

УДК 551.464.626 (524+571.64)

## ОПТИМАЛЬНЫЕ ТЕМПЕРАТУРЫ РОСТА КАМПАНСКИХ АММОНОИДЕЙ САХАЛИНА И ХОККАЙДО ПО ИЗОТОПНЫМ ДАННЫМ

Ю.Д. Захаров, О.П. Смышляева, Я. Шигэты, К. Танабэ, Х. Маэда, А.М. Игнатьев,  
Т.А. Веливецкая, А.М. Попов, Т.Б. Афанасьева, К. Мориа

Получены новые данные по изотопным палеотемпературам кампана Южного Сахалина (Крильон) и Хоккайдо, согласующиеся с результатами палеомагнитных исследований [8], согласно которым Южный Сахалин в позднем мелу размещался, по-видимому, в пределах субтропической зоны Северного полушария (35° с.ш.). Исходя из данных по изотопной термометрии, полученных по раковинам бентосных беспозвоночных Хоккайдо (новые результаты) и бассейна р. Найбы (Zakharov et al., 1999), обитавших в условиях морского бассейна с водами нормальной солености, исследованные раковины аммоноидей этого бассейна формировались, скорее всего, в придонных условиях, поэтому рассчитанные палеотемпературы отражают, очевидно, именно придонные условия шельфа морского бассейна Южный Сахалин — Хоккайдо. Некоторое увеличение температуры придонных вод здесь происходило в начале кампана, для середины раннего кампана отмечается ее снижение; пониженные температуры удерживались и в начале позднего кампана. Сезонные колебания температур на рубеже сантона и кампана, в середине раннего и начале позднего кампана составляли соответственно 8,5; 6,1 и 3,6°C; но эти расчеты, возможно, требуют некоторой поправки в случае подтверждения версии, согласно которой крупные пахидисциды (*Canadoceras*, *Menuites*, *Eurachydiscus*) и некоторые тетрагонитиды и десмоцератиды могли мигрировать периодически в более глубокие и холодные участки моря — внешний шельф и верхнюю часть континентального склона.

Первые результаты по кампанским изотопным палеотемпературам Сахалина (р. Найба) и Японии (Хоккайдо, р. Абешинай) [1, 15, 16] показали заметные колебания температур (13,3—19,6°C) в средних широтах перед раннемаастрихтским похолоданием.

В статье излагаются результаты реконструкции сезонных температур морских вод бассейна Южный Сахалин — Хоккайдо кампанского века на основе новых изотопных данных, полученных преимущественно по п-ову Крильон и р. Сакаса-гава.

### Материал и методы исследований

Раковины кампанских моллюсков, использованные для изотопного изучения, были собраны в разрезах Сакаса-гава (бассейн р. Хаборо) (коллекция Ю.Д. Захарова и А.М. Попова, сборы 1999 г.), Вакавенбетсу, Абешинай и Осошинай (коллекция К. Танабэ и Ю.Д. Захарова, сборы 1995 г.) на Хоккайдо [15], а также в серии разрезов на п-ове Крильон, южной оконечности Сахалина (коллекция Я. Шигэты и Х. Маэды, сборы 1997 г.) (рис. 1). Исследованные коллекции представлены 36 преимущественно великолепно сохранившимися раковинами моллюсков. Для проведенной реконструкции дополнительно были использованы изотопные данные по 8 пробам, отобраным из трех раковин аммоноидей из разреза Накафутамата (коллекция К. Танабэ) [15].

Различные группы моллюсков были определены К. Танабэ, Я. Шигэтой, Х. Маэдой, Ю.Д. Захаровым и К. Мориа, брахиоподы — А.М. Поповым. Пробы для изотопного анализа отбирались обычно по определенной методике (в виде узких полосок, располагающихся вдоль линий роста раковин, с охватом всех

слоев, за исключением внутреннего слоя, выстилающего значительную часть внутренней поверхности раковин), позволяющей в конечном итоге выявлять порции раковинного материала, отлагавшегося в определенные сезоны года.

Контролем за степенью диагенетических изменений в исследованных скелетных образованиях беспозвоночных служили следующие признаки: 1) визуальные (естественность цвета, структуры); 2) относительное содержание арагонита в скелете (в случае исследования скелетных элементов, характеризующихся 100%-м содержанием арагонита в прижизненном состоянии организма); 3) степень сохранности первичной микроструктуры скелета (при исследовании арагонита аммоноидей определялась с помощью СЭМ; при исследовании кальцита брахиопод — люминесцентным анализом с помощью рентгеновского микроанализатора ЛХА-5А).

Можно различать пять стадий диагенетических изменений раковин моллюсков, оригинально имевших арагонитовый состав [15]; в данном исследовании при расчете палеотемператур мы использовали лишь наиболее хорошо сохранившийся материал, соответствующий двум начальным стадиям диагенеза.

Изотопный состав кислорода и углерода определялся прецизионным методом, с использованием масс-спектрометра Finnigan MAT-252. Лабораторный стандарт, откалиброванный по кальцитовому стандарту NBS 19 (National Bureau of Standards) и использованный при измерениях, равен  $+1,8 \pm 0,1\%$  для кислорода и  $-0,75 \pm 0,1\%$  для углерода относительно PDB (Pee Dee belemnite). Точность измерения величины  $\delta^{18}\text{O}$  и  $\delta^{13}\text{C}$  всегда лучше  $\pm 0,1\%$  на 95% доверительном уровне.

