

УДК 551.461.88:551.58:563.12(261)(265)

ПЕРЕЛОМНЫЕ РУБЕЖИ В РАЗВИТИИ ПОЗДНЕМЕЛОВОЙ БИОТЫ ПЛАНКТОННЫХ ФОРАМИНИФЕР ЮЖНОЙ ЧАСТИ ИНДИЙСКОГО ОКЕАНА

© 2019 г. Е. А. Соколова

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия
e-mail: sokolova@ocean.ru

Поступила в редакцию 27.11.2017 г.

После доработки 16.06.2019 г.

Принята к публикации 18.06.2019 г.

В статье проанализированы собственные данные по видовому составу раковин планктонных фораминифер из верхнемеловых осадков Индийского океана, а также из разрезов окраинных шельфовых морей Австралии. Виды планктонных фораминифер объединены в группы и выстроены в климатический ряд. Анализ смены систематического состава фораминифер позволил выделить периоды экстремальных и промежуточных климатических состояний в позднемеловое время.

Ключевые слова: поздний мел, фораминиферы, танатоценозы, Индийский океан палеотемпературы, палеоклимат, климатическая зональность, палеошироты, водные массы

DOI: 10.31857/S0030-15745961074-1085

ВСТУПЛЕНИЕ

Основной темой наших исследований на протяжении последних тридцати лет является реконструкция палеоклиматических условий, существовавших в меловое время, по планктонным фораминиферам (ПФ). Последовательность этой работы, в соответствии с методом актуализма, ведется от молодых и, следовательно, более изученных временных срезов к более древним. Обычно, когда мы приступали к исследованию очередного стратиграфического интервала, климатическая природа многих видов ПФ уже была выявлена раньше при изучении более молодых срезов. Благодаря этому, положение данных видов в климатическом ряду сомнений не вызывало. Однако для ряда стратиграфических срезов выяснить климатическую природу некоторых ПФ оказалось несколько трудно из-за смены их видового, а иногда даже родового состава. Именно об этих переломных рубежах в развитии биоты позднемеловых ПФ пойдет речь в этой работе. Климатические колебания в Южной части Индийского океана и изменения систематического состава ПФ в течение позднего мела были отмечены рядом исследователей [21, 26, 29, 30, 36, 39].

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Результаты глубоководного бурения [32, 34, 37, 38, 40, 43, 45, 51, 52] показали, что позднемеловые отложения, обогащенные раковинами ПФ, вскрыты в Южной части Индийского океана, омывающей западный берег Австралии, в рейсах № 26, 27, 28, 119, 120 и 122, двенадцатью скважинами (рис. 1, таблица).

Фактическим материалом для наших исследований послужили 680 образцов из кернов этих скважин. Образцы из кернохранилищ США были предоставлены руководством Проекта глубоководного бурения представителю от СССР в этом проекте Н.А. Богданову. Кроме того, В.Н. Беньямовский любезно передал автору 350 образцов, отобранных доктором Ф. Плайтордом из двух разрезов окраинных шельфовых морей Австралии (рис. 1).

Помимо этого в работе использовались видовые списки планктонных фораминифер с данными о количественном и полуколичественном распределении видов, опубликованные для разрезов Австралии [22, 23, 24, 41, 42] и для ряда скважин глубоководного бурения [32, 43, 44].

Лабораторная обработка образцов проводилась по методике, разработанной Барашом [1].

Образцы пород размачивались в воде, в случае необходимости подвергались дроблению и кипячению в воде. Образцы промывались через мельничный газ с размером ячеек 50 мкм. В отмытых порошках под биноклем определялся видовой состав фораминифер и проводился количественный анализ комплексов раковин ПФ.

Из всего обработанного материала были определены виды ПФ раннемаастрихтского, кампанского, сантонского, коньякского, туронского и сеноманского возрастов. На первом этапе работы в климатические группы был объединены раннемаастрихтские ПФ (фаза *Globotruncana tricarinata*) [6, 10]. Для выполнения климатических реконструкций применялись некоторые положения методов [2, 21, 31], базирующихся на актуалистическом подходе. Однако полностью использовать упомянутые методы для работы с позднемеловым материалом оказалось невозможно. Приходилось учитывать, что природные условия мела очень сильно отличаются от условий, существовавших в Кайнозой, и вносить изменения и поправки в упомянутый метод. Согласно нашей методике [4, 10], все раннемаастрихтские ПФ были подразделены на три климатические группы, названные, по аналогии с современными, умеренной, субтропической и тропической. Виды со сходными ареалами и районами максимального обилия раковин относятся к одной климатической группе. Дальнейшее исследование показало, что даже в пределах одной климатической группы районы максимального обилия раковин разных видов несколько смещаются по отношению к экватору. Это позволило выстроить виды раннемаастрихтских ПФ в климатический ряд от самого тепловодного к самому холодноводному [10]. Далее для каждой скважины и каждого разреза подсчитывалось соотношение раковин ПФ, относящихся к разным климатическим группам. По показателю этих соотношений выделялись типы танатоценозов ПФ. Так как танатоценозы отражают температурные условия, соответствующие водным массам, в которых они формировались, на основании их пространственного распространения можно построить карты климатической зональности, что и было сделано для стратиграфического среза раннего маастрихта. Выполненные реконструкции подтверждаются данными изотопноокислородного анализа [54], для которого использовались раковины ПФ: *Globotruncanita stuartiformis* (Dalbiez), *Planoglobulina multicamerata* de Klasz

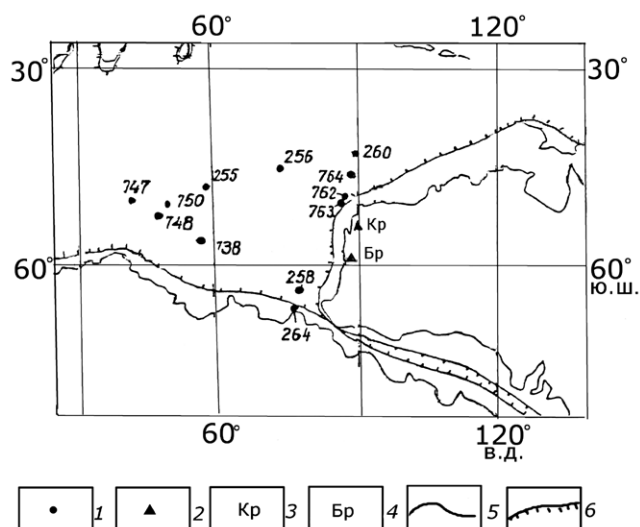


Рис. 1. Расположение скважин и разрезов в пределах изученного региона:

1 — скважины глубоководного бурения; 2 — разрезы; 3, 4 — названия разрезов: 3 — Карнарвон, 4 — Берк; 5 — границы современных континентов; 6 — границы шельфа.

Таблица. Скважины, вскрывающие отложения, обогащенные раковинами ПФ

№ рейсов	№№ скважин	Использованная литература
26	255	[32]
	256	[32]
	258	[32]
27	260	[40]
28	264	[37]
199	738	[34]
120	747	[45, 51]
	748	[45, 51]
	750	[45, 51]
122	762	[43]
	763	[43, 52]
	764	[38]

и *Globigerinelloides volutus* (White). Эти раковины были отобраны нами из скважин Северной Атлантики (скважины 95, 98, 390 А) и на Фолклендском плато (скв 516F). Полученные оценки палеотемператур поверхностных вод в этих регионах не превышают 15°C. Там в раннем маастрихте были развиты бореальный и австралийский типы танатоценоза.

