

УДК 551.763.3 (470.44)

## ГРАФИЧЕСКАЯ КОРРЕЛЯЦИЯ И КОМПОЗИТНЫЙ ПО МАКРОФАУНЕ РАЗРЕЗ МААСТРИХТА (ВЕРХНИЙ МЕЛ) НА СЕВЕРЕ САРАТОВСКОГО ПОВОЛЖЬЯ

Э.О. Амон<sup>1</sup>, А.С. Алексеев<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Палеонтологический институт им. А.А. Борисяка РАН, Москва

<sup>2</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

Поступила в редакцию 15.11.17

Композитный по макрофауне разрез маастрихтских отложений верхнего мела составлен с использованием методики графической корреляции по материалам разрезов Красный Октябрь и Большевик (район г. Вольска в Саратовском Поволжье). История развития макрофауны в маастрихтское время распадается на ряд эпизодов разной длительности и различного содержания. В раннем маастрихте осуществились эпизоды (фазы) заселения (инвазии) и стабилизации (расцвета) и самого начала вымирания (рецессии) макрофауны. Поздний маастрихт охарактеризован продолжением фазы вымирания. Заселение (фаза инвазии) начиналось с равного соотношения числа видов nekтона и бентоса. Позднее, в течение фаз стабилизации и вымирания, доля nekтона возросла, представители бентоса вымирали быстрее. Показаны благоприятные перспективы использования методик графической корреляции и композитных разрезов для решения различных стратиграфических и палеобиогеографических задач.

*Ключевые слова:* поздний мел, маастрихт, макрофауна, композитный разрез, графическая корреляция, Вольск.

**Amon E.O., Alekseev A.S.** Graphic correlation and macrofauna-based composite section of Maastrichtian in the north of Saratov Region of Middle Volga River. Bulletin of Moscow Society of Naturalists. Geological Series. 2018. Volume 93, part 1. P. 10–20.

The macrofauna-based composite section of Maastrichtian in the north of Saratov Region of Middle Volga River made with the using of method of graphic correlation. The data on studied Krasny Oktyabr and Bolshevik sections, located in the Volsk Town area, were used. History of the development of macrofauna during Maastrichtian is divided onto several episodes of different duration and diverse content. In the early Maastrichtian the episodes (phases) of colonization (invasion), stabilization (blooming) and the beginning of extinction (recession) of macrofauna were realized. Late Maastrichtian is characterized by the continuation of the extinction phase. The colonization (invasion) phase started with equal proportions of nekton and benthos. Later, during the stabilization and extinction phases, the proportion of nekton increased, representatives of benthos died out faster. The favorable prospects of the use of graphic correlation techniques and composite sections for various stratigraphic and paleobiogeographic researches are shown.

*Key words:* late Cretaceous, Maastrichtian, macrofauna, composite section, graphic correlation, Volsk.

Выходы пород верхнего мела в Среднем Поволжье на севере Саратовской области в районе г. Вольска в бортах карьеров цементных заводов «Большевик», «Красный Октябрь», «Коммунар» и «Комсомолец» изучаются более 100 лет. Их строение и палеонтологическая характеристика с разной степенью детальности были освещены в геологической литературе (Хименков, 1904; Архангельский, 1912; Матесова, 1930; Милановский, 1940; Герасимов и др., 1962; Найдин, 2002 и др.). Карьеры вскрывают разрез морских верхнемеловых отложений от турона по маастрихт включительно, характерный для севера Саратовского Поволжья (восток Ульяновско-Саратовского прогиба). Сравнительно недавнее новое комплексное изучение опорных разрезов Большевик и Красный Октябрь (Олферьев и др., 2009а, б, 2014; Сельцер, Иванов, 2010) доставило много но-

вых данных о строении и характеристике верхнемеловых толщ, в том числе и по их биостратиграфии.

Особенности геологического развития рассматриваемой территории в позднемеловое время привели к тому, что разрезы вольских карьеров не полны и насыщены перерывами. С наибольшей полнотой в разрезах Красный Октябрь и Большевик представлены маастрихтские отложения, на которые сделан главный акцент в настоящем сообщении. Разрез Красный Октябрь очень близок по строению и характеристикам, в том числе и по палеонтологическим, к расположенному неподалеку разрезу Большевик (Олферьев и др., 2014, рис 16). Вместе с тем между ними наблюдаются небольшие отличия в мощностях свит и в характере распространения ископаемых форм, обусловленные локальными причинами, скорее всего, небольшими

колебаниями глубин участков бассейна седиментации, а также особенностями сбора макрофоссилий.

Маастрихтский интервал в этих разрезах сложен мел-мергельными породами карсунской и радищевской свит, первая имеет раннемаастрихтский возраст, вторая – позднемаастрихтский (Олферьев, Алексеев, 2005). Контакт между свитами несогласный, с перерывом; в породах выявлены и определены довольно обильные и разнообразные макрофоссилии, представленные головоногими (аммониты, наутилиды, белемниты) и двустворчатými (включая иноцерамиды) моллюсками, морскими ежами, брахиоподами, кораллами, ладьеногими, а также микрофоссилии, включающие известковый нанопланктон и бентосные фораминиферы (Олферьев и др., 2009а, б, 2014; Сельцер, Иванов, 2010). Карсунская свита с несогласием (перерывом) залегает на верхнекампанской терешкинской свите (Олферьев и др., 2014).

В настоящей статье освещаются некоторые закономерности, вытекающие из анализа характера и особенностей распространения макрофоссилий в маастрихтских отложениях разрезов Красный Октябрь и Большевик. В этом анализе использовались элементы методик графической корреляции (graphic correlation) и составления композитных разрезов (composite sections), нашедшие в последние десятилетия применение в биостратиграфии (Shaw, 1964; Miller, 1977; Edwards, 1979, 1984, 1989; Quantitative..., 1982; Guex, 1991; Carney, Pierce, 1995; Gradstein, 1996, 2012; Sadler, 2004; Li, Zeng, 2013; Scott, 2014 и многие другие). Напомним, что графическая корреляция – это количественный, но не статистический или кладиристический (один из методов компьютерного моделирования в стратиграфических исследованиях – стратокладиристический анализ (Stratocladistic Analysis) (Marcot, Fox, 2008)) метод определения одновозрастных соотношений между двумя и более разрезами посредством *парного* сравнения *событий*, иначе, фактов распространения в пространстве *любых* стратиграфических признаков, в том числе таксонов фоссилий. Математическая основа методики – комбинаторная математика и 0,1-матрицы (Guex, 1991). Заметим также, что процедуры графической корреляции ныне полностью компьютеризованы; известны, например, программные комплексы GRAPHCOR, RASC, BIOGRAPH, CONJUNCT, CONOP9 (см. обзор в: Sadler, 2004), но в настоящей работе эти программы не использованы.