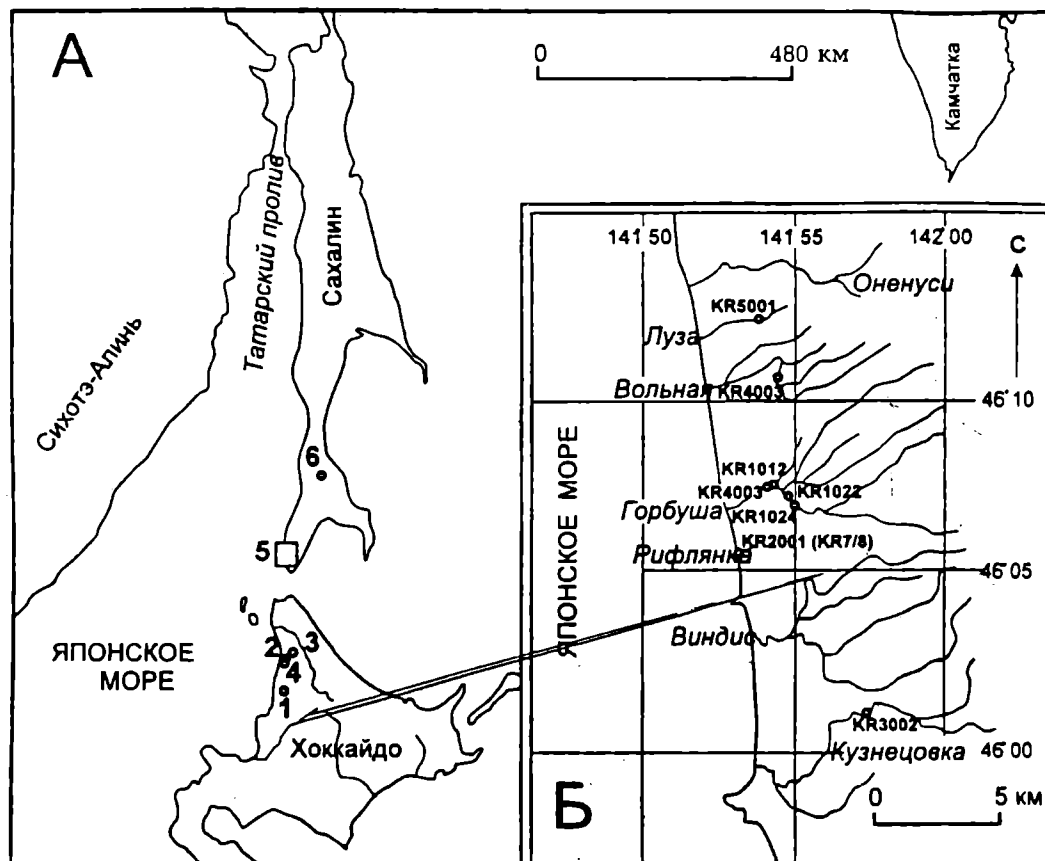


Рис. 1. Схема расположения района работ на Хоккайдо (А) и на п-ове Крильон (Сахалин):

1 — Сакаса-гава, 2 — Вакавенбетсу, 3 — Абешиная, 4 — Осошиная, 5 — Крильон, 6 — Найба. Местонахождения (Крильон): KR5001р — р. Луза, KR4003 — р. Вольная, KR1012, 13, 22, 24 — р. Горбуша, KR2001 (KR7/8) — р. Рифлянка, KR3002 — р. Кузнецовка

Рентгеноструктурный анализ был выполнен по методу Т. Дэвиса и П. Хупера [4] с помощью дифрактометра ДРОН-3.

Все анализы выполнены в Аналитическом центре Дальневосточного геологического института ДВО РАН Т.А. Веливецкой, А.В. Игнатьевым, О.П. Смьшляевой (изотопный анализ), Т.Б. Афанасьевой, С.М. Горюхиной (рентгеноструктурный анализ).

### Крильон (Сахалин)

#### Палеомагнитные и биостратиграфические данные

Согласно палеомагнитным данным, Южный Сахалин размещался приблизительно на широте 35° с.ш. [8].

Верхняя часть мела, соответствующая серии Езо, в западной части п-ова Крильон представлена быковской (верхняя часть) и красноярковской свитами [10]. Верхняя часть быковской свиты сложена преимущественно аргиллитами, содержащими известковые конкреции и прослои витрокластических туфов (более 700 м). Из нижних и средних слоев обнажающейся части быковской свиты (сантонская зона *Inoceramus amakuensis*) установлен следующий комплекс моллюсков: *Inoceramus amakuensis* Nagao et Mat., *Damesites damesi* (Jimbo), *Menuites sutneri* (Yok.), *Yokoyamaoceras ishikawai* (Jimbo), *Gaudryceras tenuiliratum*

*Yabe*, *Tetragonites popetensis* Yabe, *Tetragonites glabrus* (Jimbo), *Hypophylloceras subramosum* (Shimizu), *Polyptychoceras obstrictum* (Jimbo), *Subptychoceras yubarensense* (Yabe).

Верхние слои быковской свиты (нижнекампанская зона *Platyceramus japonicus*) охарактеризованы следующим комплексом моллюсков: *Platyceramus japonicus* (Nagao et Mat.), *Eubostrychoceras densicostatus* Mat., *Menuites naumanni* (Yok.), *Gaudryceras denseplicatum* Jimbo, *G. tenuiliratum* Yabe, *Tetragonites popetensis* Yabe, *Tetragonites glabrus* (Jimbo), *Yokoyamaoceras ishikawai* (Jimbo), *Hauriceras angustum* Yabe, *Polyptychoceras obstrictum* (Jimbo), *Subptychoceras yubarensense* (Yabe).