В дальнейшем аналогичная работа была проделана последовательно для четырех срезов кампана

[11], трех — сантона [7], для среза коньяка [12], четырех срезов турона [13, 19, 20] и трех — сеномана [14–18]. Карты строились на палинспастических основах, разработанных Зоненшайном с соавторами [5]. Палеокоординаты новейших скважин уточнялись по реконструкциям С. Р. Скотиза [49, 50]. Использовались собственные и опубликованные оценки палеотемператур, полученные в результате изотопно-кислородного анализа [25, 27, 33, 35, 53, 54]. Для каждого изученного стратиграфического интервала был построен климатический ряд, в котором положение каждого вида не меняется с момента появления до времени его полного исчезновения. Это объясняется тем, что чувствительность определенного вида к тем или иным условиям среды не меняется за все время существования вида; при установлении оптимальных условий вид увеличивает свою численность, при ухудшении — сокращает или полностью вымирает [9]. Это обстоятельство весьма упрощало нашу работу в тех случаях, когда переход от одного временного среза к другому сопровождался плавным, последовательным изменением видового состава ПФ. Трудности при построении климатического ряда возникали, когда на границе того или иного временного среза резко менялся видовой, а иногда даже родовой состав ПФ.

Распределение ПФ в разрезах изучаемого региона. Кампанские отложения, обогащенные раковинами фораминифер, вскрыты в изучаемом регионе двумя разрезами окраинных шельфовых морей Австралии и девятью скважинами глубоководного бурения (скважины 255, 264, 738, 747, 748, 750, 762, 763, 764) (рис. 1). Большинство кампанских видов ПФ продолжили свое существование в маастрихте, и, следовательно, их климатическая природа была уже выявлена. Положение этих видов в климатическом ряду сомнений не вызывало. Некоторые виды из рода *Pseudoguembelina*, например *Pseudoguembelina costulata* (Cushman), в кампанских отложениях встречались только в нескольких скважинах, то есть относились к категории видов узкого широтного распространения. Их климатическую принадлежность удалось установить только благодаря тому, что в маастрихте они имели статус широко распространенных видов. Стратиграфическая граница маастрихтского и кампанского ярусов проходит согласно стратиграфической шкале Робашинского и Карон [47] через отложения зоны *Gansserina gansseri*, соответствующие временному срезу 71.3 млн лет. Появление видов *Abathomphalus intermedius* (Bolli), *Racemguembelina*

fructicosa (Egger) и исчезновение широко распространенных в кампане видов *Rosita fornicata* (Plummer), *Globotruncana bulloides* Vogler, *G. ventricosa* White, *Globotruncanita subspinosa* (Pessagno), *Globigerinelloides praeriehillensis* Pessagno позволяет проследить эту границу. Положение в климатическом ряду последних пяти видов было выявлено путем сравнения ареалов их распространения в позднем кампане с ареалами видов, положение которых уже известно. Например, ареал вида *Globotruncana ventricosa* совпадает с ареалами *Globotruncana aegyptiaca* Nakkady и *Globotruncana esnehensis* Nakkady в позднем кампане. Районы максимальной концентрации раковин этих трех видов наблюдаются в одних и тех же скважинах. Климатическая природа двух последних видов была установлена при изучении раннемаастрихтских отложений. Это позволяет отнести вид *Globotruncana ventricosa* к субтропической группе и определить его место в климатическом ряду. Вид *Globigerinelloides bollii* Pessagno отнесен к умеренной группе на том основании, что он имеет сходный ареал и район максимальной концентрации раковин с видами *Globigerinelloides impensus* Sliter и *Heterohelix pulchra* (Cushman), климатическая природа которых уже установлена.

В результате проведенных исследований установлен следующий состав климатических групп в кампане (виды ПФ приводятся в порядке уменьшения теплопроводности, в соответствии с их положением в климатическом ряду):

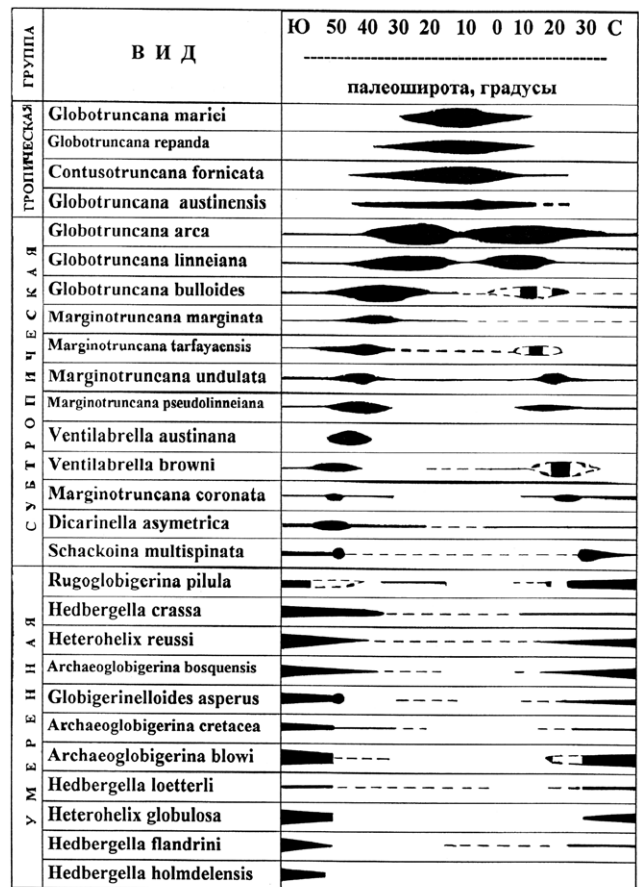
- тропическая группа: *Pseudoguembelina costulata* (Cushman), *Rosita plummerae* (Gandolfi), *Globotruncana rosetta* (Carsey), *Rugotruncana subcircumnadifer* Gandolfi, *Rosita patelliformis* (Gandolfi), *Globotruncana ventricosa* White, *Rosita fornicata* (Plummer), *Globotruncana linneiana* (Orbigny);
- субтропическая группа: *Globotruncana arca* (Cushman), *Globotruncanita atlantica* (Caron), *Globotruncana orientalis* El Nagggar, *Globotruncanita calcarata* Cushman, *Globotruncana bulloides* Vogler, *Globotruncanita stuartiformis* (Dalbiez), *Rugoglobigerina rugosa* (Plummer), *Globotruncanita subspinosa* (Pessagno), *Globotruncana stephensoni* Pessagno, *Globotruncana lapparenti* Brotzen, *Ventilabrella austinana* Cushman, *Globotruncana hilli* Pessagno, *Ventilabrella browni* Martin, *Ventilabrella glabrata* Cushman, *Ventilabrella monuelensis* Martin, *Schackoina multispinata* (Cushman and Wickenden), *Globotruncanita elevata* (Brotzen), *Rugoglobigerina pilula* Belford, *Ventilabrella riograndensis* Martin;

- умеренная группа: *Globigerinelloides multispinatus* (Lalicker), *Globigerinelloides prairiehillensis* Pessagno, *Heterohelix punctulata* (Cushman), *Globigerinelloides bollii* Pessagno, *Heterohelix pulchra* (Brotzen), *Globigerinelloides impensus* Sliter, *Globigerinelloides asperus* (Ehrenberg), *Heterohelix striata* (Ehrenberg), *Heterohelix globulosa* (Ehrenberg), *Hedbergella monmouthensis* (Olsson), *Hedbergella holmdelensis* Olsson, *Globigerinelloides volutus* White.