Термин «события» (“events”) в геологии и палеонтологии понимается в очень широком диапазоне смыслов – это результаты эволюции жизни, седиментационных процессов, вулканической активности, изменений климата и палеогеографии и многое другое (Меннер и др., 1987; Einsele, 1998; Einsele et al., 1991). В контексте графической корреляции и композитных разрезов большое значение приоб-

ретают «линии корреляции», «корреляционные события» и «руководящие корреляционные события» (line of correlation LOC, correlation events, principal correlative events) (Gradstein, 1996, 2012). Видный теоретик и практик стратиграфии Ф.М. Градштейн подчеркивал: «The composite section thus becomes a hypothetical section that contains *all stratigraphic correlation events*, and in which local taxon ranges are extended to approximate their true range in time, as recorded among all the sections» (Gradstein, 2012, p. 46, выделено нами. – Э.А., А.А.) (Композитный разрез предстает, таким образом, гипотетическим разрезом, который содержит все стратиграфические корреляционные события и в котором локальные диапазоны таксонов расширены, чтобы аппроксимировать их истинный диапазон во времени, как это следует из данных всех разрезов).

Графическая корреляция и композитные разрезы широко применяются в практике стратиграфических работ, в том числе при изучении меловых отложений (Scott, 2014 и др.), но в нашей стране эта методология пока еще не нашла своих сторонников, о чем свидетельствуют материалы представительных отечественных научных форумов (Стратиграфия..., 2013; Общая..., 2016).

#### **Литологические границы, мощности, референтный и композитный разрезы**

Маастрихтский интервал в разрезах Красный Октябрь (здесь и далее этому разрезу присвоено условное кодовое обозначение КРО) и Большевик (здесь и далее – БОЛ) представлен породами карсунской (нижний маастрихт) и радищевской (верхний маастрихт) свит. Детальное описание разрезов, включающее литологическую характеристику и биостратиграфическое расчленение, содержится в ранее опубликованных исследованиях (Олферьев и др., 2009а, б, 2014; Сельцер, Иванов, 2010), что избавляет нас от необходимости повторять их в настоящей работе.

Свита понимается как геологическое тело, сформировавшееся естественным образом (т.е. без каких-либо привнесенных нарушений) в ходе тектонической и палеогеографической эволюции территории, имеющее собственную историю развития, обладающее уникальной композицией связанных литологических, физических, химических и палеонтологических характеристик. Одними из важнейших событий являются возникновение и завершение процессов формирования свиты, что складывается в общую длительность и полноту стратона (stratigraphic completeness) (Sadler, 1981; Sommerfield, 2006). Исходя из этого, подошва карсунской свиты принимается за руководящее корреляционное событие и за начальную (нулевую) точку отсчета, от которой измеряются вверх (в метрах) остальные точки наблюдений. Соответствен-

но, конечной точкой полного разреза является кровля радищевской свиты. Разности точек подошв и кровель составляют мощность (толщину, thickness) свиты.

Данные по границам стратонов в разрезах Красный Октябрь и Большевик представлены в табл. 1, где отмечены дистанции (distance – расстояние, измеренное в метрах от нулевой до любой точки наблюдений) и коды (code, code number – присваиваемый порядковый номер). Кроме того, в табл. 1 показаны результаты измерений от нулевой точки до точек (уровней) находок девяти видов макрофоссилий, общих для обоих разрезов.

Попутно заметим, что в результате проведенных комплексных био-, лито- и магнитостратиграфических исследований отложений кампана–маастрихта в разрезах карьеров «Большевик» и «Коммунар» установлено присутствие аналогов магнитных хронов 33r, 32r, 32n1, 32n2 и 31r и негативный экскурс изотопного состава углерода ( $\delta^{13}\text{C}$ ) (Гужикова и др., 2014; Varaboshkin et al., 2017). Это позволяет скоррелировать благодаря использованию магнитостратиграфической шкалы (Ogg, Hinnov, 2012) вольские разрезы с типовым разрезом Терсис (Tercis les Bains) на юго-западе Франции, выбранным в качестве лимитотипа нижней границы маастрихта (Odin, Lamaurelle, 2001). Нижняя граница маастрихта в рассматриваемых вольских разрезах связывается с поверхностью несогласия, разделяющего карсунскую и терешкинскую свиты.

В графической форме информация, представленная в табл. 1, имеет вид точечного графика (X/X cross plot; рис. 1), в котором на осях абсцисс и ординат даны мощности (м), точками показаны

положения кровли карсунской и радищевской свит и уровни находок видов макрофоссилий, общих для обоих разрезов.

Согласно одной из важнейших аксиом графической корреляции из сравниваемых разрезов в качестве стандартного (референтного, reference section) выбирается наиболее полный (Shaw, 1964; Edwards, 1979, 1984, 1989; Quantitative..., 1982). На референтном разрезе фиксируются факты и интервалы распространения всех стратиграфических признаков свиты, в том числе биостратиграфических, измеряемые в расстояниях от нулевой точки. Аналогичные данные, полученные по сравниваемому разрезу, транслируются на референтный и, будучи объединены с последним, образуют композитный разрез (composite section) (Carney, Pierce, 1995; Gradstein, 1996, 2012). Референтным и композитным разрезам придается большое значение в практике стратиграфических исследований, например, в создании типовых разрезов-стандартов стратиграфических единиц (composite-stratotype) (North American..., 2005). Данное положение базируется на постулате, что мощности стратиграфических подразделений и длительность их формирования связаны линейной зависимостью, а мощности (толщины) биостратиграфических зон прямо пропорциональны их длительности (Carter et al., 1980; Gradstein, 2012).

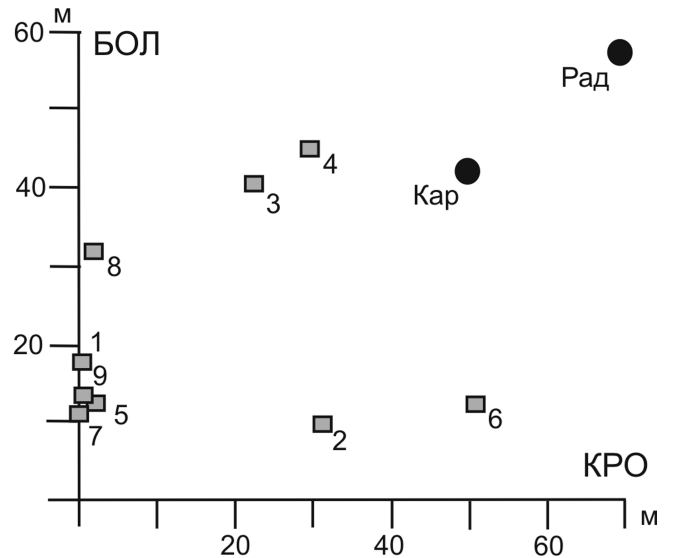
Согласно сказанному, разрез Красный Октябрь (КРО) как обладающий большими мощностями стратиграфических единиц и, соответственно, большей длительностью и большим потенциальным набором стратиграфических признаков принимается за референтный. В обоих разрезах фиксируются

Таблица 1

Границы стратонов и дистанции (в метрах) до точек находок общих видов макрофоссилий в разрезах Красный Октябрь (КРО) и Большевик (БОЛ)

