мм, длина 1—27 см); лимонитовые стяжения, развитые по фрагментам губок или по норам, составляют примерно 5%	1; 0,099 2; 0,071	0,5
2	—	Мергель серый, плотный; биотурбация 7%; единичные железистые конкреции, развитые по губкам	—	0,25
3	3—4	Мергель плотный, серый; биотурбация 10%; лимонитовые стяжения 5%	3; 0,043 4; 0,046	0,3
4	5	Мергель серый, плотный; биотурбация 7%; лимонитовые конкреции по ходам иллоедов 3%	5; 0,044	0,27
5	6	Мергель серый, плотный; биотурбация 15%; лимонитовые конкреции по губкам и ходам донно-роющих организмов (ДРО) 10—15%	6; 0,053	0,27
6	7—8	Мергель серый, плотный; биотурбация 4—5%; лимонитовые конкреции по губкам и ДРО — 10%, есть пиритовые конкреции 4—5%	7; 0,036 8; 0,077	0,55
7	9	Мергель серый, плотный; биотурбация 5%; развиты большие лимонитовые конкреции по губкам (примерно 4—5%)	9; 0,075	0,3
8	10—13	Мергель серый, плотный; биотурбация 5%; многочисленные лимонитовые стяжения по губкам и ДРО 10—15%	10; 0,045 11; 0,04 12; 0,053 13; 0,056	0,6
9	14—15	Мергель серый, плотный; биотурбация 2—3%; многочисленные лимонитовые стяжения по губкам и ДРО 6%	14; 0,075 15; 0,043	0,35
10	16—19	Мергель серый, плотный, слагает очень крутой склон, у подножия чуть более рыхлый; биотурбация 15—20%; многочисленные лимонитовые стяжения по губкам и ДРО 7—10%	16; 0,04 17; 0,035 18; 0,028	0,76
11	20—22	Мергель серый, плотный, аналогичный предыдущему слою; биотурбация 7%; ожелезнение по многочисленным губкам 10—13%	20; 0,032 22; 0,029	0,7
12	23—24	Мергель серый, плотный, аналогичный предыдущему слою, но слагающий более пологий склон; биотурбация 8%; ожелезнение по многочисленным губкам и ходам иллоедов 15%; ходы мелкие (диаметр до 3—5 мм, длина 6 см)	23; 0,036 24; 0,029	0,5
13	25—27	Мергель серый, плотный, слагает слой еще более пологий, чем предыдущий; биотурбация 15%; ожелезнение по многочисленным губкам 20%	25; 0,017 26; 0,044 27; 0,024	0,65
14	28—29	Мергель белый, местами коричневатого-желтоватый, выветрелый, плотный, аналогичный предыдущему слою; биотурбация 25—30%; лимонитовые конкреции 3—5%, ходы ДРО еще более мелкие (диаметр 3—5 мм, длина до 6 см)	28; 0,033 29; 0,033	0,5
15	30—31	Мергель серый, плотный, аналогичный предыдущему слою; биотурбация и ожелезнение не наблюдаются	30; 0,031 31; 0,059	0,7
16	32—33	Мергель грязно-серый, плотный, слагает слабовыраженную ступень; биотурбация 10%; встречены редкие лимонитовые конкреции, диаметр ходов ДРО составляет 0,5—0,6 см, длина до 30 см	32; 0,033 33; 0,043	0,6
17	34—38	Мергель коричневатого-серый, плотный, слагает пологий уступ; биотурбация 25%; редкие лимонитовые конкреции по губкам (до 3—5%)	34; 0,025 35; 0,028 36; 0,034 37; 0,027 38; 0,022	0,65
18	39—46	Мергель серый, плотный, слагает крутой уступ; биотурбация 35—40%; ожелезнение 3%	39; 0,029 40; 0,021 41; 0,057 42; 0,037 43; 0,045 44; 0,043 45; 0,068 46; 0,062	1,3
19	47—52	Мергель темно-серый, плотный, аналогичный предыдущему слою, но образует еще более крутой склон; биотурбация 30%; лимонитовые стяжения по губкам 20%	47; 0,066 48; 0,052 49; 0,052 50; 0,048 51; 0,045 52; 0,037	1,35