Нижняя часть красноярковской свиты сложена преимущественно песчаниками и песчанистыми алевролитами с известковыми конкрециями, верхняя ее часть — песчаниками и конгломератами (380 м).

Комплекс моллюсков базальной части красноярковской свиты (нижнекампанская зона *Sphenoceramus schmidtii*) представлен следующими видами: *Sphenoceramus naumanni* (Yok.), *Eupachydiscus haradai* (Jimbo), *Baculites* sp., *Polyptychoceras pseudogaultinum* (Yok.). Средняя часть красноярковской свиты (нижнекампанская зона *Sphenoceramus schmidtii*) охарактеризована *Sphenoceramus schmidtii* Michael и *Gigantocapulus giganteus* (Schmidt), а ее верхняя часть (нижняя часть верхнего кампана) — *Canadoceras kossmati* Mat., *Tetragonites popetensis* Yabe, *T. glabrus* (Jimbo), *Desmo-*

*phylloides* (Forbes). Аммонит *Pachydiscus soyaensis* Mat. et Miyauchi, обнаруженный Я. Шигэтой в конкреции из аллювия, происходит, возможно, из верхней части красноярковской свиты.

Стабильные изотопы  
аргонитовых раковин аммоноидей

Значения  $\delta^{18}\text{O}$  и  $\delta^{13}\text{C}$  в крупных раковинах *Menuites naumanni* из нижней части нижнего кампана р. Горбуши, отличающихся высокой степенью сохранности (первая стадия диагенеза — содержание арагонита достигает 100%), колеблются соответственно от  $-0,40$  до  $0,0\%$  и от  $-1,7$  до  $-1,3\%$  (рис 2, табл. 1, пробы KR1024-1 — септа, KR1024-2 — стенка).

Значения  $\delta^{18}\text{O}$  в раковинах нижекампанских *Tetragonites glabrus* р. Кузнецовки, характеризующихся несколько худшей степенью сохранности (вторая стадия диагенеза — 77–86% арагонита) флуктуируют от  $-2,0$  до  $-1,7\%$  (табл. 1, пробы KR3002-1 — стенка, KR3002-4 — септа). Значения  $\delta^{13}\text{C}$  изменяются от  $-2,1$  до  $-0,5\%$ .

Раковины *Canadoceras kossmati*, *Desmophyllites diphyloides*, *Tetragonites glabrus* и *Baculites* sp. из нижней части верхнего кампана рек Горбуша, Луза и Рифлянка, соответствующие по своей степени сохранности первой и второй стадиям диагенеза (90–100% арагонита), характеризуются более высокими

значениями  $\delta^{18}\text{O}$ , колеблющимися от  $-0,8$  до  $0,0\%$ . (табл. 1, пробы KR1012, KR1013, KR2001(KR-7/8), KR500-1p). Значения  $\delta^{13}\text{C}$ , как и в предыдущих случаях, отрицательные.

Сакаса-гава, Ваक्кавенбетсу, Абешинай  
и Осошинай (Хоккайдо)

Биостратиграфические данные

Базальные слои кампана на Хоккайдо сложены преимущественно аргиллитами с известковыми конкрециями (базальные слои верхнего подразделения серии Езо, верхняя часть формации Хаборогава, зона *Platysceramus japonicum*) [12, 13]. 15 анализированных проб были отобраны из раковин моллюсков, собранных в 100-метровом интервале зоны *Platysceramus japonicum* разреза Сакаса-гава (рис. 3).

Средняя часть верхнего подразделения серии Езо (интервал зон *Platysceramus japonicum* и *Sphenoceramus schmidti*) и верхняя часть этого подразделения (зона *Sphenoceramus schmidti*) на Хоккайдо состоит также из аргиллитов с известковыми конкрециями [6]. Органогенные карбонаты для изотопного анализа были отобраны из 150–200-метрового интервала зон *Platysceramus japonicum* и *Sphenoceramus schmidti* в разрезах: Абешинай (11 проб), Ваक्кавенбетсу (1 проба) и Осошинай (1 проба).

Таблица 1

Данные по изотопам углерода и кислорода арагонитовых раковин аммоноидей кампанского яруса п-ва Крильон, Южный Сахалин

№ проб	Видовое название	Свита, (подъярус), местонахождение	Места отбора проб (В, мм)	Диагенетические изменения				$\delta^{13}\text{C}$ (PDB), ‰	$\delta^{18}\text{O}$ (PDB), ‰	ТС, по [5]
				диагенетическая стадия	арагонит, %	$\alpha\text{-SiO}_2$ , %	цвет			
KR3002-1	<i>Tetragonites glabrus</i> (Jimbo)	быковская (средняя часть), основание кампана, р. Кузнецовка	30 (стенка)	2	77±3	0	кремовый	-2,1	-2,0	24,2
KR3002-4	<i>Tetragonites glabrus</i> (Jimbo)	то же	24 (септа)	2	86±3	0	то же	-0,5	-1,7	22,9
KR1013	<i>Baculites</i> sp.	красноярковская (нижняя часть), основание верхнего кампана, р. Горбуша	10 (стенка)	1	100	0	золотисто-кремовый	-0,8	-0,7	18,5
KR1012	<i>Canadoceras kossmati</i> Matsumoto	то же	100 (дорзальная стенка)	1	100	0	серебристо-кремовый	-1,7	-0,4	17,2
KR500-1p	<i>Desmophyllites diphyloides</i> (Forbes)	красноярковская (нижняя часть), основание верхнего кампана, р. Луза	8	2	80±5	мало	золотисто-кремовый	-4,5	-0,8	19,0
KR2001 (KR7/8)	<i>Tetragonites glabrus</i> (Jimbo)	красноярковская (нижняя часть), основание верхнего кампана, р. Рифлянка	> 50	1	100	0	кремовый	-2,0	0,0	15,5
KR1024-1	<i>Menuites naumanni</i> (Yokoyama)	быковская (средняя часть), основание кампана, р. Горбуша	140 (септа)	1	100	0	то же	-1,7	-0,4	17,2
KR1024-2	та же раковина	то же	140 (стенка)	1	100	следы	то же	-1,3	0,0	15,5