Границы стратонов	Коды	КРО	БОЛ
Подошва карсунской свиты		0	0
Кровля карсунской (= подошва радищевской) свиты		49,6	42,6
Кровля радищевской свиты		64,4	58,0
Таксоны			
<i>Belemnella lanceolata inflata</i> (Arkhangelsky)	1	1,5	18,0
<i>Belemnella lanceolata gracilis</i> (Arkhangelsky)	2	31,5	10,0
<i>Belemnella sumensis</i> Jeletzky	3	23,5	40,0
<i>Baculites anceps</i> Lamarck	4	29,5	45,0
<i>Hoploscaphites constrictus</i> (J. Sowerby)	5	2,5	13,5
<i>Hoploscaphites</i> sp.	6	51,0	13,5
<i>Cataceramus convexus</i> (Hall et Meek)	7	11,0	0,5
<i>Spiridoceramus caucasicus</i> (Dobrov)	8	2,0	32,0
<i>Echinocorys pyramidata</i> (Portlock)	9	1,0	13,0

Рис. 1. Границы стратонов и уровни находок общих видов макрофоссилий в разрезах Красный Октябрь (КРО) и Большевик (БОЛ). На осях – мощности (м); зачерненными кружками отмечено положение кровли карсунской (Кар) и радищевской свит (Рад); серые прямоугольниками – уровни находок общих видов макрофоссилий: 1 – *Belemnella lanceolata inflata*, 2 – *Belemnella lanceolata gracilis*, 3 – *Belemnella sumensis*, 4 – *Baculites anceps*, 5 – *Hoploscaphites constrictus*, 6 – *Hoploscaphites* sp., 7 – *Cataceramus convexus*, 8 – *Spiridoceramus caucasicus*, 9 – *Echinocorys pyramidata* (табл. 1)



валились точки появления таксонов макрофоссилий т.е. дистанции, измеренные в метрах от нулевой точки. Интегральные данные, суммирующие результаты наблюдений по обоим анализируемым разрезам, формируют композитный разрез (табл. 2, рис. 2).

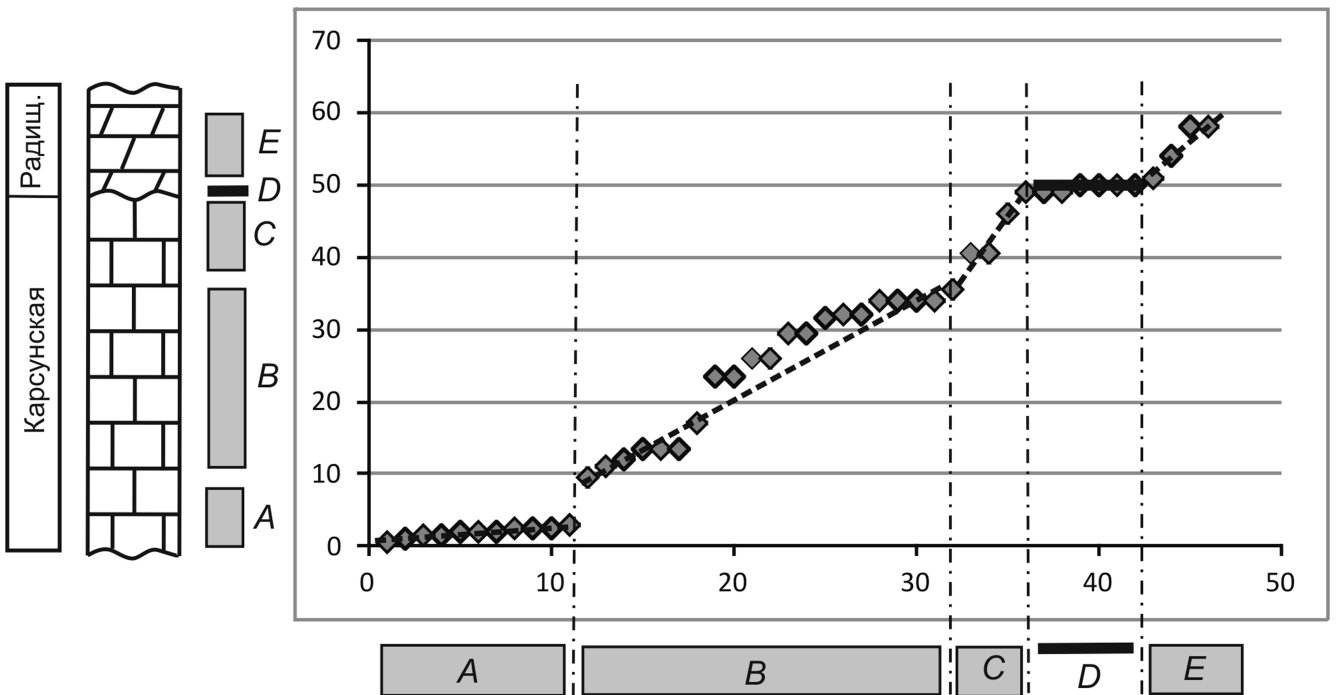


Рис. 2. Распространение макрофауны и интервалы эпизодов в композитном разрезе. По оси абсцисс расположены коды таксонов согласно табл. 2, по оси ординат – мощность (м). Пунктирные линии аппроксимируют разброс точек, штрих-пунктирные линии обозначают границы эпизодов, прямоугольные блоки – эпизоды

### Распространение макрофоссилий в композитном разрезе

В оригинальных описаниях разрезов содержатся данные по первому (FAD – first appearance datum), а также промежуточным и последнему появлению таксонов макрофоссилий (LAD – last appearance datum): в Красном Октябре отмечен 31 вид, в Большевику – 24 вида (Олферьев и др., 2009б, 2014; Сельцер, Иванов, 2010). В табл. 2 приведен полный перечень видов макрофауны (46 таксонов), установленных в маастрихтских отложениях разрезов, организованный в виде композитного разреза. Отметим, что в табл. 2 указаны зафиксиро-

ванные точки только первого появления таксонов в разрезе FAD, поскольку данных по последнему появлению LAD очень немного, в частности по разрезу КРО информация по LAD не достигает и трети от общего числа данных, составляя 22,6%. На запись распространения таксонов в разрезе может влиять также тафономия, в особенности если условия осадконакопления были нестабильны. Однако в данном случае литология пород монотонна и колебания уровней находок фауны, возможно, связаны с условиями доступа к точкам сбора фоссилий в вертикальных стенках уступов карьеров и из-за сформированных на них осыпей.

