

## КЛИМАТИЧЕСКАЯ ЗОНАЛЬНОСТЬ ЮЖНОГО ПОЛУШАРИЯ В КАМПАНСКОЕ ВРЕМЯ ПО ДАННЫМ ИЗУЧЕНИЯ ПЛАНКТОННЫХ ФОРАМИНИФЕР

Соколова Е.А.

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, 117997, Москва,  
Нахимовский проспект, д. 36, e-mail: [sokolova@ocean.ru](mailto:sokolova@ocean.ru)*

Статья поступила в редакцию 15.08.2019, одобрена к печати 21.11.2019

С целью реконструкции климатической зональности в кампанских кернах глубоководного бурения в Индийском океане, на Фолклендском плато, в центральной части Атлантического океана и в шельфовых морях Австралии был изучен систематический состав раковин планктонных фораминифер. Выявленные комплексы фораминифер отнесены к тому или иному типу танатоценоза. На основе пространственного распределения типов танатоценозов построены карты климатической зональности для срезов раннего, среднего, начала и конца позднего кампана. Разные климатические зоны соответствуют разным типам водных масс. В Южном полушарии существовали 3 климатические зоны, но их размеры и очертание границ в течении кампанского времени изменялись. В раннем и среднем кампане климат был ровным и мягким. Начало позднего кампана отмечено кратковременным потеплением (границы всех климатических зон сместились к югу). На смену потеплению пришло резкое позднекампанское похолодание. Полученные реконструкции подтверждаются собственными и литературными данными изотопно-кислородного анализа.

**Ключевые слова:** поздний мел, кампан, фораминиферы, танатоценозы, палеотемпературы, палеоклимат, климатическая зональность, палеошироты, водные массы

### Введение

В позднемеловую эпоху существовали природные зоны, имевшие субширотное простираие и последовательно сменяющие одна другую от экватора к полюсам. Эти зоны не имеют прямых аналогов с современными климатическими зонами, так как природные условия мела резко отличаются от современных и даже от кайнозойских условий. Однако каждая меловая зона характеризуется разными комплексами планктонных фораминифер (ПФ). ПФ весьма чувствительны к изменениям условий окружающей среды и являются надежными индикаторами климата, а их раковины можно использовать для выделения в древних толщах слоев, накопившихся во время похолоданий и потеплений. Для позднего мела в целом выполнен ряд реконструкций по ПФ. (Соколова, 1998; Vice, et al., 2003; Briena et al., 2017; Falzoni et al., 2013; 2016; Hay, 2008; Huber, 2017; Kopaevich, Vishnevskaya, 2016; Zakharov et al., 2006; 2007 и многие другие авторы). Пограничное кампан-маастрихтское по-

холодание подробно рассмотрено для эпиконтинентальных бассейнов Северного полушария (Беньямовский и др., 2014; Niebuhr et al., 2011) и возвышенности Шатского (Jung et al., 2012). По палеоботаническим данным выделены климатические пояса для среднего и позднего мела (Герман, 2004). Большинство опубликованных материалов охватывают крупные стратиграфические интервалы в целом.

Перед автором стояла задача провести микропалеонтологическое исследование для узких возрастных интервалов кампана в Южном полушарии и в соответствии с нашей методикой (Соколова, 1998) выделить типы танатоценозов ПФ, и на основании их пространственного распространения построить карты климатической зональности, что и было сделано для срезов раннего, среднего, начала и конца позднего кампана. В результате удалось проследить миграцию границ климатических зон в течение кампана.

### **Материал и методика исследования**

В основу метода реконструкции климатической зональности позднемелового океана легли некоторые положения разработанные и применяемые (Бараш, 1988; Блюм, Соколова, 1987; Оськина и др., 1982) для кайнозойского временного интервала. Выполняя реконструкции для конца мезозойской эры, приходилось учитывать специфику мелового периода и вносить поправки и изменения в упомянутый метод. Предлагаемая автором методика, была неоднократно описана и опробована для ряда стратиграфических интервалов (Кобаевич, Соколова, 2003; Соколова, 2005, 2018). Ее суть состоит в следующем. Раковины видов, обитавших в сходных условиях, встречаются в океанических осадках совместно. Это позволяет объединить виды в климатические группы. Для позднемеловых осадков выделяются 3 климатические группы. Виды, входящие в состав одной и той же группы, имеют сходные ареалы распространения и, главное, максимальная концентрация их раковин наблюдается в одних и тех же районах. Выделенные группы, по аналогии с кайнозойскими (Блюм, Соколова, 1987), названы: умеренная, субтропическая и тропическая, но они не имеют прямых аналогов с современными группами, так как почти все меловые ПФ вымерли на границе мезозоя и кайнозоя. Однако раковины современных и древних ПФ, относящиеся к холодноводным или тепловодным группам, имеют соответственно сходные морфологические признаки. Районы максимального обилия раковин разных видов ПФ несколько смещаются по отношению к экватору даже в пределах одной климатической группы. Это позволило расположить виды ПФ в климатический ряд от самого холодноводного к самому тепловодному (рис. 1–3). По соотношению количества раковин видов, относящихся к разным климатическим группам, выделены типы танатоценозов ПФ. По их пространственному распределению строились карты природной (климатической) зональности. Границы климатических зон проводились на равном расстоянии между точками, в которых выявлены разные типы танатоценозов. (Например, на рис. 4г граница австралийной и промежуточной зон проведена между скважина-

ми 327 и 361) или через точку с переходным подтипом танатоценоза (скв. 516 на рис. 4а). Иногда область распространения переходного подтипа танатоценоза занимала достаточно большую акваторию (теплоавстральный подтип танатоценоза рис. 4). Каждой зоне соответствует определенный тип водных масс.

По данным распределения раковин ПФ в кампанских отложениях нами была реконструирована климатическая зональность для Индийского океана, Фолклендского плато, центральной части Атлантического океана и окраинных шельфовых морей Австралии. Материалом для настоящей работы послужили 390 образцов, собственноручно обработанных и изученных, из кернов 22 скважин глубоководного бурения и разрезов шельфовых морей Австралии. В изученном материале было определено 125 видов ПФ, 40 из них являются широко распространенными (они встречены в 15–17% скважин). Кроме того, использовались собственные (Zakharov et al., 2006) и опубликованные оценки палеотемператур (Briena et al., 2017; Falzoni et al., 2016), полученные в результате изотопно-кислородного анализа.