Окончание таблицы

20	53—55	Мергель серый, плотный, аналогичный предыдущему слою; биотурбация 10%; ожелезнение по многочисленным ходам ДРО 5%, ходы диаметром 8 мм и длиной до 20 см, встречаются копролиты	53; 0,036 54; 0,021 55; 0,037	0,75
21	56—60	Мергель серый, плотный; биотурбация 10%; ожелезнение по многочисленным губкам 10%; встречены ихнофоссилии двух видов: первый — диаметр 0,5—0,7 мм, длина до 15 см; второй — диаметр 2—3 мм, длина до 20 см	56; 0,029 57; 0,023 58; 0,034 59; 0,036 60; 0,028	0,95
22	61—63	Мергель серый, плотный, слагает крутой склон; биотурбация 5%; ожелезнение 3%; ходы ДРО диаметром до 4 мм и длиной до 10 см	61; 0,034 62; 0,017 63; 0,026	0,6
23	64—67	Мергель серый, плотный, образует ступень шириной не более 30 см; биотурбация 15%; лимонитовые конкреции 10—15%; диаметр ходов ДРО достигает 7 мм, длина 6 см. Также есть их окремненные норы, изгибающиеся кверху (диаметр 2 см, длина 10—20 см)	64; 0,036 65; 0,045 66; 0,036 67; 0,035	0,57
24	68—70	Мергель серый, плотный, слагает вертикальную ступень шириной 50 см; биотурбация 7—10%; лимонитовые стяжения по ходам ДРО и губкам 25%; встречаются лимонитовые и кремневые норы ДРО изогнутой формы (диаметр 2—3 см)	68; 0,022 69; 0,022 70; 0,042	0,74
25	71—73	Мергель серый, плотный, слагает довольно пологую ступень; биотурбация 15—20%; лимонитовые стяжения по ходам ДРО и по губкам 5—10%; ходы ДРО в основном горизонтальные (диаметр до 7 мм, длина 15—20 см), встречено большое количество копролитов	71; 0,031 72; 0,025 73; 0,031	0,8
26	74—77	Мергель серый, плотный, аналогичный предыдущему слою; биотурбация 30%; ожелезнение по ходам илоедов 5%; ходы ДРО также в основном горизонтальные, многочисленные копролиты	74; 0,042 75; 0,016 76; 0,019 77; 0,024	0,8
27	78—80	Мергель серый, плотный, слагает более пологую ступень; биотурбация 25—30%, ожелезнение по губкам и ходам ДРО 5%	78; 0,069 79; 0,07 80; 0,076	0,63
28	81—87	Мергель белый, очень плотный, более пологий; биотурбация 30%; лимонитовые стяжения по ходам ДРО и по губкам 2—4%; ходы ДРО расположены, как правило, горизонтально (диаметр до 0,8—0,9 см, длина 30 см)	81; 0,049 82; 0,064 83; 0,068 84; 0,092 85; 0,049 86; 0,031 87; 0,032	1,2
29	88—91	Мергель серый, плотный; биотурбация 3—4%; ожелезнение по губкам 4—5%	88; 0,025 89; 0,027 90; 0,019 91; 0,021	0,74
30	92—100	Мергель светло-серый, плотный; биотурбация 10—13%; ожелезнение по губкам 5—7%	92; 0,018 93; 0,02 94; 0,016 95; 0,024 96; 0,018 97; 0,02 98; 0,054 99; 0,039 100; 0,052	1,35

Таким образом, применяя этот метод, в исследуемом разрезе можно выделить четыре зоны:

- 1) зона А, где содержание компонента меньше CA_{\min} ;
- 2) зона В₁, где значение параметра больше CA_{\min} и меньше СА;
- 3) зона В₂, где значение параметра больше СА и меньше CA_{\max} ;
- 4) зона С, где значение параметра больше CA_{\max} .

В пределах зон В₁ и В₂ возможны колебания, связанные с погрешностью измерения, поэтому в этой зоне допускается некоторое пренебрежение результатами исследований. Так как количество исследованного материала ограничено, допускается небольшая

импровизация при выделении ритмов. Данные можно условно разделить на две группы: приборная (по маг-

Таблица 2

Содержание минералов по данным спектрохимического анализа, %

Минералы	Образец № 1	Образец № 4	Образец № 50	Образец № 54	Образец № 79	Образец № 96
Сидерит	0,11	0,32	0,32	0,22	0,05	0,29
Доломит	4,64	5,78	5,79	24,3	4,64	9,3
Кальцит	63,82	67,5	66,34	53,12	64,45	50,57
МНО	29,80	24,81	24,81	24,81	28,51	28,15
R ₂ O ₃	0,73	0,78	1,15	1	0,65	2,02

Таблица 3

Распределение минералов и биокластов в разрезе по петрографическим и аналитическим данным