Таблица 2

## Распространение макрофауны и интервалы эпизодов в композитном разрезе

	Коды	FAD (м)	Эпизод
<i>Cataceramus tauricus</i> (Dobrov et Pavlova)	1	0,5	A
<i>Echinocorys pyramidata</i> (Portlock)	2	1,0	
<i>Belemnella lanceolata inflata</i> (Arkhangelsky)	3	1,5	
<i>Baculites knorrianus</i> Desmarest	4	1,5	
<i>Eutrephoceras</i> sp.	5	2,0	
<i>Spiridoceramus caucasicus</i> (Dobrov)	6	2,0	
<i>Pholadomya (Procardia) cf. decussata</i> (Mantell)	7	2,0	
<i>Hoploscaphites constrictus</i> (J. Sowerby)	8	2,5	
<i>Acanthoscaphites tridens</i> (Kner)	9	2,5	
<i>Terebratulina gracilis</i> Schlotheim	10	2,5	
<i>Pseudobaculites rarus</i> Seltser	11	3,0	
<i>Cataceramus buguntaensis</i> (Dobrov)	12	9,5	
<i>Cataceramus convexus</i> (Hall et Meek)	13	11,0	
<i>Baculites vertebralis</i> Lamarck	14	12,0	
<i>Belemnella lanceolata</i> (Schlotheim)	15	13,5	
<i>Belemnella</i> sp. (cf. <i>B. licharewi desnensis</i> Jeletzky)	16	13,5	
<i>Glyptoxoceras retrorsum</i> (Schlüter)	17	13,5	
<i>Acanthoscaphites verneuillianus</i> (d'Orbigny)	18	17,0	
<i>Belemnella lanceolata</i> subsp.	19	23,5	
<i>Belemnella sumensis</i> Jeletzky	20	23,5	
<i>Belemnella lanceolata</i> (Schlotheim)	21	26,0	
<i>Lima (Plagiostoma) cf. hoperi</i> Mantell	22	26,0	
<i>Belemnella lanceolata angusta</i> Naidin	23	29,5	
<i>Baculites anceps</i> Lamarck	24	29,5	
<i>Belemnella lanceolata gracilis</i> (Arkhangelsky)	25	31,5	
<i>Cataceramus pertenuis</i> (Meek)	26	32,0	
<i>Platyceramus cf. planus</i> (Goldfuss)	27	32,0	
<i>Acanthoscaphites varians</i> (Łopuski)	28	34,0	
<i>Inoceramus arcoides</i> Kharitonov	29	34,0	
<i>Creteirynchia cf. limbata</i> (Schlotheim)	30	34,0	
<i>Magas pumilus</i> J. Sowerby	31	34,0	
<i>Hoploscaphites tenuistriatus</i> (Kner)	32	35,5	
<i>Tudicla carinata</i> (Kner)	33	40,5	C
<i>Arcoscalpellum maximum</i> (J. de C. Sowerby)	34	40,5	
<i>Eutrephoceras decoratum</i> Shimansky	35	46,0	D
<i>Cymatoceras</i> sp.	36	49,0	
<i>Carneithyris circularis</i> Sahni	37	49,0	
<i>Calantica darwiniana</i> (Bosquet)	38	49,0	
<i>Oxytoma danica</i> (Ravn)	39	50,0	
<i>Septifer lineatus</i> (J. de C. Sowerby)	40	50,0	
<i>Smilotrochus galeriformis</i> (Kner)	41	50,0	
<i>Laevidentalium</i> sp.	42	50,0	E
<i>Hoploscaphites</i> sp.	43	51,0	
<i>Glyptoxoceras subcompressum</i> (Forbes)	44	54,0	
? <i>Neobelemnella</i> sp.	45	58,0	
<i>Terebratula obesa</i> Davidson	46	58,0	

В теоретической стратиграфии обычно принимается, что в операциях корреляции корректное сравнение разрезов производится по интервалам (диапазонам, range) распространения таксонов (Shaw, 1964; Miller, 1977; Edwards, 1979, 1984, 1989), включающим их первое и последнее появление. Но на страницах биостратиграфической литературы не первое десятилетие продолжается оживленная дискуссия по поводу того, какие биособытия (корреляционные события) следует считать наиболее важными в корреляции и определении границ зональных подразделений и ярусов – событие первого (эволюционная инновация) или последнего появления (вымирание таксона) (Bassett, 1985; Gradstein, Ogg, Hinnov, 2012). Не вдаваясь в полемику, заметим, что в биостратиграфии нередки ситуации, когда в разрезах наблюдается преобладание точечного, а не интервального (диапазонного) распространения видов, когда в некоей точке фиксируются одновременно и первое и последнее появление. Чаще это имеет место в случае крупных фоссилий, которых удается найти в разрезе только один раз. В таких случаях точечным данным FAD отдается предпочтение, как, например, при построении конодонтовой количественной биостратиграфии эйфельского яруса Анти-Атласа в Марокко (Belka et al., 1997).

Исходя из сказанного, мы полагаем, что для анализа особенностей распространения макрофауны в рассматриваемых разрезах можно отказаться от упоминания уровней последнего появления видов, убрав их как «шум», информационно «загрязняющий» общую картину. В табл. 2 отмечены FAD и, кроме того, указаны эпизоды (episodes), обозначенные латинскими литерами. Значения FAD ранжированы по возрастанию дистанции, и каждому таксону присвоено собственное кодовое обозначение (код). Основной «пул» таксонов составлен, главным образом, двусторчатыми моллюсками, включая иноцерамов, а также аммонитами и белемнитами; другие группы (скафоподы, наутилоидеи, склерактинии, усонogie раки и морские ежи) представлены единичными таксонами.

В графическом виде распределение таксонов отображено на точечном графике на рис. 2 (X/Y cross plot), где по оси ординат отмечены дистанции от нулевой точки (м), а на оси абсцисс – коды таксонов соответственно табл. 2. Пунктирными линиями аппроксимированы линии тренда; эпизоды отмечены прямоугольниками.

Рассмотрение графических материалов позволяет сделать несколько заключений.

Общая линия тренда, в целом аппроксимирующая разброс точек графика (линейная регрессия), не является сплошной, а разделена перегибами на несколько участков, имеющих разный наклон по отношению к оси абсцисс. Заметим, что графиком линии тренда идеально-равномерного распространения таксонов в сопоставимых координатах является единая прямая линия с началом в нулевой точке осей координат и идущая под углом  $45^\circ$  к оси

абсцисс. Реальные линии тренда, как правило, отличаются по углу наклона от идеальной, при этом если реальная линия теряет угол наклона, становясь параллельной оси абсцисс, то это может служить прямым указанием на наличие в разрезе перерыва. Обобщенно говоря, наклон (угол) линии тренда (= линейная регрессия) варьирует в пределах целочисленного ряда  $0^\circ < n < 90^\circ$  и предельные точки этого ряда имеют разный смысл. Первая из них ( $0^\circ$ ) означает, что в разрезе нет мощности и вся фауна собрана в точке, а вторая ( $90^\circ$ ) означает, что в разрезе нет находок макрофауны. Исследователи считают (Krebs, 2011), что участки (сегменты) линии тренда, параллельные оси (flat line segments), отражают разного рода несогласия, hiatus или конденсированный разрез, тогда как наклонные (oblique line segments) представляют собой «хронологические последовательности» (chronosequences), что очень важно для секвентной стратиграфии (Emery, Myers, 1996). В нашем случае ситуация несогласия наблюдается на контакте карсунской и радищевской свит (сплошная толстая линия на рис. 2).

Разрывы линии тренда могут быть также объяснены наличием в изученных разрезах непросматриваемых участков, закрытых осыпями, из-за которых был невозможен сбор образцов макрофоссилий (например, осыпь высотой 2,8 м в подошве уступа III, инт. 13,8–16,6 м, см.: Олферьев и др., 2014, с. 49).