Видовой состав ПФ изменялся в течение кампана достаточно плавно. Для каждого из четырех временных срезов кампана была реконструирована климатическая зональность [11]. Анализ построенных карт показал, что изучаемая акватория на протяжении большей части кампанского разреза (за исключением начала позднего кампана) характеризуется австралийным типом танатоценоза. Комплексы ПФ характеризуются обедненным видовым и особенно родовым составом (не более 5 родов и 12–13 видов). Из них не менее 9 — виды умеренной группы. Численность их раковин доходит до 65%. Наряду с видами умеренной группы встречаются субтропические виды. Это, главным образом, вентилабреллы и бескилевые, слабо скульптурированные глоботрунканиды. Важнейшая черта австралийного типа танатоценоза — полное отсутствие видов тропической группы. Севернее 50° ю. ш. (здесь и далее имеются в виду палеошироты) в отложениях вскрытых скважинами 255, 747, 762 и 764 был развит переходный теплоавстралийный подтип танатоценоза. Он тоже характеризуется низким видовым разнообразием ПФ (13–15 видов), но наряду с умеренно теплыми и субтропическими видами там встречаются виды тропической группы. В начале позднего кампана теплоавстралийный подтип танатоценоза распространился до 60° ю. ш. Это свидетельствует о некотором кратковременном потеплении. В конце позднего кампана началось резкое похолодание, которое продолжилось в маастрихте. Северная граница австралийной зоны сместилась до 45° ю. ш. [11]. Позднекампанское похолодание зафиксировано данными В. Н. Беньямовского с соавторами [3] и рядом других исследователей [26, 29, 30]. Аналогичный бореальный тип танатоценоза был выявлен [11] в Северной Атлантике (скважины 98, 390А и 392А) и подтвержден собственными данными изотопного анализа [54].

При изучении сантонских отложений (зона *Dicarinella asymetrica*) [28] ПФ были найдены в образцах из двух разрезов и из кернов шести скважин (скважины 255, 258, 260, 762, 763, 764) (рис. 1). Когда мы обработали фактический ма-

териал с целью реконструкции климатической зональности сантона, выяснилось, что верхняя стратиграфическая граница последнего прослеживается достаточно ясно [7]. На стыке зон *Dicarinella asymetrica* и *Globotruncanita elevata* вымерли восемь сантонских видов и появились шесть кампанских. Причем смена видового состава на стыке зон *Dicarinella asymetrica* и *Globotruncanita elevata* [28] происходит не только среди тепловодных видов ПФ, состав умеренной группы тоже меняется. Несколько необычные ареалы распространения и районы максимальной концентрации раковин наблюдались у представителей рода *Dicarinella* и *Marginotruncana*, не встречающихся в более молодых отложениях. Пришлось проводить детальное сравнение карт их широтного распределения с картами всех видов, переживших сантон-кампанскую границу. В результате проведенных исследований для позднего сантона был построен климатический ряд (рис. 2).



Масштаб, % 10
0
10

Рис. 2. Климатические группировки видов планктонных фораминифер в позднем сантоне (зона *Dicarinella asymetrica*).

Исследуемый регион полностью находится в южном полушарии, однако на рисунках (здесь и далее) для сравнения приведены ареалы распространения видов ПФ не только в южных, но и в северных палеоширотах. Рассматриваемый климатический ряд весьма типичен для позднего мела. Виды ПФ, относящиеся к умеренной группе, встречаются по всей акватории океана. Их единичные экземпляры отмечены даже в самых низких широтах. Однако районы максимальной концентрации их раковин сосредоточены только в высоких широтах (рис. 2). Виды субтропической группы достаточно широко распространены во всех изученных разрезах. Районы максимальной концентрации их раковин по мере увеличения теплолюбивости вида смещаются все ближе к экватору и постепенно выходят за пределы рассматриваемой нами акватории. Виды тропической группы встречаются только в северной части изучаемого региона. Они имеют один район максимальной концентрации раковин, расположенный в низких широтах. Для каждой скважины и каждого разреза верхнего сантона было подсчитано соотношение раковин ПФ, относящихся к разным климатическим группам, и по показателю этих соотношений выделены типы танатоценозов. Выяснилось, что на большей части изучаемого региона в сантоне была развита теплоавстральная подзона. Ее южная граница намечалась в районе скважины 258. Северная граница теплоавстральной подзоны проходила на палеошироте 50° ю.ш., севернее намечалась промежуточная зона.

Отложения верхней части зоны *Dicarinella concavata* [28] (скважины 258, 762, 763) (рис. 1), включающие в себя весь коньякский ярус, весьма обильно обогащены раковинами ПФ. На стыке зон *Dicarinella concavata* и *Dicarinella asymetrica* систематический состав ПФ обогатился шестью сантонскими видами. В изучаемом регионе возросло значение видов субтропической группы. Некоторые представители родов *Dicarinella*, *Marginotruncana* и *Whiteinella* закончили свое существование в раннем сантоне, и, следовательно, их климатическая природа не могла быть выяснена при изучении более молодых стратиграфических срезов. Для этих видов проводилось детальное сравнение карт их широтного распределения с картами всех видов, положение которых в климатическом ряду сомнений не вызывало. Дальнейшая обработка фактического материала показала, что вниз по разрезу в мощной толще коньякских

отложений содержится более 30 широко распространенных видов ПФ [12], представленных большим количеством раковин преимущественно хорошей сохранности. Все эти виды были отнесены к той или иной климатической группе. Климатический ряд получился полный с ярко выраженными районами максимальной концентрации раковин. Он несколько отличался от приведенного выше сантонского ряда. Районы максимальной концентрации раковин видов ПФ умеренной и субтропической групп повсеместно смешены к экватору на 5–6°. Причем «проблемных» видов ПФ, климатическая природа которых не была установлена при изучении более молодых стратиграфических срезов, на коньяк-сантонской границе оказалось очень мало [12]. В южной части Индийского океана на всей изучаемой акватории господствовал австральный тип танатоценоза. Граница австралийской и промежуточной зон в изученном регионе проходила на широте 45° ю.ш. (скв. 764). Там наряду с видами умеренной группы встречаются термофильные виды. По данным фораминиферового анализа, относительное похолодание продолжалось на протяжении всего коньякского и раннесантонского времени. Миграция климатических зон в этот период практически не происходила. Только в районе северной границы австралийской зоны периодически появлялись области, характеризующиеся переходным теплоавстральным танатоценозом ПФ. Несмотря на обилие фактического материала, реконструировать климатическую зональность удалось только для коньяк-нижнесантонской толщи в целом. Для остальных стратиграфических срезов позднего мела наши реконструкции выполнялись с гораздо большей степенью детальности. В течение коньяк-раннесантонского времени видовой состав ПФ менялся очень плавно. По некоторым литературным данным [46, 48], коньякский ярус подразделяется на нижний и верхний. Граница проводится по появлению вида *Archaeoglobigerina blowi* Pessagno, *Archaeoglobigerina bosquensis* (Pessagno), *Pseudoguembelina costulata* (Cushman) и исчезновению видов *Dicarinella imbricate* (Mornod), *Whiteinella paradubia* (Sigal). На основании нашего материала проследить эти изменения в видовом составе ПФ пока, к сожалению не удалось. Может быть, это удастся сделать в дальнейшем, после обработки нового материала. Ф.П. Фалзони с соавторами отмечает в районе юго-восточной Танзании похолодание, которое пришло

на смену «парниковому туронскому температурному максимуму [29, 30].