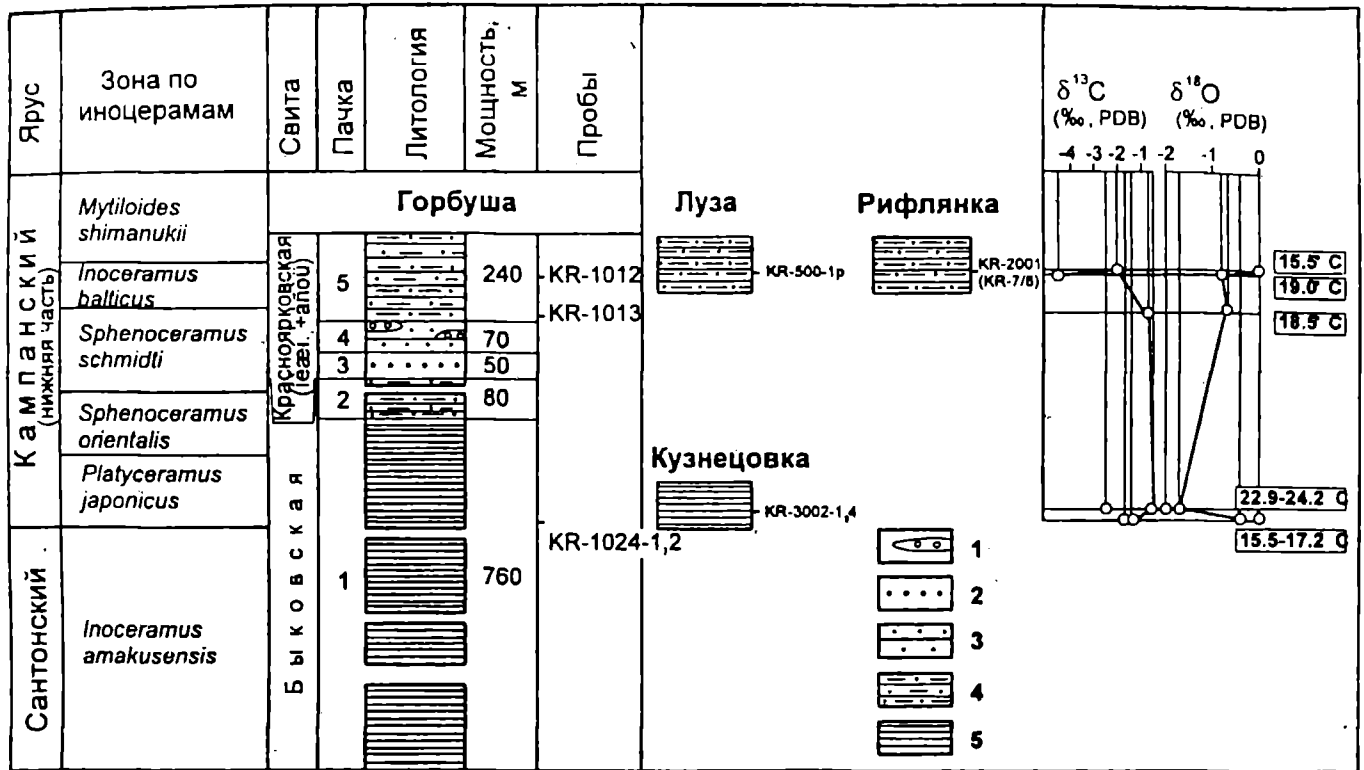


Рис. 2. Значения  $\delta^{18}O$  и  $\delta^{13}C$  в арагонитовых раковинах кампанских аммоноидей быковской и красноярковской свит п-ова Крильон, Южный Сахалин: 1 — конгломераты; 2 — грубозернистые песчаники; 3 — мелкозернистые песчаники; 4 — песчанистые алевролиты; 5 — аргиллиты, по [10]