Участки (сегменты) линии тренда, выделяемые по точкам перегиба (пунктирные линии на рис. 2), разделяют массив таксонов макрофоссилий на группы и показывают интервалы распространения этих групп в разрезе (прямоугольные блоки в нижней и левой частях рис. 2). Интервалы распространения групп таксонов по разрезу, взятые с учетом угла наклона линии тренда, занимают разные объемы и могут быть трактованы как некие эпизоды (episodes) развития биоты, существовавшей в данном районе в маастрихте и тесно взаимодействовавшей с окружающей средой. Таких эпизодов можно различить пять, они маркированы латинскими буквами *A*, *B*, *C*, *D*, *E* (табл. 2, рис. 2) и имеют разный ранг и разное содержание. Три из них (*A*, *B*, *C*) осуществились в период накопления осадков карсунской свиты – они, возможно, отражают фазу инвазии (экспансии) макробиоты в район обитания и стабилизации, а также последующих изменений ее состава. Эпизод *D* произошел в момент перерыва на границе карсунской и радищевской свит, а эпизод *E* осуществился в период формирования осадков карсунской свиты.

#### Анализ данных

Реальное распространение таксонов макрофауны в вольском композитном разрезе далеко от идеального, и изменение наклонов (перегибы) линий тренда делит весь массив данных по распространению форм на отдельные объемы, названные выше объемами эпизодов *A*, *B*, *C*, *D*, *E*. Эпизоды

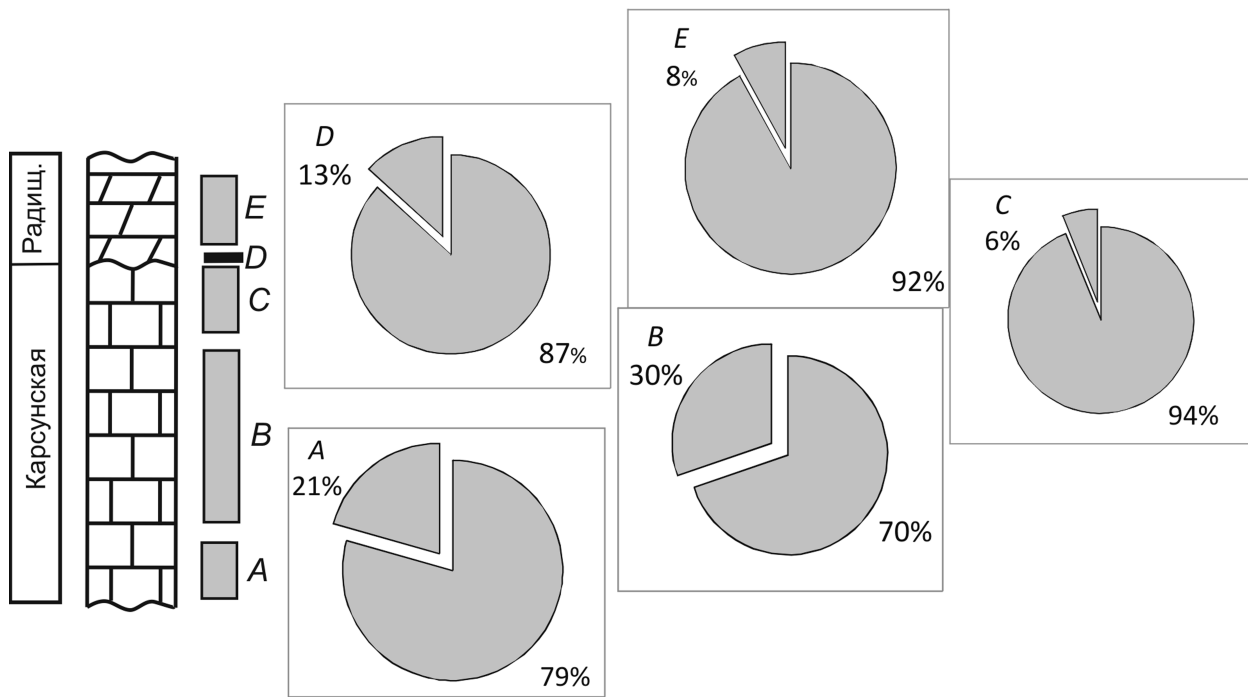


Рис. 3. Процентные соотношения эпизодов в общем количестве таксонов в композитном разрезе

неравноценны как по величине занимаемых ими интервалов (толщинам) разрезов, так и по контенту, т.е. по числу слагающих их таксонов. На рис. 3 показаны в виде круговых диаграмм доли (в процентном отношении) числа таксонов в эпизодах от общего числа таксонов в композитном разрезе.

Заметим, что, согласно постулату связи и зависимости мощности стратиграфических подразделений от длительности их формирования (Carter et al., 1980; Gradstein, 2012), можно полагать, что объем эпизода, отражаемый в композитном разрезе его интервалом, может косвенно указывать на длительность, т.е. можно говорить об условно более кратких или более продолжительных эпизодах.

С учетом наклона линий тренда, процентных долей таксонов и условной длительности эпизоды могут быть интерпретированы следующим образом. Формированию и накоплению карсунской свиты в районе Вольска предшествовал крупный перерыв, охвативший почти весь поздний кампан и длившийся не менее 5 млн лет (Олферьев и др., 2014). Следовательно, можно предположить, что не существовало прямой «преемственности» в маастрихте кампанских фаун. Когда после перерыва восстановились нормальные морские условия обитания и осадконакопления (нижняя часть карсунской свиты), в раннем маастрихте во вновь сформированную акваторию устремились виды-вселенцы из других районов обширного эпиконтинентального бассейна Восточно-Европейской платформы, где морской режим не прерывался.

**Эпизод А.** Отражает сравнительно короткую фазу инвазии (вселения) макробиоты в акваторию района Вольска в раннем маастрихте. Для фазы характерно быстрое проникновение довольно значительного числа таксонов (пологая линия тренда, короткий

интервал разреза, большая процентная доля). Довольно высокие скорости освоения акватории и кратковременность обусловлены наличием свободных, незанятых экологических ниш, очищенных предшествующим катастрофичным перерывом.

**Эпизод В.** Существенно более длительный и более богатый по таксономическому содержанию эпизод В отражает фазу стабилизации в развитии макробиоты и ее расцвета (blooming).

**Эпизод С.** Более короткий, чем предыдущий эпизод С можно трактовать как начало фазы угасания, вымирания, рецессии. К такому заключению приводит большой угол наклона линии тренда и малая процентная доля. Причем это не *климаксная* фаза, как это рассматривается в классической теоретической экологии (Одум, 1986), а простое постепенное исчезновение, вымирание таксонов. Также это не мгновенная катастрофа в существовании фауны в данном районе.

**Эпизод D.** Может быть условно назван событием перерыва на границе свит. Он приурочен к отчетливо выраженному перерыву, подчеркиваемому хард-граундом, и, по существу, состоит из двух субъединиц. Одна из них – это группа видов, присутствующих в самой кровле карсунской свиты (три вида), другая – группа видов, найденная в самой подошве радищевской свиты (четыре вида). Не исключено, что здесь мы имеем дело с *конденсированным* интервалом, в котором сгружены формы из исчезнувших фрагментов разреза. В вещественном выражении эпизод D занимает всего 1 м мощности разреза и продолжает фазу вымирания.