В результате анализа всех имеющихся данных, в кампане для изучения были выбраны 4 временных среза, которые в зональной схеме (Coccioni, Premoli Silva, 2015) соответствуют следующим фазам: *Globotruncanita elevata* (ранний кампан), *Contusotruncana plummerae* (средний кампан), *Radotruncana calcarata* (начало позднего кампана) и основание фазы *Gansserina gansseri* (конец позднего кампана).

Настоящая работа является продолжением исследования, проведенного для маастрихтского временного интервала (Соколова, 1998).

### **Климатические ряды и танатоценозы кампанских планктонных фораминифер**

Стратиграфическая граница маастрихтского и кампанского ярусов (72,1 млн. лет) проходит (Coccioni, Premoli Silva, 2015) внутри отложений зоны *Gansserina gansseri*. Большинство кампанских видов ПФ продолжили свое существование в маастрихте. Их климатическая природа была изучена раньше при исследовании маастрихтских океанических отложений (Соколова, 1998) и, следовательно, положение этих видов в климатическом ряду сомнений не вызывало. Трудности возникли с определением климатической природы следующих видов: *Radotruncana subspinosa* (Pessagno), *Globigerinelloides prairiehillensis* (Pessagno), *Contusotruncana fornicata* (Plummer), *Globotruncana ventricosa* (White), *Globigerinelloides bollii* (Pessagno). Эти фораминиферы были широко распространены в кампане, а в маастрихте не обнаружены. Для каждого из этих видов было проведено сравнение ареалов их распространения в позднем кампане с ареалами видов, положение которых в климатическом ряду уже известно. Например, виды *Rugotruncana subpennyi* (Gandolfi) и *Contusotruncana patelliformis* (Gandolfi) при изучении раннемаастрихтских отложений были отнесены к тропической группе. Ареал вида *Globotruncana ventricosa* (White) совпадает с ареалами этих двух видов в позднем кампане. Районы максимальной концентрации раковин этих трех видов тоже сходны. На

этом основании вид *Globotruncana ventricosa* отнесен к тропической группе. Вид *Globigerinelloides bollii* Pessagno имеет сходный ареал с видами *Globigerinelloides subcarinatus* (Bronnimann) и *Heterohelix glabrans* (Cushman). Два последних вида являются представителями умеренной группы. Это позволяет установить положение вида *Globigerinelloides bollii* в климатическом ряду.

В результате для стратиграфического среза конца позднего кампана (основание фазы Gansserina gansseri) был построен климатический ряд (рис. 1), в который вошли все широко распространенные виды ПФ. Работу над кампанским материалом мы, в соответствии с авторской методикой, начали именно с этого – самого молодого среза.

Анализ полученного для Южного полушария климатического ряда показал, то в конце кампана в распределении раковин ПФ существовала определенная закономерность.

Виды тропической группы были распространены преимущественно в низких широтах до 35° ю.ш. (здесь и далее имеются в виду палеошироты). Единичные раковины видов *Contusotruncana fornicata* (Plummer), *Rugotruncana subpenny* (Gandolfi) и *Globotruncana ventricosa* (White) отмечены южнее 40° ю.ш. Район максимальной концентрации раковин смещается по мере уменьшения теплолюбивости вида от 10° до 28° ю.ш. (рис. 1). Субтропические виды распространены по всей изучаемой акватории. Наибольшее скопление их раковин наблюдается в диапазоне от 15° до 46° ю.ш. Виды умеренной группы тоже широко распространены, их единичные раковины встречаются даже в районе палеоэкватора. Начиная с 30° ю.ш. их численность постепенно возрастает (рис. 1).

По соотношению количества раковин видов ПФ, относящихся к разным климатическим группам, для конца позднего кампана выделены три типа и один подтип танатоценоза.

1) В *австралийном типе* танатоценоза доминируют виды умеренной группы (не менее 9 видов), численность их раковин достигает от 48–55%. Особенно широко распространены раковины видов *Hedbergella monmouthensis* (Olsson) и *H. holmdelensis* Olsson. Субтропические виды представлены 6–7 видами. Теплоавстралийный подтип танатоценоза отличается от австралийного присутствием единичных видов тропической группы.

2) *Промежуточный тип* танатоценоза, представлен 15–25 видами субтропической группы, среди которых встречаются виды, имеющие узкое широтное распространение и не вошедшие в климатический ряд. Численность раковин субтропической группы составляет до 40%. На долю раковин тропических и умеренных видов приходится в сумме около 25%, причем в большинстве комплексов умеренные виды преобладают над тропическими.

3) *Тетический тип* танатоценоза характеризуется многообразием видов всех климатических групп. Численность тропических форм ПФ колеблется от 30 до 40%.

Далее аналогичная работа была последовательно проделана для срезов начала позднего, среднего и раннего кампана (рис. 2, 3). Выяснилось, что видовой состав ПФ изменялся достаточно плавно. Климатическая природа широко распространенных видов: *Globotruncanita atlantica* (Caron), *G. elevata* (Brotzen), *Globotruncana*