№ образца	Биотурбация, %	CaCO ₃ , % (аналитические данные)	Глауконит, %	Кварц, %	Рудный минерал, %	Глина (пелит), %	Двустворки, %	Фораминиферы, %	Спикулы губок, %	Фрагменты скелетов рыб, %
1	30	60	2	3	5	30	3	10	50	
2	7	71	1	2	3	23	1	6	55	
4	5	60	0,5	1	1	37,5	4	15	30	
5	7	51	0,5	1	1	47,5	2	20	50	
6	15	52	1	0,5	2	44,5	3	40	20	
8	4	62	1	1	1	35	10	10	7	
9	5	66	1	5	7	21	15	40	5	
11	5	71	1	3	0,5	24,5	15	50	3	
14	3	68	0,5	3	3	25,5	6	30	10	
17	20	73	1	5	1	20	12	35	5	
21	7	69	1	8	2	20	15	30	3	
23	8	62	2	3	0,5	32,5	15	35	2	
27	25	64	1	5	2	28	20	20	15	
28	25	64	2	6	3	25	20	15	10	
30	5	63	3	7	4	23	30	30	20	1
32	10	71	2	4	3	20	10	20	5	1
35	25	61	5	7	2	25	10	35	5	
43	35	60	5	8	2	25	15	40	3	1
50	30	65	3	15	4	13	10	30	3	
54	10	60	3	5	2	30	20	35	10	1
56	10	67	1	6	1	25	5	10	20	
62	5	60	3	15	2	20	25	30	<1	
65	15	67	5	10	3	15	10	35	<1	1
69	10	67	5	7	1	20	20	25	2	
72	15	68	2	12	3	15	20	30	<<1	
73	20	65	3	13	1	18			<<1	
75	30	63	5	10	2	20	20	20	<<1	
79	30	65	4	12	1	18	5	10	3	
85	30	66	3	9	2	20	10	35	<<1	
89	4	63	6	9	2	20	20	15	<<1	
96	10	67	5	10	3	15	15	20	<<1	

нитной восприимчивости, карбонатности и др.) и субъективная (описание шлифов, разреза). Поэтому основные (или зафиксированные) параметры, которые будем использовать при выделении и интерпретации ритмов, — магнитная восприимчивость и содержание карбоната кальция. Так как магнитная восприимчивость в нашем случае наиболее достоверна и дополнена данными петрографического анализа шлифов, то она будет служить интегрирующим параметром.

Увеличение магнитной восприимчивости и содержания пирита и марказита в разрезе можно объяснить восстановительной средой в палеобассейне, соответствующей трансгрессивной эпохе в данный момент, а снижение значений этих параметров — окис-

Таблица 4

Содержание минералов нерастворимого остатка по данным рентгенофазового анализа, %

Минералы	Образец № 27	Образец № 43	Образец № 89
Гидрослюда	3—8	4—10	8—14
Тридимит	28—72	27—69*	27—54
Кварц	5—6	5—13	11—20
Цеолит	2—5	3—8	6—12

лительной средой в бассейне, т.е. регрессией [4]. Таким образом, мы можем выделить эпохи, носящие трансгрессивный либо регрессивный характер.

Вариации содержания карбоната кальция в разрезе позволяют выделить более и менее карбонатные ритмы. Колебания уровня моря мы можем связать с вариациями содержания карбонатов в регрессивные и трансгрессивные эпохи соответственно. Конечные данные сопоставим с биотурбированностью пород (фактор весьма необъективный).

Начало разреза характеризуется высокой магнитной восприимчивостью, а также относительно высоким содержанием рудного минерала (зона С). Далее в пределах 0,75 м значения величин параметров резко снижаются до зоны В₂, и только через 1 м наблюдается резкий скачок магнитной восприимчивости; далее через 0,75 м магнитная восприимчивость опять падает, и цикл повторяется вновь. Трансгрессивным эпохам соответствует уменьшение карбонатности, а регрессивным — увеличение. Таким образом, можно предположить аналогичное соотношение вариаций содержания магнитной восприимчивости и карбонатов (рис. 1—3). Частые вариации глубины [1; 2] и солености [2] в относительно тепловодном бассейне седиментации на протяжении раннемаастрихтской истории Юго-Западного Крыма (например, в разрезе Беш-Кош) были обоснованы по пелициподам и фораминиферам ранее.