**Эпизод E.** Осуществившийся во время накопления радищевской свиты эпизод E аналогичен эпизоду С и, возможно, продолжает фазу вымирания. Кратковременность эпизода E и малая процентная

доля его таксонов во многом обусловлены тем, что в вольских разрезах верхний маастрихт представлен в сильно сокращенном объеме (Олферьев и др., 2014). Породы радищевской свиты размыты на границе мела и палеогена, поэтому здесь мы лишены возможности изучения распространения макрофауны во всем объеме верхнего маастрихта.

Определенный интерес представляет рассмотрение особенностей распространения макрофоссилий с точки зрения соотношения подвижного нектона (головоногие моллюски) и седентарного или малоподвижного бентоса (прочие представители макрофауны). Возможно, что часть головоногих моллюсков – гетероморфные аммониты – были пассивными планктерами, питавшимися известковым наннопланктоном и фораминиферами с помощью слизистых ловчих сетей и поплавок (Несис, 1986), что позволяет рассматривать эту группу как условно планктон-нектонную. Попутно заметим, что из видов, общих для обоих разрезов КРО и БОЛ, две трети их числа относятся к последней группе.

Соотношения нектон/бентос приведены в табл. 3. Данные по эпизодам *C*, *D* и *E* объединены.

Таблица 3

Число таксонов нектона и бентоса и соотношение нектон/бентос в композитном разрезе

	Нектон	Бентос	Всего	Процентное соотношение нектон/бентос (%)
Фаза инвазии (эпизод <i>A</i> )	6	6	12	50
Фаза стабилизации (эпизод <i>B</i> )	13	7	20	65
Фаза вымирания (эпизоды <i>C</i> , <i>D</i> , <i>E</i> )	10	4	14	71

Из приведенных в табл. 3 соотношений можно сделать заключение, что заселение акватории и дна бассейна рассматриваемого района начиналось с равного соотношения числа видов нектона и бентоса (эпизод *A*). Заметим, что обе группы фауны не являются конкурентными по отношению друг к другу, поскольку занимают различные экологические ниши, обладают разными типами питания и разными пищевыми базами. В фазу стабилизации макробиоты (эпизод *B*) доля нектона возросла, что может быть трактовано как расцвет нектона и характеризует высокие темпы его биопродуктивности и эволюции. Для фазы вымирания (рецессии, эпизоды *C*, *D*, *E*) характерна похожая картина – представители нектона были более многочисленны, т.е., возможно, они были более устойчивы к менявшимся условиям внешней среды, а представители бентоса были менее резистентны и вымирали быстрее.

## Заключение

Ранее было выяснено, что поздне меловая морская биота в целом, населявшая палеоакватории, занимавшие юго-восток Европейской палеобиогеографической области (ЕПО), к которым относились Саратовское Поволжье и Вольский прогиб (впадина), была представлена разнообразными бентосными и нектонными организмами и находилась под влиянием Бореального и Средиземноморского секторов Мирового океана (Первушов и др., 1997, 2004). В составе поздне меловых бентосных поселений отмечены представители мшанок, кораллов, губок, различных двустворчатых, брюхоногих и лопатоногих моллюсков, замковых и беззамковых брахиопод, иглокожих и разнообразных проблематик, с доминированием двустворчатых моллюсков (преимущественно устрицы и иноцерамы) и кремневых губок. Нектонную часть биоты составляли цефалоподы, разнообразные костистые и хрящевые рыбы (акулы, скаты, химеры), морские рептилии (ихтиозавры, плезиозавры, мозазавры, черепахи и крокодилы) (Первушов и др., 1997, 2004).

Для маастрихтского века этой части морского бассейна были свойственны тенденции расширения площади карбонатакопления, затопления длительно существовавших участков островной и прибрежной суши, отсутствие кремненакопления. Кремневые губки в маастрихте малочисленные, не образовывали плотных поселений, у них отмечено усиливающееся вымирание многих филогенетических ветвей. Устрицы также не отличались многообразием, широко были распространены моновидовые устричные банки. Относительное таксономическое разнообразие сообществ во второй половине раннего маастрихта было характерно для отдельных районов морских акваторий, где обитали инозои, брахиоподы, одиночные кораллы, редкие иглокожие и цефалоподы (Первушов и др., 1997). Отмечалось также постепенное сокращение разнообразия и вымирание групп двустворчатых моллюсков к концу маастрихта и сильная вариабельность их систематического состава в разных местах обитания в регионе (Иванов, 1999).

Завершая обсуждение, отметим, что из анализа графических материалов следуют важные выводы о некоторых моментах в истории развития макробиоты в рассматриваемом палеобассейне в маастрихтское время. В частности может быть показано, что эта история, возможно, распадается на ряд эпизодов разной длительности и разного содержания. В раннем маастрихте осуществились эпизоды (фазы) заселения (инвазии), стабилизации (расцвета) и самого начала вымирания (угасания, рецессии) фауны макроразмерных организмов. Поздний маастрихт охарактеризован продолжением фазы вымирания. К сожалению, из-за особенностей геологического развития изучаемой территории (предпалеогеновый размыв пород верхнего маастрихта) невозможно



проследить детали развития макрофауны на протяжении всего позднего маастрихта. Необходимо отметить, что в Саратовском Поволжье интенсивность этого размыва и конкретное выражение перерыва сильно варьируют, а в районе с. Ключи верхний маастрихт в мергельной фации может быть весьма полным (Мусатов, Христенко, 2004; Овечкина, Алексеев, 2004).

Макромерная фауна представлена бентосными и нектонными (частично планктонными?) формами, которые не являются конкурентными по отношению друг к другу, занимают различные экологические ниши, обладают разными типами питания и разными пищевыми базами. Заселение (фаза инвазии) акватории начиналось с равного соотношения числа видов нектона и бентоса, что отражало примерно равное относительное биоразнообразие. В фазу стабилизации доля нектона возросла, демонстрируя его расцвет и более высокие темпы биопродуктивности и эволюции. В фазу вымирания представители нектона были более многочисленны, т.е. они были менее устойчивы к изменившимся условиям внешней среды, сохраняя свое относительное биоразнообразие, а представители бентоса были менее резистентны и быстрее вымирали.

Во многих современных отечественных биостратиграфических публикациях использование графических материалов не простирается далее приведения обычных схем строения изучаемых геологических разрезов с указанием на схемах особенностей литологии, а также с вынесенными точками отбора фаунистических проб и интервалами распространения таксонов (так называемые «заборы»). Вместе с тем представление биостратиграфических данных в иной графической форме в виде разнообразных графиков и диаграмм, а также составление композитных разрезов позволяет в от-

дельных случаях увидеть неявные закономерности, не обнаруживаемые стандартными процедурами. Графическое представление эмпирического материала является полезным вспомогательным приемом, позволяющим глубже познать особенности геологического развития территорий в разное время, и особенности развития фаун и флор на них.