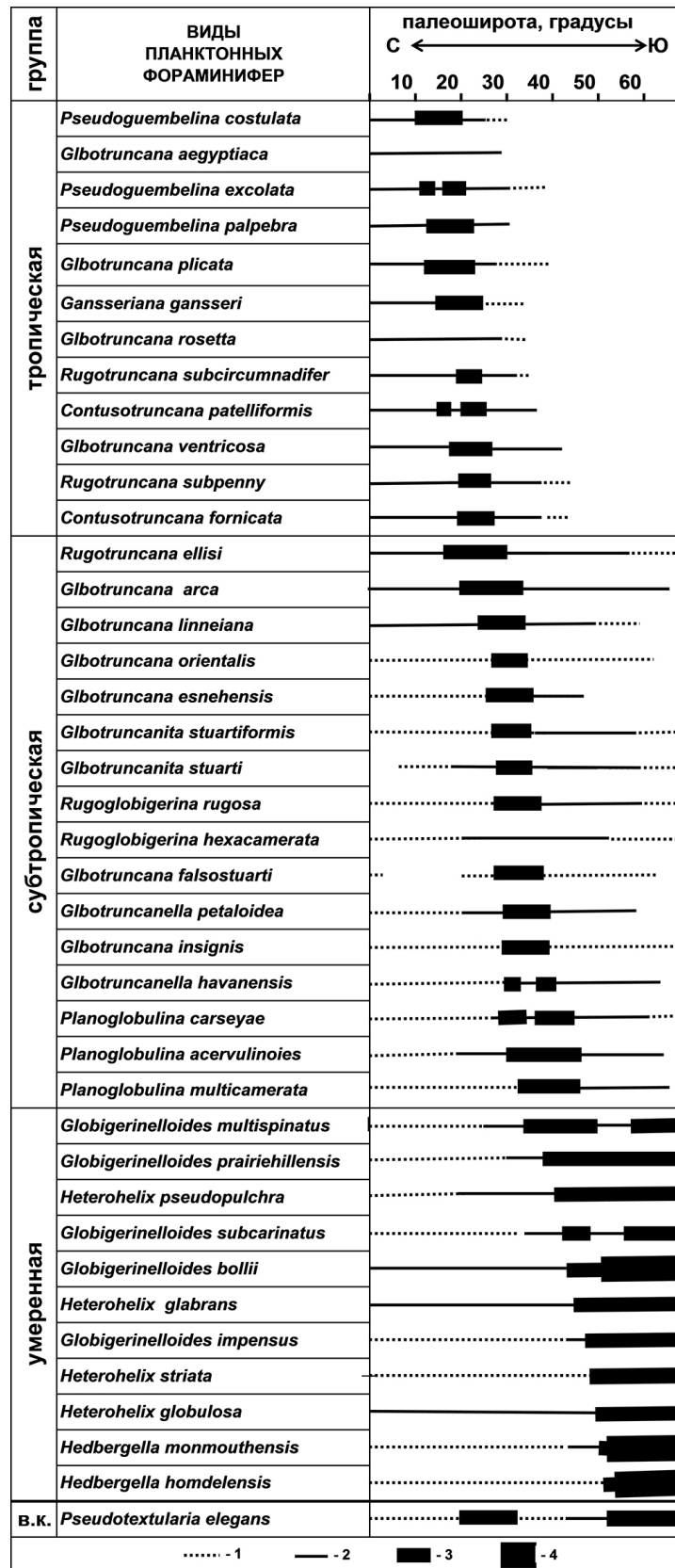


Рис. 1. Климатические группировки видов ПФ в конце позднего кампана 1 – встречаются спорадически; 2 – обычные; 3 – обильны; 4 – весьма обильны; В.К – вид космополит.

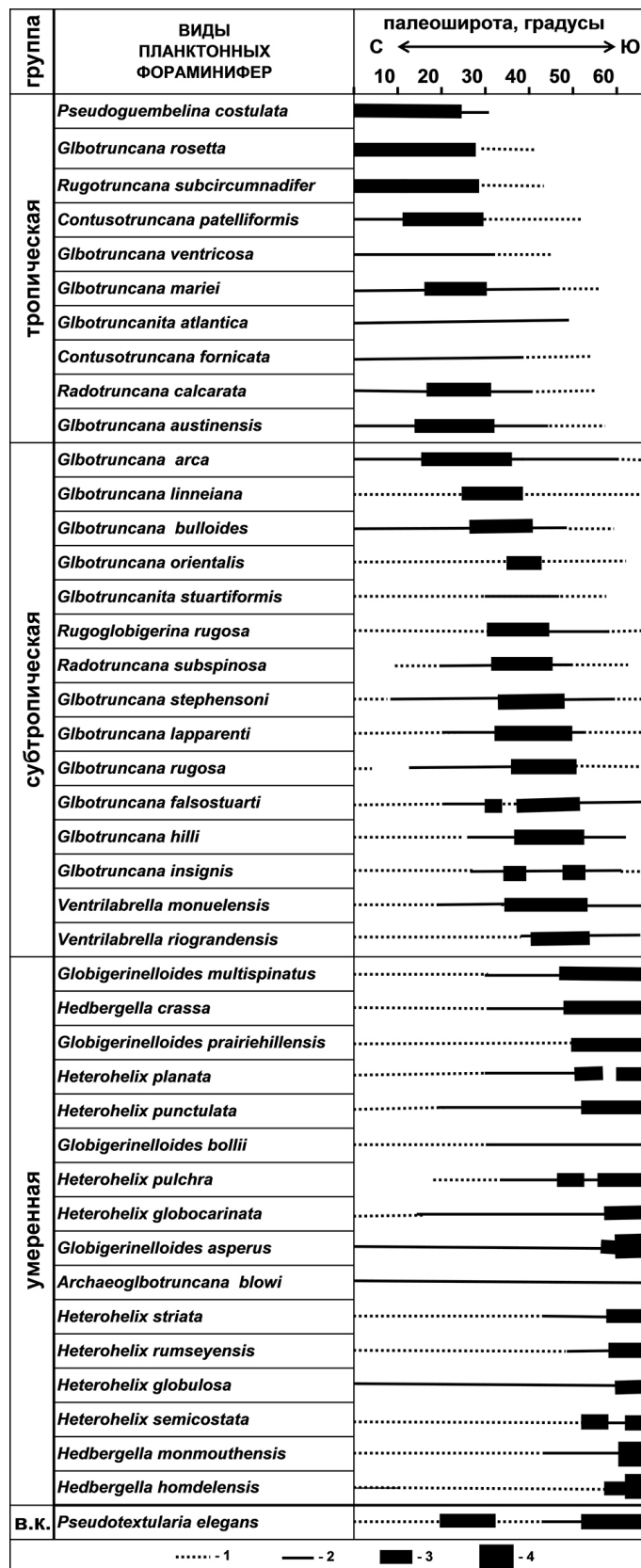


Рис. 2. Климатические группировки видов ПФ в начале позднего кампана 1 – встречаются спорадически; 2 – обычные; 3 – обильны; 4 – весьма обильны; В.К. – вид космополит.