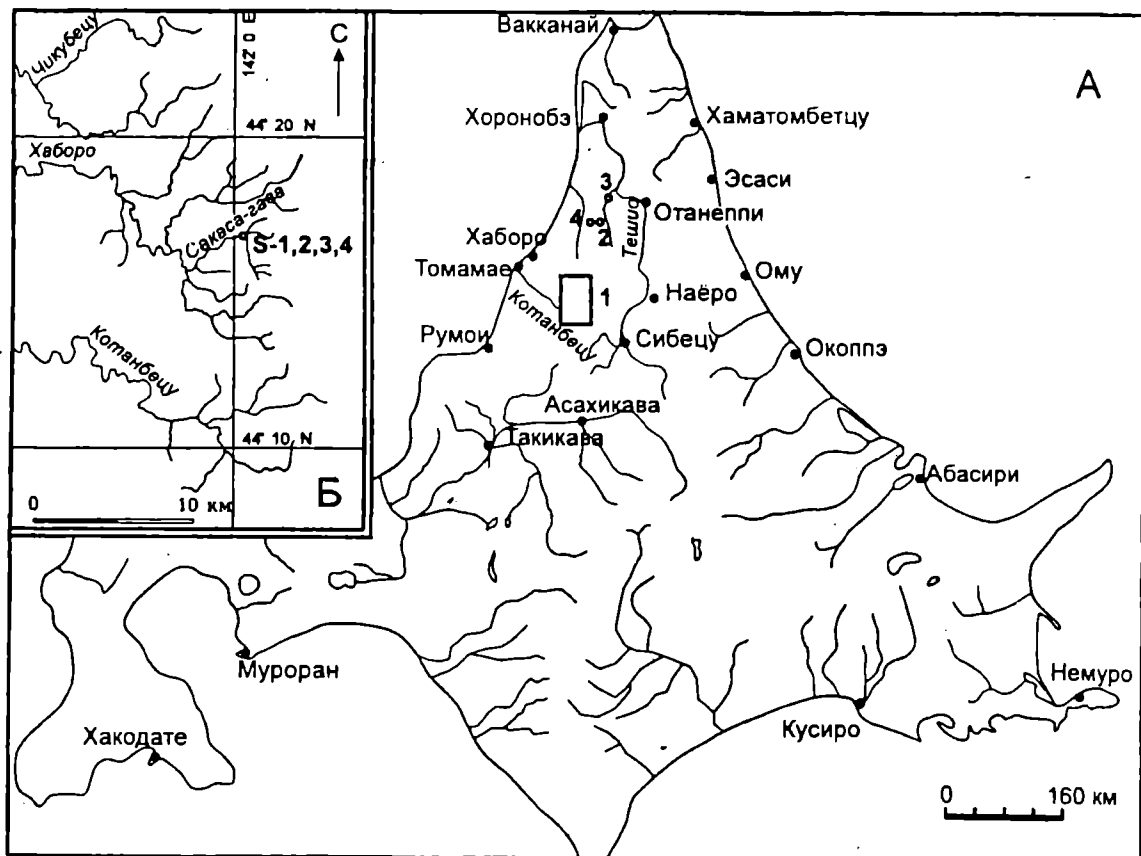


Рис. 3. Схема расположения разрезов на Хоккайдо (А): 1 — Сакаса-гава, 2 — Вакавенбетсу, 3 — Абешиннай, 4 — Осошиннай. Б — местонахождения в бассейне р. Сакаса-гава: S-1, 2, 3, 4

Стабильные изотопы  
арагонитовых раковин моллюсков

Наиболее высокие значения  $\delta^{18}\text{O}$  установлены в органических карбонатах базальных слоев кампана в отлично (96—100% арагонита) и хорошо (73—94% арагонита) сохранившихся раковинах аммоноидей разреза Сакаса-гава (*Damesites damesi*, *Hypophylloceras* (*Neophylloceras*) *subramosum*, *Tetragonites glabrus*, *Polyptychoceras* sp., *Menuites* sp., *Yokoyamaoceras* sp.). Значения  $\delta^{18}\text{O}$  здесь колеблются между  $-1,1$  и  $-0,4\text{‰}$  (табл. 2, пробы S-1-1, S-1-1a, S-1a, S-1-2, S-2-9, S-2-7, S-2-6, S-3-5, S-4a, S-1). Но в отлично и хорошо сохранившихся раковинах иноцерамид из того же местонахождения значения  $\delta^{18}\text{O}$  значительно ниже (колеблются между  $-3,6$  и  $-0,5\text{‰}$  (табл. 2, пробы S-3-2, S-4-1, S-4-2)). Значения  $\delta^{13}\text{C}$  в раковинах хорошо со-

хранившихся аммоноидей и иноцерамид из базальных слоев кампана флуктуирует, соответственно, от  $-2,5$  до  $3,8\text{‰}$  и от  $-1,5$  до  $4,9\text{‰}$ . В диагенетически заметно измененных раковинах аммоноидей, соответствующих третьей и четвертой стадиям диагенеза (53% арагонита и менее), значения  $\delta^{18}\text{O}$  снижаются соответственно до  $-2,9\text{‰}$  (табл. 2, пробы S-2-3) и даже  $-4,5\text{‰}$  (табл. 2, пробы S-2-9a).

Из средней части нижнего кампана были исследованы только отлично и хорошо сохранившиеся раковины аммоноидей, гастропод и иноцерамид разрезов Абешинай, Ваккавенбетсу и Осошинай, содержащие 73—100% арагонита. Значения  $\delta^{18}\text{O}$ , зарегистрированные в раковинах *Polyptychoceras pseudogaultinum*, *Damesites* sp., *Gaudryceras tenuiliratum*, *Eupachydiscus haradai*, *Eupachydiscus* sp. колеблются от  $-0,9$  до  $0,5\text{‰}$  (табл. 3, пробы S-3015f, 3015f, S-3015a-1, S-3006p-7,

Таблица 2

Данные анализов изотопов углерода и кислорода арагонитовых раковин аммоноидей и иноцерамид из основания кампанского яруса р. Сакаса-гава, Хоккайдо