В отношении хороших перспектив методик графической корреляции и составления композитных разрезов оптимизм внушают блестящие примеры эффективного их применения в разных разделах стратиграфии, палеонтологии, палеогеографии. Например, предполагалось, что композитные разрезы будут составлять основу для выбора и описания Global Stratotype Sections and Points (GSSPs) – точек глобальных стратотипов границ (ТГСГ) (Cowie, 1986; Smith et al., 2015 и мн. др.), которые постепенно вводятся в практику стратиграфических исследований и в России (Алексеев, 2013; Жамойда, 2013). Они успешно применяются для более углубленного познания тектонического развития планеты в целом или ее отдельных регионов (например, Гималаев в мелу, Li, Zeng, 2013) для уточнения особенностей развития жизни на Земле (например, среднепермский кризис в эволюции терапод, Day et al., 2015), создания детальных биозональных шкал (например, разработка стандарта пермской радиояриевой биостратиграфии по унитарным ассоциациям, Xiao et al., 2018). Композитные разрезы удобны еще и тем, что на них легко выносятся любые физико-химические признаки помимо обычных литолого-минералогических, как, например, в композитном разрезе казанского яруса перми Печищи недалеко от г. Казани, где объединены литологические, биостратиграфические данные с данными тонкой геохимии по отношению  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  (Nurgalieva et al., 2007).

## ЛИТЕРАТУРА

Алексеев А.С. Современное состояние Международной стратиграфической шкалы: положительные и отрицательные последствия для Общей стратиграфической шкалы России // Общ. стратиграфическая шкала России: состояние и перспективы обустройства / Ред. М.А. Федонкин. Всеросс. конф. Москва, 23–25 мая 2013 г. М.: ГИН РАН, 2013. С. 9–13.

Архангельский А.Д. Верхнемеловые отложения востока Европейской России // Мат-лы по геол. России. 1912. Т. 25. 631 с.

Герасимов П.А., Мигачева Е.В., Найдин Д.П., Стерлин Б.П. Юрские и меловые отложения Русской платформы. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1962. 196 с.

Гужикова А.А., Беньямовский В.Н., Барaboшкин Е.Ю. и др. Магнитостратиграфическая корреляция пограничного интервала кампана-маастрихта района г. Вольска (Саратовская обл.) и карьера Терсис (ЮЗ Франция) // Геологические науки – 2014 / Ред. М.В. Решетников. Мат-лы всеросс. научно-практ. конф. 10–12 апреля 2014 года. Саратов: Изд-во СО ЕАГО, 2014. С. 36–38.

Жамойда А.И. Общая стратиграфическая шкала, принятая в СССР–России. Ее значение, назначение и совершенствование. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2013. 24 с.

Иванов А.В. Особенности разнообразия и стратиграфическое значение меловых двустворчатых моллюсков юго-востока Европейской палеобиогеографической области // Геологические науки – 99 / Ред. Ю.П. Концевин. Избр. тр. Межведомств. науч. конф. 5–16 апреля 1999 года. Саратов: Изд-во ГосУНЦ «Колледж», 1999. С. 53–54.

Матесова М.Н. Геологические экскурсии в окрестности города Вольска // Тр. Вольского окружного научно-образовательного музея. Вып. 3. Вольск: Красный Печатник, 1930. 46 с.

Меннер В.В., Барсков И.С., Алексеев А.С. Биотические события и событийная стратиграфия // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геол. 1987. № 5. С. 47–55.

Милановский Е.В. Очерк геологии Среднего и Нижнего Поволжья. М.; Л.: Гостоптехиздат, 1940. 276 с.