Туронские отложения, обогащенные раковинами ПФ, вскрыты в изучаемом регионе разрезом Карнарвон и скважинами глубоководного бурения (скважины 258, 750, 762, 763) (рис. 1). Для изучения были выбраны четыре стратиграфических среза, соответствующие [47] началу нижнего турона (верхи зоны *Whiteinella archaeocretacea*), концу нижнего турона (зона *Helvetoglobotruncana helvetica*), среднему (зона *Marginotruncana schneegansi*) и позднему турону (основание зоны *Dicarinella concavata*). Систематический состав ПФ в течение турона несколько изменялся. Последовательное сравнение выбранных срезов позволяет проследить развитие природных процессов в динамике [13, 19, 20]. Построенный для турона климатический ряд значительно меняет свой облик на стыке зон *Dicarinella concavata* и *Marginotruncana schneegansi* [33] (конец среднего турона) (рис. 3). Состав ПФ в позднем туроне обогащается видами *Marginotruncana bouldinensis* Pessagno, *M. pseudolinneiana* Pessagno, *M. paraconcavata* Porthault, *Dicarinella concavata* (Brotzen), *Dicarinella primitiva* (Dalbiez), *Hedbergella flandrini* Porthault. В изучаемом регионе в позднем туроне районы максимального обилия раковин умеренной группы отмечены в районе 55–60° ю.ш. Виды субтропической группы (преимущественно представители рода *Marginotruncana*) встречаются во всех изученных разрезах, максимальная концентрация их раковин наблюдается в районе 40–50° ю.ш. (рис. 3). Южная граница промежуточной зоны намечалась в позднем туроне на палеошироте 55–60° ю.ш. (скважины 258, 750 В). Промежуточный танатоценоз был выявлен в отложениях скважин 762, 763 и в разрезе шельфового бассейна Австралии, в районе скв. 762 проходила северная граница промежуточной зоны.

Среднетуронский климатический ряд существенно отличается от всех описываемых ранее рядов. Виды умеренной группы встречаются в изучаемом регионе только как единичные. Районы их максимальной концентрации не отмечены даже в самых высоких широтах, максимальная концентрация некоторых видов субтропической группы наблюдается южнее 60° ю.ш. (рис. 4). На большей части изучаемого региона господствовала промежуточная климатическая зона. Промежуточный тип танатоценоза выявлен даже в отложениях скв. 258. Северная грани-

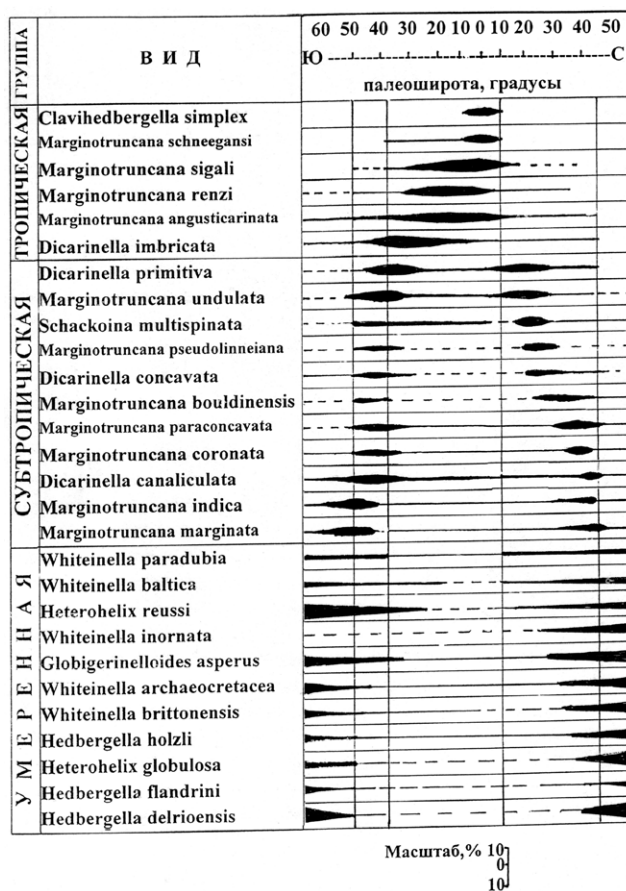


Рис. 3. Климатические группировки видов планктонных фораминифер в позднем туроне (зона *Dicarinella concavata*).

ца промежуточной зоны проходила между скважинами 763 и 762.

Вниз по разрезу на стыке зон *Helvetoglobotruncana helvetica* и *Marginotruncana schneegansi* (начало среднего турона) [47] систематический состав ПФ меняется незначительно. Однако, по сравнению со средним туроном, районы максимальной концентрации раковин субтропической и тропической групп сдвинуты в изучаемом регионе к югу на 10° (рис. 5). Соотношение количества раковин ПФ тропической и субтропической групп в скважинах 762, 763 и в разрезах шельфовых морей Австралии характерно для тетического типа танатоценоза. Южная граница тетической зоны в начале раннего турона проходила на палеошироте 50° ю.ш. Раннетуронское потепление в рассматриваемом регионе подтверждается данными ряда исследователей [26, 30, 36].

В сеноманских отложениях раковины ПФ в изучаемом регионе встречаются в образцах из кернов скважин 256, 258, 260, 750,

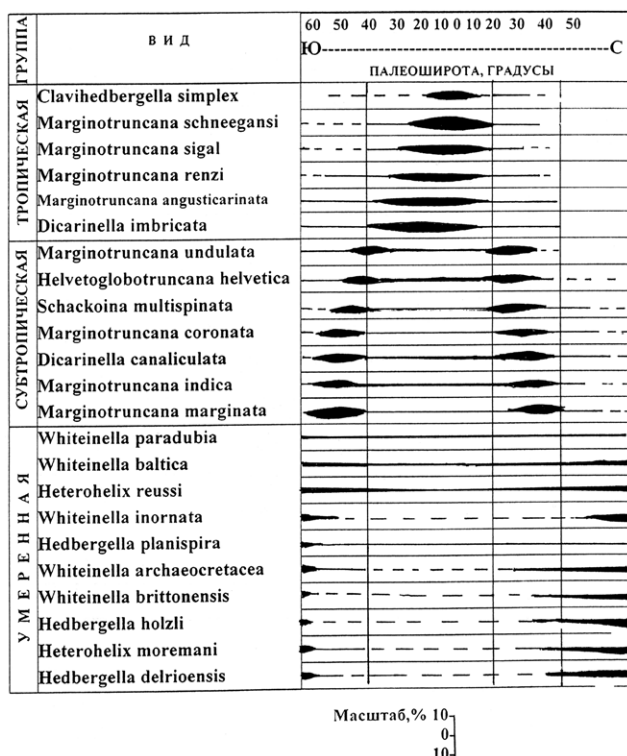


Рис. 4. Климатические группировки видов планктонных фораминифер в среднем туроне (зона *Marginotruncana schneegansi*).