№ проб	Видовое название	Формация (зона)	Места отбора проб (В, мм)	Диагенетические изменения				$\delta^{13}\text{C}$ (PDB), ‰	$\delta^{18}\text{O}$ (PDB), ‰	Т°C, по [5]
				диагенетическая стадия	арагонит, %	$\alpha\text{-SiO}_2$ , %	цвет			
S-1-1	<i>Damesites damesi</i> (Jimbo)	Хаборогава (нижняя часть верхнего подразделения) ( <i>Platyceramus japonicum</i> )	13	2	93±3	следы	кремовый	-1,7	-1,0	19,8
S-1-1a	<i>Damesites damesi</i> (Jimbo)	то же	8	2	90±3	то же	то же	1,1	-0,6	18,1
S-1a	<i>Hypophylloceras</i> ( <i>Neophylloceras</i> ) <i>subramosum</i> (Shimizu)	— " —	30	2	73±3	то же	серебристо-белый	-1,9	-0,7	18,5
S-1-2	<i>Damesites damesi</i> (Jimbo)	— " —	17	2	87±3	то же	кремовый	-1,8	-0,4	17,1
S-2-9	<i>Tetragonites glabrus</i> (Jimbo)	— " —	12	1	96±3	то же	то же	-2,5	-1,1	20,3
S-2-7	та же раковина	— " —	16	2	88±3	то же	— " —	-1,7	-1,0	16,1
S-2-9a	<i>Menuites</i> sp.	— " —	11	4	21±3	то же	белый	-3,9	-4,5	[35,1]
S-2-3	<i>Tetragonites glabrus</i> (Jimbo)	— " —	10	3	53±5	то же	кремовый	0,1	-2,9	[28,0]
S-2-6	<i>Polyptychoceras</i> sp.	— " —	8	2	94±3	0	белый	-0,3	-1,0	19,8
S-3-5	<i>Damesites damesi</i> (Jimbo)	— " —	24 (дорзальная стенка)	2	91±3	0	кремовый	-3,3	-0,7	18,5
S-4a	<i>Menuites</i> sp.	— " —	15?	2	91±3	0	то же	-2,0	-0,7	18,5
S-1	<i>Yokoyamaoceras</i> sp.	— " —	10	—	84±3	0	серебристо-белый	3,8	-1,0	19,9
S-3-2	<i>Inoceramus</i> sp.	— " —	18	—	—	—	то же	-1,5	-0,5	17,6
S-4-1	<i>Inoceramus</i> sp.	— " —	60	1	100	0	— " —	4,9	-2,2	[24,9]
S-4-2	<i>Inoceramus</i> sp.	— " —	> 60	2	88±3	0	кремовый	3,3	-3,6	[31,2]

Примечание. Нереальные палеотемпературы, вызванные влиянием: а) пресных вод — в круглых скобках, б) диагенетическими изменениями — в квадратных скобках.

S3218p-8, 3103-10-9). Значения  $\delta^{18}\text{O}$  некоторых отлично сохранившихся раковин иноцерамид ниже, чем соответствующие значения из раковин аммоноидей того же стратиграфического уровня. Значения  $\delta^{18}\text{O}$  всех исследованных иноцерамид (*Inoceramus* sp., *Sphenoceramus schmidti*, *Sphenoceramus* sp.) из средней части нижнего кампана (табл. 3, пробы S-3015p-7, S-3003p-5, S-3013-2,3,4, S-208-14-8) варьируют от -2,4 до -0,5‰, значения их  $\delta^{13}\text{C}$  значительно выше, чем это зарегистрировано у аммоноидей — в среднем составляют 2,3‰ (у аммоноидей до -3,3‰). Отлично сохранившаяся раковина гастроподы *Anisomyon cassidarius* (со 100% содержанием арагонита) из середины нижнего кампана р. Ваккавенбетсу характеризуется еще более низким значением  $\delta^{18}\text{O}$ , чем это имеет место у иноцерамид разреза Абешиной (-3,4‰), при  $\delta^{13}\text{C} = -0,7‰$  (табл. 3, проба S-3015-3).

Колебания палеотемператур в средних широтах Северного полушария в кампанское время

Рубеж сантона и кампана

Согласно новым изотопным свидетельствам, оптимальные температуры роста многих семипелагических моллюсков — аммоноидей — из базальных слоев кампана, в том числе некоторых пахидисцид (*Menuites* sp.) укладываются в пределах 16,1—20,3°C. Исключение составляет крупный аммонит *Menuites naumanni*, обнаруженный на п-ове Крильон Южного Сахалина, по значениям  $\delta^{18}\text{O}$  раковины которого были получены более низкие палеотемпературы (15,5—17,2°C) (табл. 1 и 2, рис. 4). Нужно отметить, что *Tetragonites glabrus* из базальных слоев кампана Хоккайдо, обитал, видимо, также в несколько более отличных от других видов условиях: его раковинное

Таблица 3

Данные анализов изотопов углерода и кислорода арагонитовых раковин наутилоидей, аммоноидей, двусторок и гастропод средней части нижнего кампана: (1) р. Абешиной, Накагава, район Саку; (2) р. Ваккавенбетсу и р. Осоиной, Хоккайдо (колл. К. Танабэ и Ю.Д. Захарова)