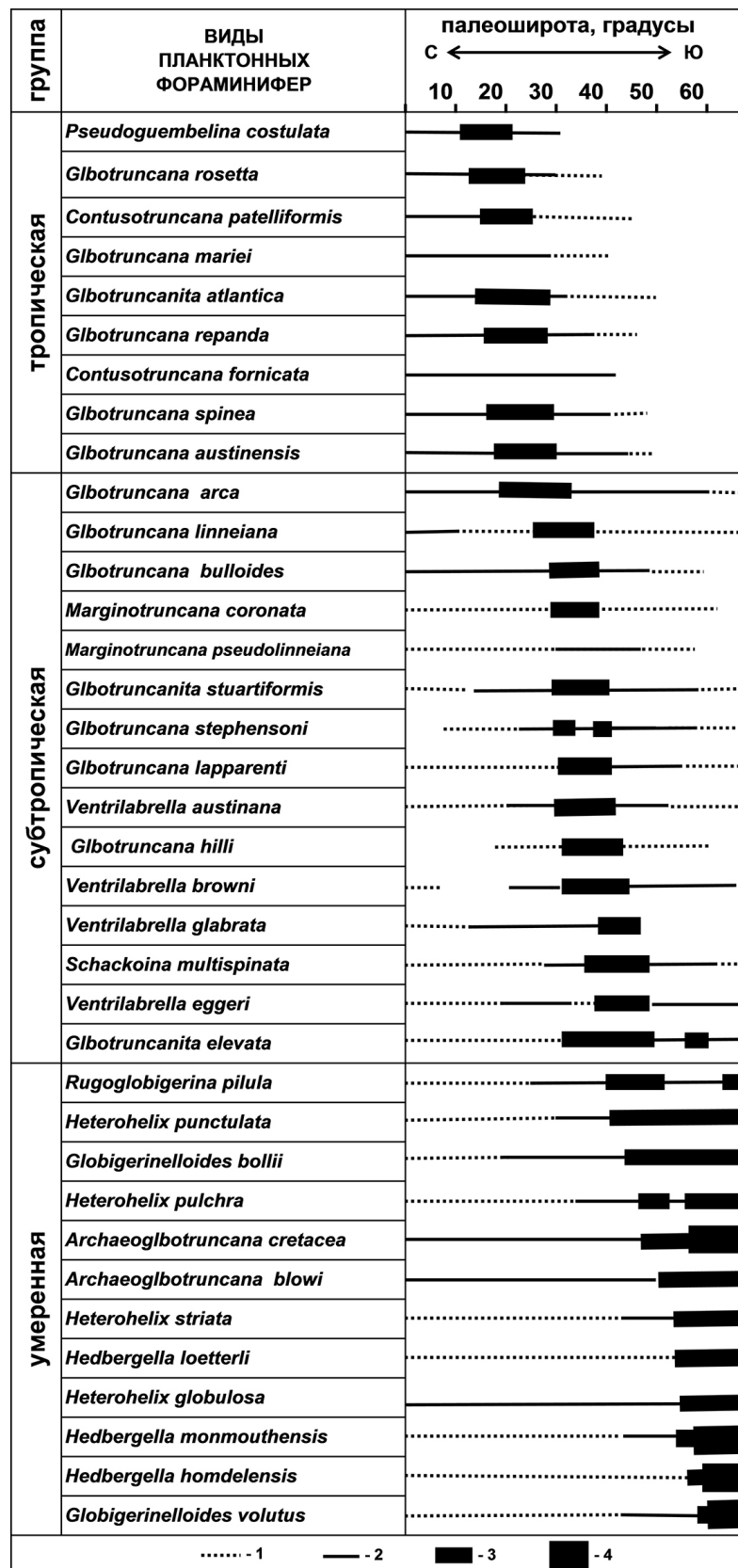


Рис. 3. Климатические группировки видов ПФ в раннем кампане 1 – встречаются спорадически; 2 – обычны; 3 – обильны; 4 – весьма обильны.

*repanda* (Bolli), *G. spinea* (Kikoine), *Ventilabrella glabrata* (Cushman), *V. monuelensis* (Martin), *Radotruncana calcarata* (Cushman), вымерших в течение изучаемого промежутка времени, определялась описанным выше способом. При рассмотрении климатического ряда временного среза фазы *Radotruncana calcarata* (рис. 2) выяснилось, что в Южном полушарии в начале позднего кампана ареалы распространения видов тропической группы распространялись до 50° ю.ш., а районы максимальной концентрации всех видов были, по сравнению с концом позднего кампана, смещены к югу. Для раннего и среднего кампана выделены типы танатоценозов аналогичные вышеописанным. Для фазы *Radotruncana calcarata* в *промежуточном time* танатоценоза раковины видов тропической и умеренной групп, по-прежнему, составляют около 25%, однако их соотношение меняется в пользу тропических видов.

По пространственному распространению типов танатоценозов были выделены климатические зоны для раннего, среднего, начала и конца позднего кампана. Каждой зоне соответствует определенный тип водных масс. На картах положение скважин определено по палеогеодинамическим реконструкциям (Зоненшайн, 1984; Scotese, 1991).

#### **Карты климатической зональности для выбранных временных срезов**

Анализ карты климатической зональности для стратиграфической зоны *Globotruncanites elevata* (рис. 4а) показал, что ранний кампан характеризовался типичными для позднего мела условиями. В высоких широтах Южного полушария господствовала австралийская зона. В Индийском океане ее северная граница проходила в районе 50° ю.ш., а в Атлантическом – намечалась на палеошироте 45° ю.ш. В бассейнах шельфовых морей Австралии тоже выявлен австралийский тип танатоценоза, который несколько отличается от «традиционного океанического» типа. Эти отличия связаны не с климатом, а с глубиной. В осадках сравнительно мелководных бассейнов шельфовых морей наблюдается более высокое процентное содержание ювенильных форм и ПФ по отношению к бентосным. Некоторые теплолюбивые формы ПФ представлены только ювенильными формами. Все это учитывалось при построении карты климатической зональности. Сравнению поздне меловых фораминиферовых танатоценозов, образовавшихся на разных палеоглубинных уровнях посвящен ряд работ (Соколова, 1998; 1999; Коряевич, Vishnevskaya, 2016 и многие другие). Самый обедненный «суперавстралийский» тип танатоценоза отмечен на Фолклендском плато (скв. 511 и 700) и в скважине 264. Севернее 50° ю.ш. в Индийском океане распространена переходная теплоавстралийская подзона, в образцах из кернов скважинах 255, 747, 754, 762, 763 и 764, наряду с представителями австралийского типа танатоценоза, встречаются единичные раковины видов тропической группы. Севернее 35° ю.ш. теплоавстралийская подзона уступает место промежуточной зоне. В Атлантическом океане промежуточная зона занимает акваторию от 45° до 32° ю.ш. От 32° ю.ш. до 10° с.ш. развит тетический тип танатоценоза. Согласно данным (Falzoni et al., 2013) в районе скважины 762 в сантоне – начале кампана – на смену парниковому максимуму приходят относительное похолодание, что находит отражение в комплексе ПФ (теплоавстралийский подтип танатоценоза).