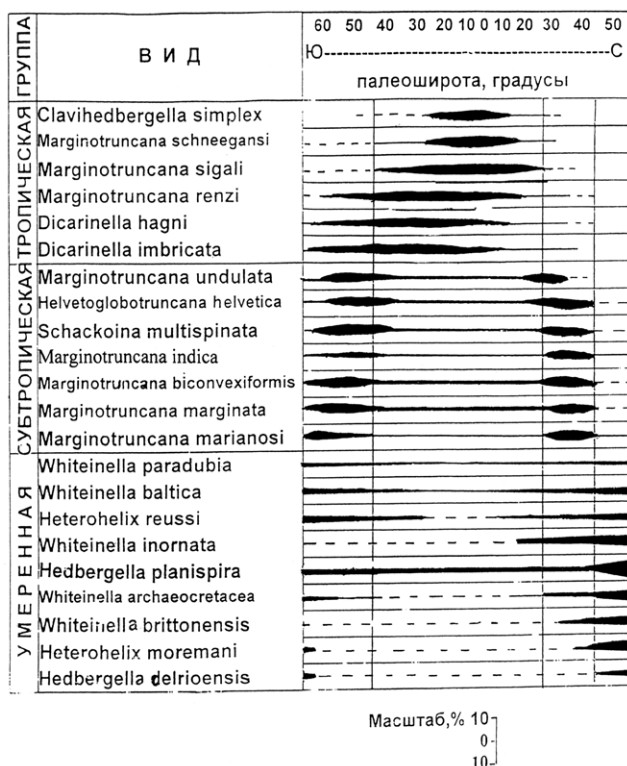


Рис. 5. Климатические группировки видов планктонных фораминифер в конце раннего турона (зона *Helvetoglobotruncana helvetica*).

762, 763 и в разрезе Карнарвон (рис. 1). По ПФ сеноманские отложения подразделяются на три среза, соответствующие [47] нижнему (зона *Rotalipora globotruncanoides*), среднему (зона *Rotalipora reicheli*) и верхнему сеноману (зона *Rotalipora cushmani*).

Верхняя граница сеномана очень хорошо иллюстрируется микропалеонтологическими данными и весьма четко прослеживается по всей акватории [14, 18]. Широко распространенных в сеномане видов ПФ полностью вымирают, а на их место приходят 18 туронских видов. Полностью исчезла группа однокилевых роталипорид. Эта группа доминировала на протяжении всего сеномана. Вымирание ее связывают с широким развитием в океанических и даже в некоторых эпиконтинентальных бассейнах «Океанского бескислородного события (ОАЕ 2)» [8, 39], которое произошло на рубеже сеноманского и туронского веков. Именно благодаря этому событию в ассоциациях ПФ возросло значение видов *Dicarinella hagni* (Scheibnerova) и *D. imbricate* (Mornod), появились, стали бурно развиваться и доминировать различные виды рода *Marginotruncana* (рис. 5, 6). Появление в разрезах форм с вытянутыми удлиненными камерами также

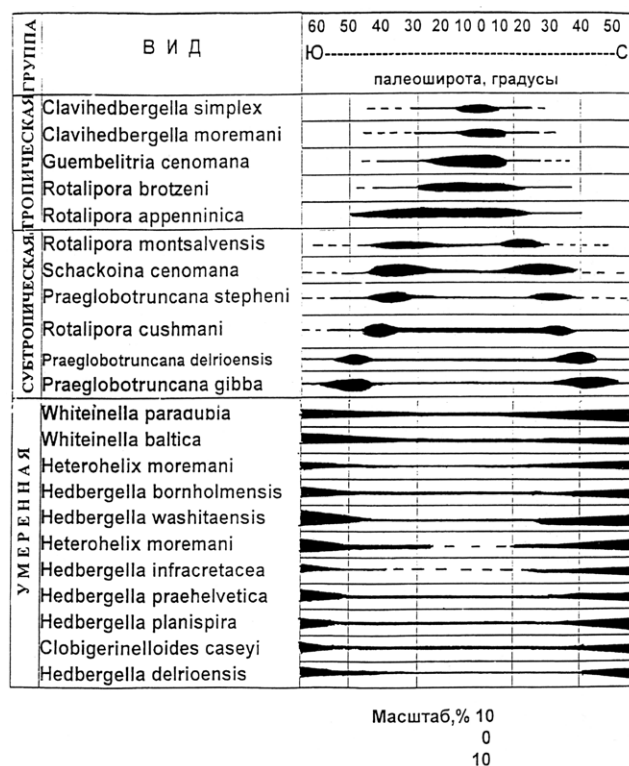


Рис. 6. Климатические группировки видов планктонных фораминифер в позднем сеномане (зона *Rotalipora cushmani*).

связывают с проявлением ОАЕ 2. Они появляются там, где пригодным для обитания становится только верхний слой воды, а удлиненные камеры и тонкостенная раковина повышают плавучесть форм [8]. Недаром повышенное содержание в ассоциациях ПФ подобных таксонов приурочено к уровням бескислородных событий апта (событие Selli), сеноманан-туронской границы (событие Bonarelli). Исследование остальных поздне меловых срезов такого глобального изменения видового состава ПФ не показало. Кроме обстановок дефицита кислорода в южной части Индийского океана, состав танатоценозов ПФ позволяет установить, что начало турона ознаменовалось существенным потеплением. Систематический состав ПФ на верхней границе сеномана резко изменился. Различные виды маргинотрункан, составлявшие в туроне 80% от общей численности раковин видов субтропической группы, в сеномане полностью отсутствовали. То же можно сказать и о дикаринелах, которые были весьма широко распространены в тропической группе турона. Зато в сеномане господствовали разнообразные представители роталипор, которые в более молодых отложениях не встречались и, следовательно, их климатическая природа установлена не была. Для каждого широко распространенного вида из рода *Rotalipora* была построена карта ареала его распространения. По методу актуализма проводилось сравнение ареалов видов, вымерших в конце сеномана, с ареалами видов, климатическая природа которых уже определена для более молодых срезов. В результате проведенных исследований установлен состав климатических групп для позднего сеномана. Построенный климатический ряд (рис. 6) весьма отличается от туронского. Видовой состав ПФ резко изменяется. Кроме того, в сеноманском ряду виды умеренной группы имеют в изученном регионе четко выраженные районы максимальной концентрации раковин. Виды субтропической группы весьма широко распространены по всей акватории океана как в сеномане, так и в туроне. Однако в сеномане районы их максимальной концентрации смещены к низким широтам. В изучаемом регионе обилие раковин субтропической группы отмечено в верхнем сеномане только в разрезах скважин 256, 260 и 762. Южную часть изучаемой акватории занимает в позднем сеномане австралийская зона. Ее северная граница проходит в районе 50–55° ю. ш. Вниз по разрезу на протяжении среднего и нижнего сеномана системати-