Начало разреза (слои 1—7) характеризуется большой глубиной осадконакопления, о чем свидетельствует малое содержание глауконита, а также крайне малое содержание гидрослюдов (которые имеют терригенное происхождение), помимо того, оно фиксируется высокими значениями магнитной восприимчивости и большим количеством рудного минерала. Начало разреза слабобиотурбировано. Возможно, здесь были неблагоприятные условия для существования донной фауны или имели место неоднократные размывы и перерывы в осадконакоплении [1], на что указывает малая мощность слоев (~25 см), вследствие чего БКЭР имеют небольшую мощность (0,5 м). Вариации глубины, вероятно, могли быть особенно сильными (резкое увеличение и уменьшение магнитной восприимчивости), хотя сохранялся довольно глубокий уровень моря (содержание глауконита крайне мало), поэтому на содержание карбонатов больше влияли флуктуации климата: теплый и сухой — БКЭР; влажный и

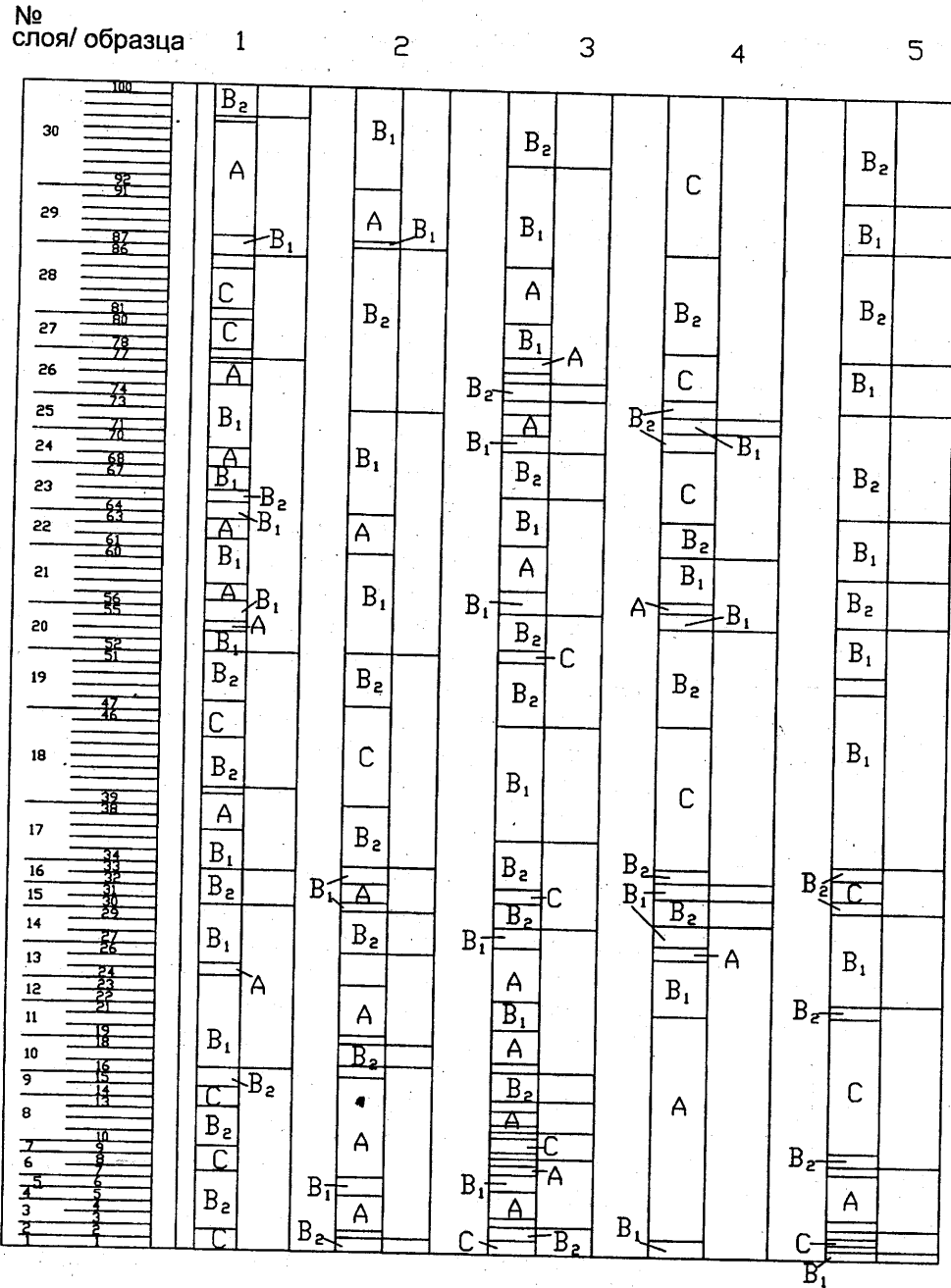


Рис. 3. Группировка ритмов по распределению магнитной восприимчивости (1), объему биотурбации (2), содержанию рудных минералов (3), глауконита (4) и CaCO_3 (5) в изученном разрезе. Условные обозначения см. на рис. 1