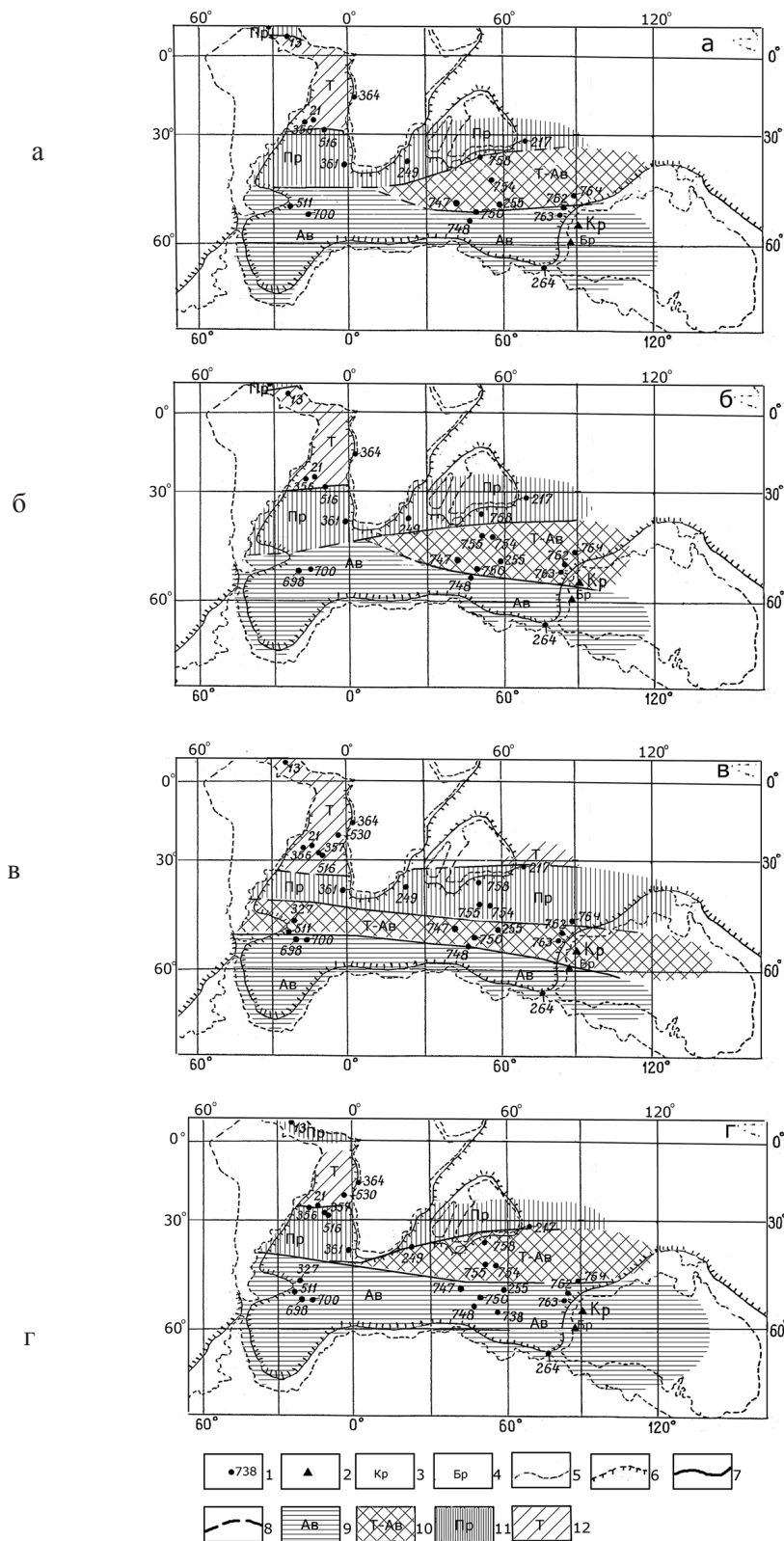


Рис. 4. Климатическая зональность в раннем – а, среднем – б, начале позднего – в, конце позднего кампана – г: 1 – скважины глубоководного бурения; 2 – изученные разрезы; 3, 4 – названия разрезов: 3 – Карнарвон, 4 – Берк; 5 – границы континентов; 6 – границы шельфа; 7, 8 – границы климатических зон: 7 – достоверные, 8 – гипотетические; 9–12 – климатические зоны: 9 – австралийская, 10 – теплоавстралийская, 11 – промежуточная, 12 – тетическая.

Карта климатической зональности, выполненная для среднего кампана (стратиграфическая зона *Contusotruncana plummerae*) (рис. 4б) отличается от выше описанной карты весьма незначительно. На Фолклендском плато по-прежнему господствовал австралийский тип танатоценоза. В северо-восточной части Индийского океана северная граница австралийской зоны сместилась на четыре градуса к югу (в отложениях скважинах 750, 763 и бассейна Карнарвон на смену австралийскому пришел теплоавстралийский подтип танатоценоза). Южная граница промежуточной зоны в Индийском океане тоже сместилась к югу на 2–3°. Это свидетельствует о незначительном потеплении. В Атлантическом океане смещения границ климатических зон в среднем кампане не выявлено.

При анализе карты для стратиграфической зоны *Radotruncana calcarata* (рис. 4в) выяснилось, что в начале позднего кампана границы всех климатических зон сместились к югу. Северная граница австралийской зоны выявлена в Атлантическом океане на палеошироте 53° ю.ш., а в Индийском – эта граница проходила в районе 55–60° ю.ш. Теплоавстралийская подзона протянулась узкой полосой через всю изучаемую акваторию. Даже в южной части Фолклендского плато (скв. 327 и 511) и в бассейнах шельфовых морей Австралии развит теплоавстралийский подтип танатоценоза. Промежуточная зона распространена в Индийском океане от 48–50° ю.ш. до 32° ю.ш., что подтверждается данными (Briena et al., 2017). Севернее в отложениях вскрытых скважиной 217 выявлен близкий к тетическому тип танатоценоза. В Атлантическом океане тетическая зона занимает акваторию от 35° ю.ш. до 15° с.ш. Собственные оценки палеотемператур (Zakharov et al., 2006) в этой акватории соответствуют тетической зоне (23°C, скв. 516).