ческий состав ПФ изменялся плавно. В высоких широтах Южного полушария в позднем сеномане несколько расширился систематический состав видов умеренной группы. Многие представители рода *Hedbergella* получили широкое распространение только в позднем сеномане. С построением среднесеноманского климатического ряда серьезных проблем не возникло. Подавляющее большинство видов ПФ продолжили свое существование в позднем сеномане и, следовательно, их климатическая природа была уже выявлена раньше. Помимо увеличения общего количества видов ПФ в позднем сеномане, сравнение полученных рядов показало, что в течение рассматриваемого промежутка времени районы максимальной концентрации раковин ПФ постепенно смещались в сторону Южного полюса. Виды неясной климатической природы встречались достаточно редко. Виды умеренной группы в течение раннего и среднего сеномана были весьма широко распространены в южной части изучаемого региона. Численность видов субтропической группы увеличивалась в разрезах скважин 260, 762 и в разрезах шельфовых морей Австралии. Однако районы максимальной концентрации раковин субтропической группы располагались в среднем и раннем сеномане севернее изучаемой акватории. В среднем сеномане граница австралийской и теплоавстралийской зон проходила через скв. 762 и разрез Карнарвон на палеошироте 55° ю. ш. В раннем сеномане она была смещена на 5° к северу. Теплоавстралийский тип танатоценоза развит в раннем сантоне только в отложениях, вскрытых скв. 260. На всей остальной изученной акватории, включая разрезы шельфовых морей Австралии, господствует австралийский тип танатоценоза, что весьма характерно для позднего мела.

ЭВОЛЮЦИЯ КЛИМАТА ЮЖНОЙ ЧАСТИ ИНДИЙСКОГО ОКЕАНА В ПОЗДНЕМ МЕЛУ

Исследование поздне меловых отложений, развитых в Южной части Индийского океана и окраинных шельфовых морей Австралии, показало, что для определенных этапов поздне меловой эпохи были свойственны экстремальные климатические состояния океанической среды, которые чередовались с промежуточными, спокойными интервалами.

Сеноманский век был временем, благоприятным для существования ПФ. Их системати-

ческий состав изменялся достаточно плавно. Незначительная миграция климатических зон в сторону Южного полюса свидетельствует о вялой, зародившейся в среднем сеномане тенденции к потеплению. Значительную часть изучаемой акватории в сеномане занимала австралийская зона. Ее северная граница переместилась в течение сеномана от 50° до 55° ю. ш. Севернее был развит переходный теплоавстралийский танатоценоз. Только в самом конце сеномана австралийская зона граничила с более тепловодной промежуточной зоной.

Граница сеномана и турона ознаменовалась «Океанским бескислородным событием (ОАЕ 2)», которое привело к значительным изменениям в структуре комплексов ПФ. Кроме того, начало турона отмечено стремительным потеплением. Потепление создавало благоприятную среду для появления и расселения новой группы ПФ — маргинотрунканид. В начале раннего турона на большей части изучаемого региона господствовала промежуточная климатическая зона. Это весьма нехарактерно для столь высоких широт. Севернее 50° ю. ш. намечалась уже тетическая зона. В конце раннего и в среднем туроне существенные климатические колебания не наблюдались. Систематический состав ПФ изменялся плавно. К концу раннего турона потепление несколько усилилось. Южная граница тетической зоны сместилась на 5° к югу, а в среднем туроне снова прослеживалась на палеошироте 50° ю. ш.

В конце среднего турона параметры окружающей среды, вероятно, несколько изменились, что нашло свое отражение в структуре комплексов ПФ. В позднем туроне в изучаемом регионе еще было достаточно тепло, что не свойственно для высоких широт, но по сравнению со средним туроном стало несколько прохладней. Промежуточная климатическая зона сузилась и заняла акваторию от 60 до 50° ю. ш. Южнее был развит теплоавстралийский танатоценоз.

На турон-коньякской границе резкой смены систематического состава ПФ не отмечено. Однако начавшееся в позднем туроне похолодание продолжилось. В начале коньякского века климатические зоны в южной части Индийского океана сместились к экватору. Граница австралийской и промежуточной зон проходила на палеошироте 45° ю. ш. На протяжении всего коньяк-раннесантонского времени картина существенно не менялась. Это было спокойное благоприятное для биоты ПФ межкризисное время.

На стыке раннего и позднего сантона снова произошли некоторые климатические колебания, повлекшие за собой изменение систематического состава ПФ на видовом и даже родовом уровне. В результате похолодания, существовавшие на протяжении всего коньяк-раннесантонского времени, сменилось потеплением в южной части изучаемого региона. Австралийская зона не распространялась севернее 60° ю. ш. От 60 до 50° ю. ш. в течение всего позднего сантона господствовал переходный теплоавстралийский тип танатоценоза.

Нижняя граница кампана отмечена некоторой кризисной ситуацией. Вымерли восемь сантонских видов и появились шесть кампанских. Причем наряду с чувствительными к изменениям окружающей среды представителями субтропической и тропической климатических групп вымирали ПФ, относящиеся к умеренной группе. Смена климатического режима повлекла за собой очередную миграцию климатических зон. Теплоавстралийский, обогащенный термофильными видами ПФ подтип танатоценоза в кампане был развит только севернее 50° ю. ш. На всей остальной изученной акватории господствовала австралийская климатическая зона. Только в начале позднего кампана ее южная граница сместилась на 10° к югу, что свидетельствует о кратковременном потеплении. В конце позднего кампана началось резкое похолодание, которое продолжилось в маастрихте. Северная граница австралийской зоны сместилась до 45° ю. ш.

ВЫВОДЫ

На основе анализа фактического материала и изучения литературных данных можно сказать, что климат в южной части Индийского океана был мягким и однородным. В течение поздне-меловой эпохи резкая смена природных условий наблюдалась редко. Характеристики типов водных масс оставались постоянными на протяжении длительных временных интервалов. Постоянными оставались и танатоценозы ПФ, выявленные в соответствующих отложениях.

Однако спокойные временные интервалы прерывались экстремальными климатическими состояниями океанической среды.

Всплески экстремальных состояний были вызваны изменениями условий окружающей среды, которые влекли за собой изменения характеристик типов водных масс в океане и, как следствие, смену систематического состава ПФ,

то есть смена климатических режимов влекла за собой биотические кризисы.

1. Наиболее глобальные изменения параметров окружающей среды в позднем мелу произошли на границе сеноман-туронского века. Ее можно рассматривать как переломный рубеж в развитии биоты ПФ. Окончание сеномана характеризуется как интервал с пониженным содержанием кислорода в водной толще. ОАЕ 2 существенно меняло характеристику водных масс, оказывая влияние на морфологию раковин ПФ [8]. Произошло массовое вымирание ПФ на родовом уровне. В теплых однородных водных массах раннего турона зародились и начали бурно эволюционировать новые роды ПФ. В южной части Индийского океана появились условия, характерные для промежуточной и даже тетической климатических зон. Это совершенно не характерно для столь высоких широт.
2. Менее значительные климатические колебания наблюдались в конце среднего турона, а также на верхних границах среднего и позднего сантона и в конце позднего кампана. Биота ПФ «ответила» на них изменениями в своем систематическом составе. Происходила миграция границ климатических зон.
3. К промежуточным интервалам позднемеловой эпохи следует отнести середину сеноманского, коньякский, начало сантонского и кампанского веков. В течение этих периодов резкой смены природных условий не наблюдалось. Характеристики типов водных масс оставались постоянными. Систематический состав биоценозов ПФ, сформировавшийся в этих водных массах, также оставался постоянным; состав танатоценозов ПФ, выявленных в соответствующих отложениях, не изменялся. В течение спокойных промежуточных интервалов в изученном регионе господствовала австралийская климатическая зона и теплоавстралийская подзона.