№ проб	Видовое название	Группа (зона), местонахождение	Места отбора проб (В и Д, в мм)	Диагенетические изменения				$\delta^{13}\text{C}$ (PDB), ‰	$\delta^{18}\text{O}$ (PDB), ‰	T°C, по [5]
				диагенетическая стадия	арагонит, %	$\alpha\text{-SiO}_2$ , %	цвет			
S-3015f	<i>Polyptychoceras pseudogaultinum</i> (Yokoyama)	Езо (верхняя часть; зоны <i>Platysceramus japonicum</i> и <i>Sphenoceramus schmidti</i> ); р. Абешиной	В = 9	2	87±3	0	белый	-2,7	-0,5	17,7
3015F	<i>Damesites</i> sp.	то же	В = 13	1	90±1	следы	розовато-кремовый	-1,1	0,3	14,1
S-3015a-1	<i>Gaudryceras tenuiliratum</i> Yabe	— " —	В > 25	2	91±5	то же	кремовый	0,7	-0,6	18,0
S-3006p-7	<i>Eupachydiscus haradai</i> (Jimbo)	— " —	В = 30	1	96±3	0	то же	-1,9	-0,7	18,3
S-3218p-8	<i>Damesites</i> sp.	— " —	В = 12	2	73±3	0	белый	-9,6	-0,9	19,3
3103-10-9	<i>Eupachydiscus</i> sp.	Езо (верхняя часть); р. Ваккавенбетсу	Д = 75	—	—	—	кремовый	-5,4	0,5	13,3
S-3015-3	<i>Anisomyon cassidarius</i> (Yokoyama)	Езо (верхняя часть; зоны <i>Platysceramus japonicum</i> и <i>Sphenoceramus schmidti</i> ); р. Абешиной	В = 15	1	100	0	белый	-0,7	-3,4	(30,1)
S-3015p-7	<i>Inoceramus</i> sp.	то же	В = 43	1	97±3	0	то же	2,3	-2,4	(25,9)
S-3003p-5	<i>Sphenoceramus</i> sp.	— " —	В = 50	1	100	следы	кремовый	3,0	-2,3	(25,5)
S-3013-3	<i>Inoceramus</i> sp.	— " —	В = 20	1	97±3	0	то же	2,4	-1,0	19,6
S-3013-2	та же раковина	— " —	В = 40	1	98±2	0	— " —	2,5	-0,8	18,8
S-3013-4	<i>Inoceramus</i> sp.	— " —	В = 15	—	—	—	— " —	1,9	-0,8	18,8
S-208-14-8	<i>Sphenoceramus schmidti</i> (Michael)	Езо (верхняя часть); р. Осоиной	В = 45	2	94±3	—	— " —	1,5	-0,5	17,5

Примечание. Нереальные палеотемпературы, вызванные влиянием пресных вод, заключены в круглых скобках.

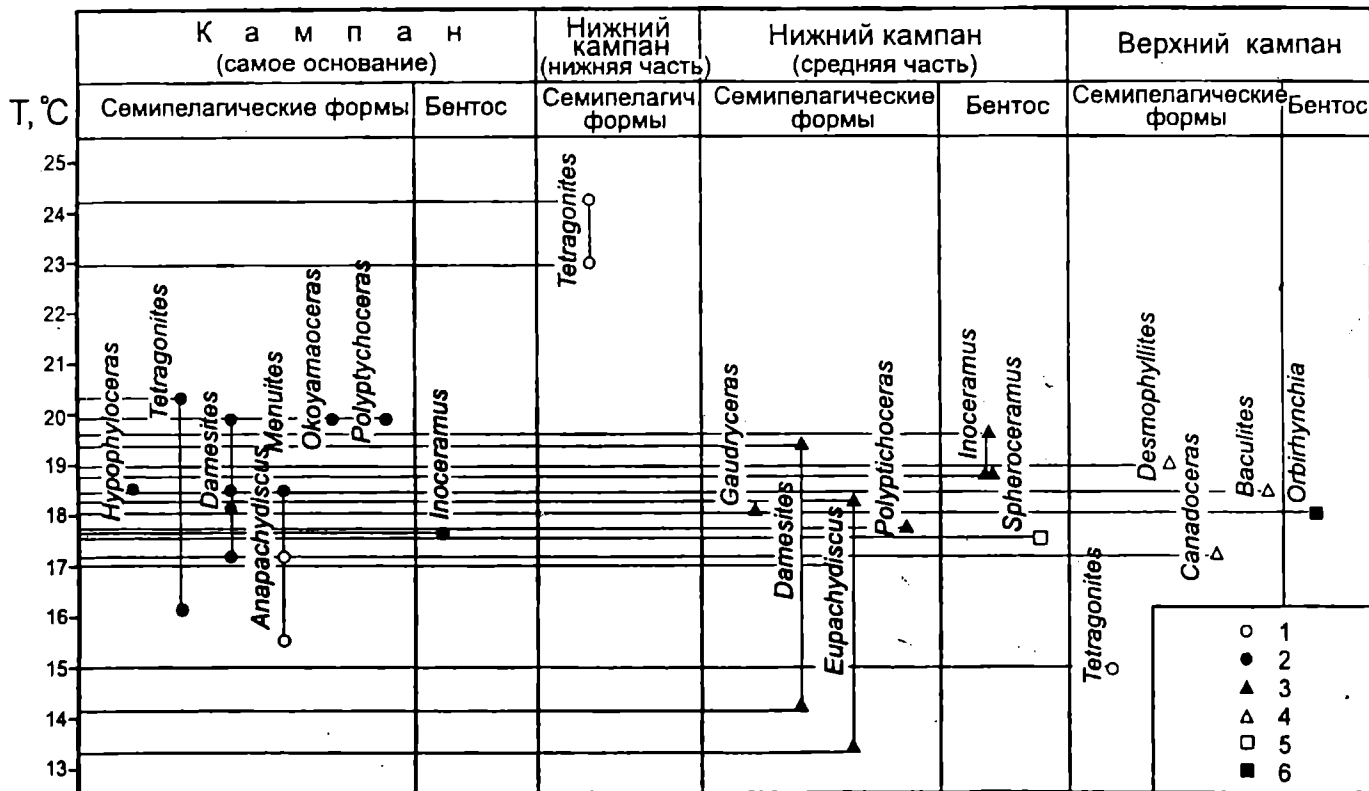


Рис. 4. Сезонные температуры роста раковин семипелагических и бентосных беспозвоночных из кампана Хоккайдо и Сахалина (выборка из 30 экземпляров)