В конце позднего кампана (основание фазы *Gansserina gansseri*) (рис. 4г) началось резкое похолодание, которое продолжилось в маастрихте. Границы климатических зон повсеместно сместились к палеоэкватору. Австралийская зона стала шире, чем была даже в раннем кампане. Она распространилась до 45° ю.ш. в Индийском океане и до 40° ю.ш. – в Атлантическом. Виды тропической группы полностью исчезли из комплексов развитых на Фолклендском плато и в бассейнах шельфовых морей Австралии. Теплоавстралийская подзона выявлена только в Индийском океане в диапазоне от 45° до 32° ю.ш. Севернее намечается область распространения промежуточного типа танатоценоза. В Атлантическом океане промежуточная зона занимает акваторию от 40 до 25° ю.ш. Севернее в отложениях вскрытых скважинами 21, 364, 530 выявлен тетический тип танатоценоза. Позднекампанское похолодание подтверждается собственными данными изотопного анализа (Zakharov et al., 2006; 2007). В районе скважины 516 температура поверхностных вод понизилась до 17°C, что соответствует промежуточной зоне. В работе (Falzoni et al., 2016) отмечено повсеместное сокращение количества термофильных форм в Индийском океане.

Позднекампанское похолодание происходило не только в Южном океане. Оно зафиксировано данными многих исследователей в других регионах Мирового океана и суши. Согласно нашим данным, в Северной Атлантике (скв. 95, 98, 390 и 392), в южной части Тихого океана (скв. 289) и в Северной Америке (штат Теннесси)

температура поверхностных вод не поднималась в позднем кампане выше 12–15°C (Zakharov et al., 2006; 2007). Похолодание в конце кампана выявлено В.Н. Беньямовским с соавторами (2014) и другими исследователями (Кораевич, Vishnevskaya, 2016; Niebuhr et al., 2011) в эпиконтинентальных бассейнах Северного полушария и на возвышенности Шатского (Jung et al., 2012).

Позднекампанское похолодание, согласно нашим данным (Соколова, 1998) продолжилось и усилилось в маастрихте.

В результате проведенного микропалеонтологического исследования для узких возрастных интервалов кампана в Южном полушарии, автору удалось проследить миграцию границ климатических зон при переходе от одного климатического состояния к другому.

### **Выводы**

1. В течение всего изучаемого временного интервала в Южном полушарии климат был мягким и однородным. Он представлял собой пример климата так называемой теплой биосферы.

2. Согласно реконструкциям по ПФ и палеотемпературным оценкам, климатические условия в течение раннего и среднего кампана в Атлантическом океане оставались практически неизменными. В Индийском океане и в бассейнах шельфовых морей Австралии происходила незначительная (от 2 до 4°) миграция границ климатических зон к югу. Это свидетельствует о том, что в этих акваториях в среднем кампане наметилась слабая тенденция к потеплению.

3. В начале позднего кампана кратковременное потепление затронуло весь изучаемый регион. Потеплело даже на Фолклендском плато. В его северной части выявлен теплоавстралийский тип танатоценоза. Границы всех климатических зон сместились к Южному полюсу, а тетическая зона расширилась до 35° ю.ш.

4. Конец позднего кампана отмечен повсеместным похолоданием. Большая часть изучаемой акватории характеризуется австралийским типом танатоценоза. Позднекампанское похолодание, согласно нашим данным (Соколова, 1998) продолжилось и усилилось в маастрихте. Это событие совпадает с зафиксированным во многих регионах пограничным кампан-маастрихтским похолоданием. Оно носит название кампан-маастрихтского пограничного события (СМВЕ) в различных зональных шкалах (Jung et al., 2012; Niebuhr et al., 2011; Thibault et al., 2012a; Беньямовский и др., 2014).

5. На Фолклендском плато было прохладнее, чем в Индийском океане на протяжении всего кампанского века.

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

## Литература

- Бараиш М.С. Четвертичная палеоокеанология Атлантического океана. М.: Наука, 1988. 272 с.
- Беньямовский В.Н., Алексеев А.С., Подгаецкий А.В., Овечкина М.Н., Вишневецкая В.С., Копачевич Л.Ф., Пронин В.Г. Верхний кампан - нижний маастрихт севера Ростовской области. Статья 2. Условия осадконакопления и палеогеография // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2014. Т. 22. № 5. С. 77–96.
- 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.
- Герман А.Б. Позднемиоценовый климат Евразии и Аляски. М.: Наука, 2004. 157 с.
- Зоненшайн Л.П., Савостин Л.А., Седов А.П. Глобальные палеогеодинамические реконструкции для последних 160 лет // Геотектоника. 1984. № 3. С. 3–16.
- Копачевич 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.
- 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.
- 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.
- Соколова Е.А. Определение палеоглубин по танатоценозам маастрихтских фораминифер // Океанология. 1999. Т. 39. № 2. С. 281–287.
- Соколова Е.А. Климатическая зональность Атлантического и Индийского океанов в позднем туроне, коьяке и сантое по планктонным фораминиферам // Меловая система России и ближайшего зарубежья: проблемы стратиграфии и палеогеографии: Сборник научных трудов. СПб: Изд-во НИИЗК СПбГУ, 2005. С. 102–110.
- Соколова Е.А. Миграция климатических зон в Атлантическом океане и прилегающих регионах в среднем и позднем туроне по планктонным фораминиферам // Океанологические исследования. 2018. Т. 46. № 1. С. 102–114. DOI: 10.29006/1564-2291.JOR-2018.46(1).8.
- Bice K.L., Huber B.T., Norris R.D. Extreme polar warmth during the Cretaceous greenhouse // *Paleoceanography*. 2003. Vol. 18. No. 2. P. 1–11.
- Briana C.L., Robinson S.A., Pancost R.D., Damsté J.S., Schoutende S., Lunt D.J., Alsenz H., Bornemann A., Bottini C., Brassell S.C., Farnsworth A., Forster A., Huber B.T., Inglis G.N., Jenkinson H.C., Linnert C., Littler K., Markwick P., Wrobel N.E. Cretaceous sea-surface temperature evolution: Constraints from TEX86 and planktonic foraminiferal oxygen isotopes // *Earth-Science Reviews*. 2017. Vol. 172. P. 224–247.
- 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. Vol. 48. No. 1. P. 47–90.
- 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. No. 103. P. 15–29.
- Falzone F., Petrizzo M.R., Clarke L.J., MacLeod K.G., Jenkinson H.C. Long-term Late Cretaceous oxygen- and carbon-isotope trends and planktonic foraminiferal turnover: A new record