холодный — МКЭР, т.е. ритмы образовались в результате влияния климата на биопродуктивность. Слой 1 — это МКЭР₁; слои 2—3 — BKЭР₁; слои 3—7 — МКЭР₂.

С 8-го слоя начинается BKЭР₂ мощностью 2,75 м, прослеживается до слоя 12, который, вероятно, также начал формироваться на большой глубине и/или в придонных водах был дефицит кислорода (об этом свидетельствуют высокие значения магнитной восприимчивости), а затем наступило небольшое обмеление (резкое снижение ее значений). По всему разрезу наблюдается следующая закономерность: увеличение магнитной восприимчивости отвечает повышению биотурбации. Большинство ходов донно-

роющих организмов замещено пиритом и марказитом — магнитными минералами, которые указывают на восстановительную среду в донном осадке. Присутствие терригенных минералов-магнетиков в результате проведенных исследований не установлено. Большую мощность BKЭР₂ можно объяснить связью его формирования с теплым климатом и слабой гидродинамикой.

Слои 12—14 — МКЭР₃ (2,25 м); он начал формироваться в условиях неглубокого моря вследствие общего похолодания (магнитная восприимчивость ниже среднего уровня) и резкого потепления к концу ритма (резко возрастают магнитная восприимчивость и биотурбированность слоя). В качестве модели авторы рассматривают эвстатическую.

Слои 15—16 — BKЭР₃ (1 м); формировался примерно в тех же условиях, но при более теплом климате.

Слои 17—20 — МКЭР₄ (5,25 м); формирование этого элемента ритма (ЭР) происходило при трансгрессии моря (повышенная магнитная восприимчивость) и теплом климате, о чем свидетельствует активная биотурбация породы.

Слой 21 — BKЭР₄ (1,25 м); формировался в условиях регрессии и активной гидродинамики (низкая магнитная восприимчивость, небольшая мощность и слабая биотурбированность слоя).

Слой 22 — МКЭР₅ (0,75 м).

В это время осадконакопление продолжалось в условиях регрессии с наложенным похолоданием, на что указывает низкая биотурбированность пород. С похолоданием связано снижение карбонатности.

Слои 23—25 — BKЭР₅ (2,5 м); продолжение этапа с низким уровнем моря (слабая магнитная восприимчивость), но вероятно очередное потепление (порода биотурбирована сильнее, чем в предыдущем слое).

Слой 26 — МКЭР₆ (?) (1 м); его формирование происходило в мелководных условиях, а снижение содержания карбонатов связано с недолгим похолоданием.

Слой 27—28 — БКЭР₆ (2,25 м); вероятно, отвечает резкому потеплению климата (активная биотурбация породы), что при помощи механизма гляциоэвстазии вызвало последующее повышение уровня моря (рост магнитной восприимчивости).

Слой 29 — МКЭР₇ (1,25 м); низкая степень биотурбации указывает на очередное похолодание, которое вызвало понижение уровня моря (снижение магнитной восприимчивости).

Слой 30 — БКЭР₇ (2,25 м); происходит постепенное уменьшение глубины морского бассейна (падение магнитной восприимчивости).

На итоговой схеме видно, что по карбонатности выделено 14 ритмов. По отношению к флуктуациям уровня моря выделено 6 трансгрессивных и 4 регрессивные эпохи; а по отношению к вариациям климата — 6 этапов с теплым климатом и 6 с холодным (рис. 4).

Таким образом, основной причиной карбонатного ритмообразования является климатическая модель: похолоданием обусловлена регрессия, а потепление в свою очередь вызвало повышение уровня моря. Чтобы выяснить, является ли это следствием влияния циклов Миланковича, необходимо более детально исследовать разрез, а также проследить распространение по площади отложений этого возраста как на территории Крыма, так и в других разрезах.