- Мусатов В.А., Христенко Н.А.* Граница верхнемеловых и палеоценовых отложений в Саратовском Поволжье // Бюл. МОИП. Отд. геол. 2004. Т. 79, вып. 4. С. 48–56.
- Найдин Д.П.* Вольский разрез верхнего мела (север Саратовского Поволжья) // Тр. НИИгеологии СГУ. Нов. сер. Т. 10. Саратов: Научная книга, 2002. С. 6–11.
- Несис К.Н.* О питании и причинах вымирания некоторых гетероморфных аммонитов // Палеонтол журн. 1986. № 1. С. 8–15.
- Овечкина М.Н., Алексеев А.С.* Изменения сообществ фито- и зоопланктона в маастрихтском бассейне Саратовского Поволжья // Экосистемные перестройки и эволюция биосферы. Вып. 6 / Ред. И.С. Барсков, Т.Б. Леонова, А.Г. Пономаренко. М.: ПИН РАН, 2004. С. 57–73.
- Одум Ю.* Экология: В 2 т. / Пер. с англ. М.: Мир, 1986. Т. 1. 328 с. Т. 2. 376 с.
- Олферьев А.Г., Алексеев А.С.* Стратиграфическая схема верхнемеловых отложений Восточно-Европейской платформы. Объяснит. зап. М.: ПИН РАН, 2005. 203 с.
- Олферьев А.Г., Беньямовский В.Н., Иванов А.В.* и др. Верхнемеловые отложения севера Саратовской области. Статья 1. Разрез карьера «Большевик» в окрестностях Вольска // Бюл. МОИП. Отд. геол. 2009а. Т. 84, вып. 2. С. 5–22.
- Олферьев А.Г., Беньямовский В.Н., Иванов А.В.* и др. Верхнемеловые отложения севера Саратовской области. Статья 2. Биостратиграфическое расчленение разреза карьера «Большевик» в окрестностях Вольска // Бюл. МОИП. Отд. геол. 2009б. Т. 84, вып. 4. С. 29–46.
- Олферьев А.Г., Сельцер В.Б., Алексеев А.С.* и др. Верхнемеловые отложения севера Саратовской области. Статья 3. Биостратиграфическое расчленение разреза карьера «Красный октябрь» на южной окраине г. Вольска // Бюл. МОИП. Отд. геол. 2014. Т. 89, вып. 6. С. 45–76.
- Первушов Е.М., Иванов А.В., Попов Е.В.* Средне- и позднемеловая биота юго-востока Европейской палеобиогеографической области // Палеонтол. журн. 1997. № 3. С. 10–16.
- Первушов Е.М., Иванов А.В., Сельцер В.Б.* Новые данные о представителях морских и субконтинентальных биот позднего мезозоя – кайнозоя юго-востока Среднерусской палеобиогеографической провинции // Изв. Саратовск. ун-та. 2004. Т. 4, вып. 1–2. С. 28–36.
- Сельцер В.Б., Иванов А.В.* Атлас позднемеловых аммонитов Саратовского Поволжья. М.: Книжный дом «Университет», 2010. 152 с.
- Стратиграфия в начале XXI века – тенденции и новые идеи / Ред. Ю.Б. Гладенков, Н.В. Межеловский. М.: Геокарт, ГЕОС, 2013. 220 с.
- Общая стратиграфическая шкала и методические проблемы разработки региональных стратиграфических шкал России / Ред. Т.Ю. Толмачева. Мат-лы Межведомств. рабочего совещ. Санкт-Петербург, 17–20 октября 2016 г. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2016. 196 с.
- Хименков В.Г.* Геологический очерк окрестностей г. Вольска Саратовской губернии // Тр. Саратовск. о-ва естествоиспытателей и любителей естествознания. 1903–1904. Т. IV, вып. 2–3. С. 195–258.
- Varaboshkin E. Yu., Benyamovski V. N., Guzhikov A.* et al. Integrated study of Campanian/Maastrichtian boundary interval at Volga region (Russia) and Aktolagay Plateau (West Kazakhstan) of the Russian Platform // 10th International Symposium on the Cretaceous. Vienna, August 21–26, 2017. ABSTRACTS // Berichte der Geologischen Bundesanstalt. 2017. Bd. 120. P. 22.
- Bassett M.G.* Towards a “Common Language” in stratigraphy // Episodes. 1985. Vol. 8, N 2. P. 87–92.
- Belka Z., Kaufmann B., Bultynck P.* Conodont-based quantitative biostratigraphy for the Eifelian of the eastern Anti-Atlas, Morocco // GSA Bull. 1997. Vol. 109, N 6. P. 643–651.
- Carney J.L., Pierce R.W.* Graphic correlation and composite standard databases as tools for the exploration biostratigrapher // Graphic Correlation / Eds. K.O. Mann, H.R. Lane. SEPM Spec. Publ. 53. Tulsa, 1995. P. 23–43.
- Carter C., Trexler J.H., Churleim M.* Dating of graptolite zones by sedimentation rates: Implications for rates of evolution // Lethaia. 1980. Vol. 13. P. 279–287.
- Cowie J.W.* Guidelines for boundary stratotypes // Episodes. 1986. Vol. 9, N 2. P. 78–82.
- Day M.O., Ramezani J., Bowring S.A.* et al. When and how did the terrestrial mid-Permian mass extinction occur? Evidence from the tetrapod record of the Karoo Basin, South Africa // Proc. Roy. Soc. 2015. B 282: 20150834. <http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2015.0834>.
- Edwards L.E.* Range charts and no-space graphs // Computers and Geosci. 1979. Vol. 4. P. 246–255.
- Edwards L.E.* Insights on why graphic correlation (Shaw’s method) works // J. Geol. 1984. Vol. 92. P. 583–597.
- Edwards L.E.* Supplemented graphic correlation: a powerful tool for paleontologists and nonpaleontologists // Palaios. 1989. Vol. 4. P. 127–143.
- Eisele G.* Event stratigraphy: Recognition and interpretation of sedimentary event horizons // Unlocking the stratigraphical record: Advances modern stratigraphy / Eds. P. Doyle, M.R. Bennett. New York: John Wiley & Sons Ltd., 1998. P. 145–193.
- Eisele G., Ricken W., Seilacher A.* Cycles and events in stratigraphy – basic concepts and terms // Cycles and events in stratigraphy / Eds. G. Eisele, W. Ricken, A. Seilacher. Berlin; Heidelberg; New York: Springer, 1991. P. 1–19.
- Emery D., Myers K.J.* Sequence stratigraphy. Oxford: Blackwell Science Ltd., 1996. 297 p.
- Gradstein F.M.* Graphic correlation – a review // Micropaleontology. 1996. Vol. 42, N 3. P. 303–304.
- Gradstein F.M.* Biochronology // The Geological Time Scale 2012 / Eds. F.M. Gradstein, J.G. Ogg, M.D. Schmitz, G.M. Ogg. Amsterdam: Elsevier, 2012. P. 43–61.
- Gradstein F.M., Ogg J.G.* The Chronostratigraphic Scale // The Geological Time Scale 2012 / Eds. F.M. Gradstein, J.G. Ogg, M.D. Schmitz, G.M. Ogg. Amsterdam: Elsevier, 2012. P. 31–42.
- Guex J.* Biochronological correlations. Berlin: Springer, 1991. 252 p.
- Krebs W.N.* Upper Tertiary chronosequence stratigraphy of offshore Sabah and Sarawak, NW Borneo, Malaysia: A unified scheme based on graphic correlation // Bull. Geol. Soc. Malaysia. 2011. Vol. 57. P. 39–46.
- Li G., Zeng J.* Quantitative biostratigraphical analysis upon the Upper Cretaceous in Tethyan Himalaya // Acta Geologica Sinica (English Edition). 2013. Vol. 87, N 4. P. 926–935.
- Marcot J. D., Fox D.* StrataPhy: A new computer program for stratocladistic analysis // Palaeontologia Electronica. 2008. Vol. 11, N 1. 5A:16p; [http://palaeo-electronica.org/2008\\_1/142/index.html](http://palaeo-electronica.org/2008_1/142/index.html)
- Miller F.X.* The graphic correlation method in biostratigraphy // Concepts and methods of stratigraphy / Eds. E.G. Kaufmann, J.E. Hazel. Stroudsburg, Pennsylvania: Dowden, Hutchinson and Ross, 1977. P. 165–186.

North American Stratigraphic Code. North American Commission on Stratigraphic Nomenclature // AAPG Bull. 2005. Vol. 89, N 11. P. 1547–1591.

*Nurgalieva N.G., Ponomarchuk V.A., Nurgaliev D.K.* Strontium isotope stratigraphy: Possible applications for age estimation and global correlation of Late Permian carbonates of the Pechishchi type section, Volga River // Russian J. Earth Sci. 2007. Vol. 9. ES1002, doi:10.2205/2007ES000221.

*Odin G.S., Lamaurelle M.A.* The global Campanian-Maastrichtian Stage boundary // Episodes. 2001. Vol. 24, N 4. P. 229–238.

*Ogg J.G., Hinnov L.A.* Cretaceous // The Geological Time Scale 2012 / Eds. F.M. Gradstein, J.G. Ogg, M.D. Schmitz, G.M. Ogg. Amsterdam: Elsevier, 2012. P. 793–853.

Quantitative biostratigraphy / Eds. J.M. Cubitt, R.A. Reymont. Chichester: UK Press (Wiley), 1982. 250 p.

*Sadler P.M.* Sediment accumulation rates and the completeness of stratigraphic sections // J. Geol. 1981. Vol. 89. P. 569–584.

*Sadler P.V.* Quantitative biostratigraphy – achieving finer resolution in global correlation // Ann. Rev. Earth Planet. Sci. 2004. Vol. 32. P. 187–213.

*Scott R.W.* A Cretaceous chronostratigraphic database: construction and applications // Carnets de Géologie. 2014. Vol. 14, N 2. P. 15–37.

*Shaw A.B.* Time in stratigraphy. New York: McGraw Hill, 1964. 365 p.

*Smith A.G., Barry T., Bown P.* et al. GSSPs, global stratigraphy and correlation // Strata and Time: Probing the Gaps in Our Understanding. Geol Soc. London. Spec. Publ 2015. Vol. 404. P. 37–67.

*Sommerfield C.K.* On sediment accumulation rates and stratigraphic completeness: Lessons from Holocene ocean margins // Continental Shelf Res. 2006. Vol. 26. P. 2225–2240.

*Xiao Y., Suzuki N., He W.* Low-latitude standard Permian radiolarian biostratigraphy for multiple purposes with Unitary Association, Graphic Correlation, and Bayesian inference methods // Earth-Sci. Rev. 2018. Vol. 179. P. 168–206.

**Сведения об авторах:** *Амон Эдуард Оттович* – докт. геол.-минерал. наук, вед. науч. сотр. лаб. протистологии ПИН РАН, *e-mail:* amon@paleo.ru; *Алексеев Александр Сергеевич* – докт. геол.-минерал. наук, профессор каф. палеонтологии геологического ф-та МГУ имени М.В. Ломоносова, *e-mail:* aaleks@geol.msu.ru