- from the southern midlatitudes // GSA Bulletin. 2016. Vol. 128. P. 1725–1735.
- Hay W. Evolving ideas about the Cretaceous climate and ocean circulation // Cretaceous Research. 2008. Vol. 29. P. 725–753.
- Huber B.T., Petrizzo M.R., Watkins D.K., Haynes S.J., MacLeod K.G. 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. Vol. 50. No. 2. P. 141–185(45).
- Jung C., Voigt S., Friedrich O. High-resolution carbon-isotope stratigraphy across the Campanian–Maastrichtian boundary at Shatsky Rise (tropical Pacific) // Cretaceous Research. 2012. Vol. 37. P. 177–185.
- 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. No. 441. P. 493–515.
- Niebuhr B., Hampton M.J., Gallagher L.T., Remin Z. Integrated stratigraphy of the Kronsmoor section (northern Germany), a reference point for the base of the Maastrichtian in the Boreal Realm // Acta Geol. Polonica. 2011. Vol. 61. No. 2. P. 193–214.
- Scotese C.R. Jurassic and Cretaceous plate tectonic reconstructions // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. Amsterdam: 1991. No. 87. P. 493–501.
- Thibault N., Harlou R., Schovsbo N. et al. Upper Campanian–Maastrichtian nannofossil biostratigraphy and high resolution carbon isotope stratigraphy of the Danish Basin: Towards a standard  $\delta^{13}\text{C}$  curve for the Boreal Realm // Cretaceous Res. 2012a. Vol. 33. P. 72–90.
- Zakharov Y.D., Popov A.M., Shigeta Y., Smyshlyaeva O.P., Sokolova E.A., Nagenndra R., Velivetskaya T.G., Afanasyeva T.B. New Maastrichtian oxygen and carbon isotope record: Additional evidence for warm low latitudes // Geosciences Journal. 2006. Vol. 10. No. 3. P. 339–359.
- Zakharov Y.D., Shigeta Y., Tanabe K., Iva Y., Smyshlyaeva O.P., Sokolova E.A., Popov A.M., Velivetskaya T.G., Afanasyeva T.B. Campanian Climatic Change: Isotopic Evidence from Far East, North America, North Atlantic and Western Europe // Acta Geologica Sinica. 2007. Vol. 81. No. 6. P. 1049–1069.

## CLIMATIC ZONATION OF THE SOUTHERN HEMISPHERE IN CAMPANIAN TIME ACCORDING TO THE STUDY OF PLANKTON FORAMINIFERA

Sokolova E.A.

*Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences,  
36 Nahimovskiy prospekt, Moscow, 117997, Russia, e-mail: sokolova@ocean.ru  
Submitted 15.08.2019, accepted 21.11.2019*

In the Campanian cores of deep water drilling in the Indian Ocean, on the Falklands Plateau, in the central part of the Atlantic Ocean and in the Australian shelf seas, the systematic composition of shells of planktonic foraminifera was studied. The revealed complexes of foraminifera are attributed to one or another type of than at ocnosis. On the basis of the spatial distribution of types of tanatocenoses, maps of climatic zonality for sections of the early, middle beginning, and end of the late campaign have been constructed. Different climatic zones correspond to different types of water masses. In the southern hemisphere, there were three climatic zones, but their sizes and the outline of the boundaries changed during the Campanian period. In the early and middle campaigns, the climate was smooth



and mild. The beginning of the late campaign is marked by short-term warming which was replaced by a sharp late Campan cooling. The obtained reconstructions are confirmed by our own and literary data of oxygen isotope analysis.

**Keywords:** Late Cretaceous, Campan, foraminifera, thanatocenoses, paleotemperature, paleoclimate, climatic zonality, paleolatitudes, water masses

### References

- Barash M.S. Chetvertichnaja paleookeanologija Atlanticheskogo okeana (Quaternary paleoceanology of the Atlantic). Moscow: Nauka, 1988, 272 p.
- Ben'jamovskij V.N., Alekseev A.S., Podgaeckij A.V., Ovechkina M.N., Vishnevskaja V.S., Kopaevich L.F., and Pronin V.G. Verhnij kampan – nizhnij maastricht severa Rostovskoj oblasti. Stat'ja 2. Uslovija osadkonakoplenija i paleogeografija (Upper Campanian-lower Maastrichtian sections of northern Rostov oblast: Article 2. Depositional environments and paleogeography). *Stratigrafija, Geologicheskaja korreljacija*, 2014, Vol. 22, No. 5, pp. 77–96.
- Bice K.L., Huber B.T., and Norris R.D. Extreme polar warmth during the Cretaceous greenhouse. *Paleoceanography*, 2003, Vol. 18, No. 2, pp. 1–11.
- Bljum N.S. and Sokolova E.A. Klimaticheskaja zonal'nost' Tihogo okeana v miocene po dannym analiza kompleksov planktonnyh foraminifer (Climatic zoning of the Pacific Ocean in the Miocene according to the analysis of complexes of planktonic foraminifera). *Bjul. MOIP. Otd. geol.*, 1987, Vol. 62, No. 6, pp. 116–130.
- Briena C.L., Robinson S.A., Pancost R.D., Damsté J.S., Schoutende S., Lunt D.J., Alsenz H., Bornemann A., Bottini C., Brassell S.C., Farnsworth A., Forster A., Huber B.T., Inglis G.N., Jenkyns H.C., Linnert C., Littler K., Markwick P., and Wrobel N.E. Cretaceous sea-surface temperature evolution: Constraints from TEX86 and planktonic foraminiferal oxygen isotopes. *Earth-Science Reviews*, 2017, Vol. 172, pp. 224–247.
- Coccioni R. and Premoli Silva I. Revised Upper Albian–Maastrichtian planktonic foraminiferal biostratigraphy and magnetostratigraphy of the classical Tethyan Gubbio section (Italy). *Newsletters on Stratigraphy*, 2015, Vol. 48, No. 1, pp. 47–90.
- Falzone F., Petrizzo M.R., Clarke L.J., MacLeod K.G., Jenkyns H.C., and Longterm. Late Cretaceous oxygen- and carbon-isotope trends and planktonic foraminiferal turnover: A new record from the southern midlatitudes. *GSA Bulletin*, 2016, Vol. 128, pp. 1725–1735.
- Falzone F., Petrizzo M.R., MacLeod K.G., and Huber B.T. Santonian-Campanian planktonic foraminifera from Tanzania, Shatsky Rise and Exmouth Plateau: species depth ecology and paleoceanographic inferences. *Marine Micropaleontology*, 2013, No. 103, pp. 15–29.
- German A.B. Pozdneemelovoj klimat Evrazii i Aljaski (Late Cretaceous climate of Eurasia and Alaska). Moscow: Nauka, 2004, 157 p.
- Hay W. Evolving ideas about the Cretaceous climate and ocean circulation. *Cretaceous Research*, 2008, Vol. 29, pp. 725–753.
- Huber B.T., Petrizzo M.R., Watkins D.K., Haynes S.J., and MacLeod K.G. 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, Vol. 50, No. 2, pp. 141–185(45).
- Jung C., Voigt S., and Friedrich O. High-resolution carbon-isotope stratigraphy across the Campanian–Maastrichtian boundary at Shatsky Rise (tropical Pacific). *Cretaceous Research*, 2012, Vol. 37, pp. 177–185.