Благодарности. Автор считает своим долгом выразить благодарность руководству Проекта океанического бурения за присланные образцы из кернов скважин глубоководного бурения, а также В. Н. Беньямовскому и доктору Ф. Плайторду за образцы из разрезов окраинных шельфовых морей Австралии.

Источник финансирования. Работа выполнена в рамках государственного задания (тема № 0149-2018-0005).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бараш М. С.* Планктонные фораминиферы в осадках Северной Атлантики. М.: Наука, 1970. 103 с.
2. *Бараш М. С.* Четвертичная палеоокеанология Атлантического океана. М.: Наука, 1988. 272 с.
3. *Беньямовский В. Н., Алексеев А. С., Подгаецкий А. В. и др.* Верхний кампан — нижний маастрихт севера Ростовской области. Статья 2. Условия осадконакопления и палеогеография // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2014. Т. 22. № 5. С. 77-96.
4. *Блюм Н. С., Соколова Е. А.* Климатическая зональность Тихого океана в миоцене по данным анализа комплексов планктонных фораминифер // Бюл. МОИП. Отд. геол. 1987. Т. 62. Вып. 6. С. 116-130.
5. *Зоненшайн Л. П., Савостин Л. А., Седов А. П. и др.* Глобальные палеогеодинамические реконструкции для последних 160 лет // Геотектоника. 1984. № 3. С. 3-16.
6. *Копеевич Л. Ф., Соколова Е. А.* Сравнение ориктоценозов маастрихтских планктонных фораминифер из некоторых скважин Атлантического океана и эпиконтинентальных бассейнов Прикаспия // Океанология. 1992. Т. 32. № 2. С. 316-325.
7. *Копеевич Л. Ф., Соколова Е. А.* Сравнение комплексов сантонских планктонных фораминифер из скважин Атлантического океана и некоторых эпиконтинентальных бассейнов Северного полушария // Бюл. МОИП. Отд. геол. 2003. Т. 78. Вып. 5. С. 60-70.
8. *Копеевич Л. Ф., Горбачик Т. Н.* Морфология раковин меловых планктонных фораминифер как инструмент для моделирования палеообстановок // Палеонтологический журнал. 2017. № 1. С. 3-15.
9. *Оськина Н. С., Иванова Е. В., Блюм Н. С.* Климатическая зональность Атлантического, Индийского и Тихого океанов в плиоцене // Докл. АН СССР. 1982. Т. 264. № 2. С. 400-407.
10. *Соколова Е. А.* Палеоокеанологические реконструкции Тихого океана для конца позднего мела (маастрихт) по планктонным фораминиферам. М., 1998. 174 с. Деп. в ВИНТИ 26.05. 98. № 1351-98.
11. *Соколова Е. А.* Отражение климатической зональности кампана в Мировом океане по планктонным фораминиферам // МОИП. Отд. геол. 2001. Т. 76. Вып. 4. С. 57-61.
12. *Соколова Е. А.* Климатическая зональность Атлантического и Индийского океанов в позднем туроне, коньяке и сантоне по планктонным фораминиферам // Меловая система России: проблемы стратиграфии и палеогеографии / Под ред. Аркадьева В. В. и Прозоровского В. А.. СПб.: НИИЗК СПбГУ, 2005. С. 102-110.
13. *Соколова Е. А.* Отражение климатической зональности турона в Мировом Океане по планктонным фораминиферам // Вестник днепропетровского университета. Серия геологии и географии. 2005. № 8. Вып. 7. С. 3-9.
14. *Соколова Е. А.* Сравнение сеноман-туронских танатоценозов планктонных фораминифер из скважин Океана, разрезов Карпат и некоторых других эпиконтинентальных бассейнов // Проблемы палеонтологии и биостратиграфии Протерозоя и Фанерозоя Украины. Киев: ИГН НАН Украины, 2006. С. 138-144.