Заключение. В результате исследований впервые детально описан и изучен комплексом методов 25-метровый разрез нижнемаастрихтских отложений, слагающих правый борт оврага Токма. Выделено (рис. 4) 7 двухэлементных карбонатных ритмов: МКЭР (слои 1; 3—7; 12—14; 17—20; 22; 26; 29) и БКЭР (слои 2—3; 8—12; 15—16; 21; 23—25; 27—28; 30); установлено также 6 трансгрессивных эпох (слои 1; 3—7; 8—12; 14—16; 17—20; 27—28; 30) и 4 регрессивные (слои 2—3; 12—14; 21; 22; 23—25; 26; 29); и 6 этапов с относительно теплым климатом (слои 2—3; 8—12; 15—16; 17—20; 21; 23—25; 27—28; 30) и 6 с относительно холодным (слои 1; 3—7; 12—14; 22; 26; 29).

Работа выполнена при финансовой поддержке грантов МК-7281. 2006. Б, НШ 5280. 2006. 5, РФФИ 05-05-65157а.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев А.С. Верхний мел // Геологическое строение Качинского поднятия Горного Крыма. Стратиграфия мезозоя / Под ред. О.А. Мазаровича, В.С. Милеева. М., 1989. С. 123—135.
2. Габдуллин Р.Р. Ритмичность верхнемеловых отложений Русской плиты, Северо-Западного Кавказа и Юго-Западного Крыма (строение, классификация, модели формирования). М., 2002.

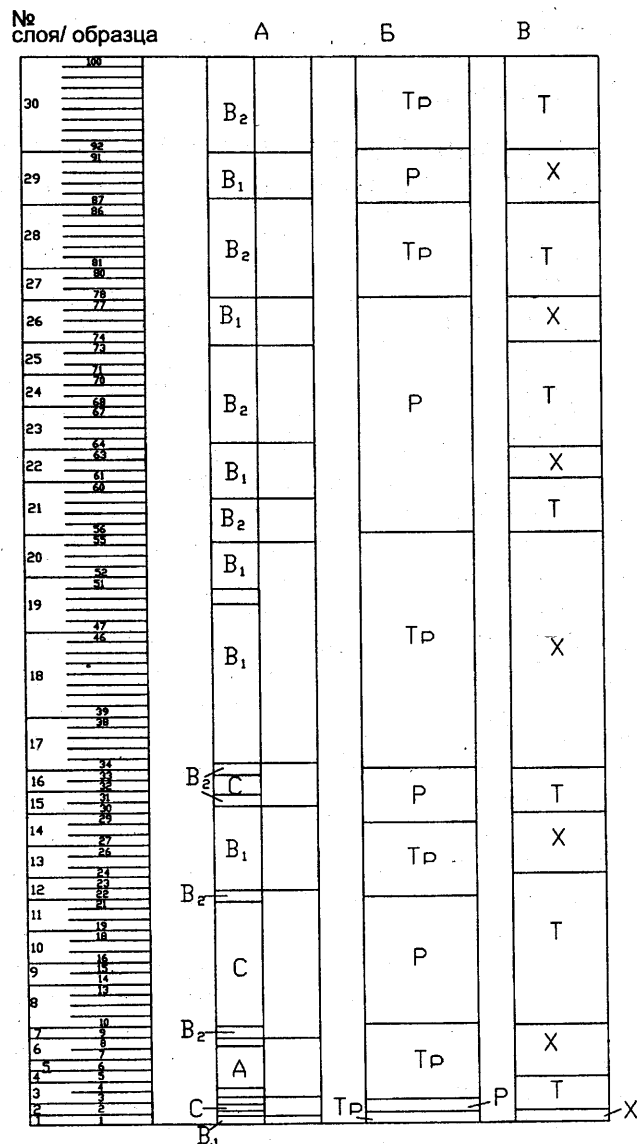


Рис. 4. Распределение выделенных типов ритмов и их генетическая интерпретация в изученном разрезе. Распределение: А — карбонатных ритмов по разрезу; Б — трансгрессивных и регрессивных эпох по отношению к разрезу; В — флуктуаций климата по разрезу. Сокращения: Tr — трансгрессивная эпоха; P — регрессивная эпоха; T — теплый климат; X — холодный климат. Остальные условные обозначения см. на рис. 1

3. Методы изучения осадочных пород. М., 1957. Т. 2. С. 30—32.
4. Молостовский Э.А., Храмов А.Н. Магнитостратиграфия и ее значение в геологии. Саратов, 1997.
5. Фролов В.Т. Литология. Кн. 2. М., 1993.
6. Шлыков В.Г. Рентгеновские исследования грунтов. М., 1991.

Поступила в редакцию
11.10.2005