- Kopaevich L. and Vishnevskaya V.* Cenomanian–Campanian (Late Cretaceous) planktonic assemblages of the Crimea–Caucasus area: Palaeoceanography, palaeoclimate and sea level changes. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2016, No. 441, pp. 493–515.
- Kopaevich L.F. and Sokolova E.A.* Sravnenie kompleksov santonskih planktonnyh foraminifer iz skvazhin Atlanticheskogo okeana i nekotoryh jepikontinental'nyh bassejnov Severnogo polusharija (Comparison of the complexes of Santonian plankton foraminifera from the wells of the Atlantic Ocean and some epicontinental basins of the Northern Hemisphere). *Bjul. MOIP. Otd. geol.*, 2003, Vol. 78, No. 5, pp. 60–70.
- Niebuhr B., Hampton M.J., Gallagher L.T., and Remin Z.* Integrated stratigraphy of the Kronsmoor section (northern Germany), a reference point for the base of the Maastrichtian in the Boreal Realm. *Acta Geol. Polonica*, 2011, Vol. 61, No. 2, pp. 193–214.
- Os'kina N.S., Ivanova E.V., and Bljum N.S.* Klimaticheskaja zonal'nost' Atlanticheskogo, Indijskogo i Tihogo okeanov v pliocen (Climatic Zonality of the Atlantic, Indian and Pacific Oceans in the Pliocene). *Dokl. AN SSSR*, 1982, Vol. 264, No. 2, pp. 400–407.
- Scotese C.R.* Jurassic and Cretaceous plate tectonic reconstructions. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 1991, Amsterdam, No. 87, pp. 493–501.
- Sokolova E.A.* Klimaticheskaja zonal'nost' Atlanticheskogo i Indijskogo okeanov v pozdnem turone, ko'jake i santoe po planktonnym foraminiferam (Climatic Zonality of the Atlantic and Indian Oceans in the Late Turon, Cognac, and Sent for Planktonic Foraminifers), In: Melovaja sistema Rossii i blizhajshego zarubezh'ja: problemy stratigrafii i paleogeografii (The Cretaceous System of Russia and the Near Abroad: Problems of Stratigraphy and Paleogeography). Sankt-Peterburg: NIIZK SPbGU, 2005, pp. 102–110.
- Sokolova E.A.* Migracija klimaticheskikh zon v Atlanticheskom okeane i privilegijushhih regionah v srednem i pozdnem turone po planktonnym foraminiferam (Migration of climatic zones at the Atlantic Ocean and adjoining regions in the middle and late Turonian for planktonic foraminifera). *Journal of Oceanological Research*, 2018, Vol. 46, No. 1, pp. 102–114, doi: 10.29006/1564-2291.JOR-2018.46(1).8.
- Sokolova E.A.* Opredelenie paleoglubin po tanatocенозам maastrichtskih foraminifer (Determination of paleoglobins by the tanatocenoses of the Maastricht foraminifera). *Okeanologija*, 1999, Vol. 39, No. 2, pp. 281–287.
- Sokolova E.A.* Paleookeanologicheskie rekonstrukcii Tihogo okeana dlja konca pozdnego mela (maastricht) po planktonnym foraminiferam (Paleoceanological reconstruction of the Pacific Ocean for the late Late Cretaceous (Maastricht) in planktonic foraminifera). Moskva: 1982, No. 1351, Vol. 98, 174 p. – Dep. v VINITI 26.05.1998.
- Thibault N., Harlou R., and Schovsbo N.* Upper Campanian–Maastrichtian nannofossil biostratigraphy and high resolution carbon isotope stratigraphy of the Danish Basin: Towards a standard  $\delta^{13}\text{C}$  curve for the Boreal Realm. *Cre taceous Res.*, 2012a. Vol. 33, pp. 72–90.
- Zakharov Y.D., Popov A.M., Shigeta Y., Smyshlyaeva O.P., Sokolova E.A., Nagenndra R., Velivetskaya T.G., and Afanasyeva T.B.* New Maastrichtian oxygen and carbon isotope record: Additional evidence for warm low latitudes. *Geosciences Journal*, 2006, Vol. 10, No. 3, pp. 339–359.
- Zakharov Y.D., Shigeta Y., Tanabe K., Iva Y., Smyshlyaeva O.P., Sokolova E.A., Popov A.M., Velivetskaya T.G., and Afanasyeva T.B.* Campanian Climatic Change: Isotopic Evidence from Far East, North America, North Atlantic and Western Europe. *Acta Geologica Sinica*, 2007, Vol. 81, No. 6, pp. 1049–1069.
- Zonenshajn L.P., Savostin L.A., and Sedov A.P.* Global'nye paleogeodinamicheskie rekonstrukcii dlja poslednih 160 let (Global paleogeodynamic reconstructions for the last 160 years). *Geotektonika*, 1984, No. 3, pp. 3–16.