15. Соколова Е. А. Отражение климатической зональности сеномана в высоких широтах Южного полушария // Вестник днепропетровского университета. Сер. геологии и географии. 2007. № 11. Вып. 9. С. 54-59.
16. Соколова Е. А., Кочетов О. Ю. Климатическая зональность Атлантического и Тихого океанов в сеномане по планктонным фораминиферам // Материалы седьмого Всероссийского совещания «Меловая система России: проблемы стратиграфии и палеогеографии». Владивосток: Дальнаука, 2014. С. 295-299.
17. Соколова Е. А. Миграция климатических зон в Мировом океане на протяжении сеномана по данным фораминиферового анализа // Материалы III-й Всероссийской научно-практической конференции «Развитие жизни в процессе абиотических изменений на Земле». Иркутск: Из-во ИГ СО РАН, 2014. С. 214-219.
18. Соколова Е. А. Климатическая зональность и биоразнообразие планктонных фораминифер в сеноман-туронском временном интервале // Материалы Всероссийской научно-практической конференции «Геология и биоразнообразие мезозойско-кайнозойских отложений юга России». Горячий Ключ, 2015. С. 151-157.
19. Соколова Е. А. Эволюция климатических зон в Мировом океане на границе раннего и среднего турона по планктонным фораминиферам // Материалы восьмого Всероссийского совещания «Меловая система России: проблемы стратиграфии и палеогеографии». Симферополь: Издательский дом Черноморпресс, 2016. С. 260-263.
20. Соколова Е. А. Климатическая зональность среднего и позднего турона в Мировом океане по планктонным фораминиферам // Материалы Всероссийской научно-практической конференции «Геология и биоразнообразие Тетиса и восточного Паратетиса». Горячий Ключ, 2017. С. 84-90.
21. *Be A. W. H.* An ecological, Zoogeographic and taxonomic review of Recent planktonic foraminifera // *Oceanic micropaleontology*. 4. San-Francisco. 1977. V. 1. P. 1-100.
22. *Belford D. J.* Stratigraphic and micropaleontology of the Upper Cretaceous of Western Australia // *Geol. Rdsh*. 1958. V. 74. № 2. P. 629-647.
23. *Belford D. J.* Upper Cretaceous foraminifera from the Toolonga Calcilulite and Gingin chalk, Western Australia // *Bull. Austral. Bur. Miner. Resour. Geol. and Geophys.* 1960. V. 57. P. 1-198.
24. *Belford D. J.* A probably Coniacian (Late Cretaceous) foraminiferal fauna, Carnarvon Basin, Western Australia // *Bur. Miner. Resour. Aust. Bull.* 1983. V. 217. P. 11-27.
25. *Bice K. L., Huber B. T., Norris R. D.* Extreme polar warmth during the Cretaceous greenhouse // *Paleoceanography*. 2003. V. 18. № 2. P. 1-11.
26. *Briena C. L., Robinson S. A., Pancost R. D. et al.* Cretaceous sea-surface temperature evolution: Constraints from TEX86 and planktonic foraminiferal oxygen isotopes // *Earth-Science Reviews*. 2017. V. 172. P. 224-247.
27. *Clarke L. J., Jenkyns H. C.* New oxygen isotope evidence for long-term Cretaceous climatic change in the Southern Hemisphere // *Geology*. 1999. V. 27. № 8. P. 699-702.
28. *Coccioni R., Premoli Silva I.* Revised Upper Albian-Maastrichtian planktonic foraminiferal biostratigraphy and magnetostratigraphy of the classical Tethyan Gubbio section (Italy) // *Newsletters on Stratigraphy*. 2015. V. 48. № 1. P. 47-90.
29. *Falzone F., Petrizzo M. R., MacLeod K. G., Huber B. T.* Santonian-Campanian planktonic foraminifera from Tanzania, Shatsky Rise and Exmouth Plateau: species depth ecology and paleoceanographic inferences // *Marine Micropaleontology*. 2013. № 103. P. 15-29.
30. *Falzone F., Petrizzo M. R., Clarke L. J. et al.* Late Cretaceous oxygen- and carbon-isotope trends and planktonic foraminiferal turnover: A new record from the southern midlatitudes // *GSA Bulletin*. 2016. V. 128. P. 1725-1735.
31. *Hart M. B.* Climatic moderling in the Cretaceous using the distribution of planktonic Foraminifera // *Climates: Geological Society Special Publications*. 2000. № 181. P. 33-41.
32. *Herb R.* Cretaceous planktonic foraminifera from the Eastern Indian Ocean // *Initial reports of the deep-sea drilling project*. 1974. V. 26. P. 745-796.
33. *Hondt S. D., Arthur M. A.* Deep water in the late Maastrichtian ocean // *Paleoceanography*. 2002. V. 17. № 1. P. 1-11.
34. *Huber B. T.* Maastrichtian planktonic foraminifer biostratigraphy and the Cretaceous/Tertiary boundary at ODP Hole 738C (Kerguelen Plateau, southern Indian Ocean) // *Proc. ODP Sci. Results*. 1991. V. 119. P. 451-465.
35. *Huber B. T., Norris R. D., MacLeod K. G.* Deep-sea paleotemperature record of extreme warmth during the Cretaceous // *Geological Society of America*. 2002. V. 30. № 2. P. 123-126.
36. *Huber B. T., Petrizzo M. R., Watkins D. K. et al.* Correlation of Turonian continental margin and deep-sea sequences in the subtropical Indian Ocean sediments by integrated planktonic foraminiferal and calcareous nannofossil biostratigraphy // *Newsletters on Stratigraphy*. 2017. V. 50. № 2. P. 141-185 (45).
37. Initial reports of the deep-sea drilling project Hole 264. 1975. V. 28. P. 19-48.
38. Initial reports of the deep-sea drilling project Hole 764A. 1990. V. 122. P. 353-384.
39. *Kopaevich L., Vishnevskaya V.* Cenomanian-Campanian (Late Cretaceous) planktonic assemblages of the Crimea-Caucasus area: Palaeoceanography, palaeoclimate and sea level changes // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 2016. № 441. P. 493-515.
40. *Krasheninnikov V. A.* Cretaceous and Paleogene planktonic foraminifera // *Initial reports of the deep-sea drilling project*. 1974. V. 27. P. 663-671.
41. *Mc Gowran B.* Late Cretaceous and Early Tertiary correlations in the Indo-Pacific region // *Geol. Soc. India Mem.* 1968. № 2. P. 335-360.
42. *Mc Gowran B.* Maastrichtian to Eocene foraminiferal assemblages in the Northern and Eastern Indian Ocean region // *Indian Ocean geology and biostratigraphy*. Wash. 1977. P. 417-458.
43. *Petrizzo M. R.* Palaeoceanographic and palaeoclimatic inferences from Late Cretaceous planktonic foraminiferal assemblages from the Exmouth Plateau (ODP Sites 762 and 763, eastern Indian Ocean) // *Marine Micropaleontology*. 2002. № 45. P. 117-150.
44. *Quilty P. G.* Upper Cretaceous planktonic foraminifera and biostratigraphy // *Proc. ODP Sci. Results*. 1992. V. 120. P. 371-392.
45. *Quilty P. G.* Data report: Studies into the paleontology of the Cretaceous of the Indian Ocean basin // *Proc. ODP Sci. Results*. 1992. V. 120. P. 1079-1090.

46. *Robaszynski F.* Planktonic foraminifera // Mesozoic and Cenozoic Sequence Stratigraphy of European Basins, SEPM 1998. Special Publication. 60 p.
47. *Robaszynski F., Caron M.* Foraminifères planktoniques du Crétacé: commentaire de la zonation Europe-Méditerranée // Bull. Soc. Geol. France. 1995. V. 166. № 6. P. 681-692.
48. *Robaszynski F., Gonzalez J., Linares D. et al.* Le Crétacé supérieur de la région de Kalaatsenân, Tunisie Centrale. Litho-Biostratigraphie intégrée. // Bull. Centres Rech. Explor.-Prod. 2000. V. 22. № 2. P. 359-490.
49. *Scotese C.R., Gahagan L.M., Larson R.L.* Plate tectonic reconstructions of the Cretaceous and Cenozoic ocean basins // Tectonophysics. Amsterdam, 1988. № 155. P. 27-48.
50. *Scotese C.R.* Jurassic and Cretaceous plate tectonic reconstructions // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. 1991. № 87. P. 493-501.
51. *Watkins D.K., Patrick G.Q., Mohr B.A. et al.* Paleontology of the Cretaceous of the Kerguelen Plateau // Proc. ODP Sci. Results. 1992. V. 120. P. 951-960.
52. *Wonders A.A.H.* Cretaceous planktonic foraminiferal biostratigraphy, Leg 122, Exmouth Plateau, Australia // Proc. ODP Sci. Results. 1992. V. 122. P. 587-599.
53. *Zakharov Y.D., Smyshlyaeva O.P., Shigeta Y. et al.* Reconstruction of Campanian Sea Surface Temperatures: Evidence from New Isotopic Data // Sixth International Symposium of IGCP 434: Cretaceous Geology and resources in South and East Asia and adjacent areas. Hanoi, 2004. P. 114-122.
54. *Zakharov Y.D., Popov A.M., Shigeta Y. et al.* New Maastrichtian oxygen and carbon isotope record: Additional evidence for warm low latitudes // Geosciences Journal. 2006. V. 10. № 3. P. 339-359.

THE CRUCIAL BOUNDARIES IN THE DEVELOPMENT OF THE LATE CRETACEOUS BIOTA OF PLANKTON FORAMINIFERS IN THE SOUTHERN PART OF THE INDIAN OCEAN

© 2019 E. A. Sokolova

Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia
e-mail: sokolova@ocean.ru

Received November 27, 2017

Revised version received June 16, 2019

After revision June 18, 2019

The article analyzes own data on the species composition of shells of planktonic foraminifera from the Upper Cretaceous sediments of the Indian Oceans, as well as from the sections of the offshore seas of Australia. The species of planktonic foraminifera are grouped and arranged in a climatic series. An analysis of the change in the systematic composition of foraminifera made it possible to distinguish periods of extreme and intermediate climatic states in the Late Cretaceous.

Keywords: Late Cretaceous, foraminifera, tanatocenoses, Indian Ocean, paleotemperature, paleoclimate, climatic zonation, paleolatitudes, water masses