вещество характеризуется относительно более широким диапазоном значений  $\delta^{18}\text{O}$ , соответствующих температурам 16,1–20,3°C. Как и ранее [3], мы интерпретируем нижний температурный уровень, рассчитанный по изотопному составу, как соответствующий зимним сезонам, а верхний — летним.

Палеотемпература (17,6°C), рассчитанная по значению  $\delta^{18}\text{O}$  единственного представителя бентоса (раковина *Inoceramus* sp.) из базальных слоев кампана разреза Сакаса-гава, оказалась близкой к средней температуре (18,7°C), полученной по семи видам аммоноидей из того же местонахождения. Это позволяет, по-видимому, сделать вывод о том, что как планиспиральные (*Damesites damesi*, *Hypophylloceras* (*Neophylloceras*) *subramosum*, *Tetragonites glabrus*, *Meniuites* sp., *Yokoyamaoceras* sp.), так и гетероморфные аммоноидеи (*Polyptychoceras* sp.) в районе Хоккайдо секретировали свой скелет, скорее всего, в придонной части шельфа.

#### Начало раннего кампана

Изотопные палеотемпературы начала раннего кампана, колеблющиеся от 22,9 до 24,2°C, были получены по ограниченному данным — двум раковинам *Tetragonites glabrus* п-ова Крильон, Южный Сахалин (табл. 1, рис. 4).

#### Середина раннего кампана

Оптимальные температуры роста некоторых семипелагических моллюсков (аммоноидей) из средней части нижнего кампана разрезов Абешина и

Ваккавенбетсу на Хоккайдо, полученные по изотопным данным, варьируют от 13,3 до 19,3°C; наиболее низкие палеотемпературы (13,3°C) этого уровня были установлены по крупной раковине *Eupachydiscus* sp. (табл. 3, проба 3103-10-9; рис. 4). Как и в случае с базальными слоями кампана, мы интерпретируем нижний температурный уровень как соответствующий зимним сезонам, а верхний — летним.

Бентосные значения  $\delta^{18}\text{O}$ , пригодные для палеотемпературных определений, были получены по раковинам *Inoceramus* sp. и *Sphenoceramus schmidti* (табл. 3, пробы S-3013-2,3,4, и S-208-14-8), собранным из средней части нижнего кампана разрезов Абешина и Осошина на Хоккайдо. Полученные палеотемпературы (17,5–19,6°C) соответствуют интервалу оптимальных температур роста большинства аммоноидей того же стратиграфического уровня на Хоккайдо, за исключением *Eupachydiscus* sp. (табл. 3, проба 3103-10-9) и *Damesites* sp. (табл. 3, проба 3015F). На этом основании, как и в случае с аммоноидеями из базальных слоев кампана, мы также допускаем возможность того, что и эти планиспиральные (*Gaudryceras tenuiliratum*, *Damesites* sp., *Eupachydiscus haradai*) и гетероморфные (*Polyptychoceras pseudogaultinum*) аммоноидеи из раннего кампана Хоккайдо секретировали свои раковины преимущественно в придонной части шельфа.

#### Начало позднего кампана

Оптимальные температуры роста некоторых аммоноидей из нижней части верхнего кампана п-ова Крильон (Южный Сахалин) варьировали, вероятно,

от 15,5 до 19,0°C (рис. 4); наиболее низкие позднекампанские палеотемпературы (15,5°C) установлены по раковине *Tetragonites glabrus* (табл. 1, проба KR2001 (KR7/8)). Низкие палеотемпературы мы продолжаем условно интерпретировать как зимние, а высокие — как летние. Бентосное значение  $\delta^{18}\text{O}$ , пригодное для расчета палеотемпературы начала позднего кампана, было получено нами ранее по единственной раковине брахиопод *Orbirhynchia* sp. из красноярковской свиты (слой 6—3) р. Найбы Южного Сахалина [15]. Рассчитанная по этому материалу палеотемпература (18,1°C) приходится на диапазон оптимальных температур роста большинства аммоноидей из нижней части верхнего кампана п-ова Крильон (рис. 4), за исключением только *Tetragonites glabrus*, что также свидетельствует в пользу того, что и эти планиспиральные (*Desmophyllites* и *Canadoceras*) и гетероморфные (*Baculites*) аммониты из нижней части верхнего кампана Южного Сахалина формировали свой карбонатный скелет, возможно, в придонной части шельфа.

#### Проблема интерпретации изотопных данных по иноцерамидам

В результате изучения отлично сохранившихся раковин моллюсков из известковых конкреций верхнемеловых отложений Корякского нагорья (Северная Камчатка) и Хоккайдо, в том числе и материала, приводимого в настоящей статье, были получены следующие факты, касающиеся необычного изотопного состава раковин иноцерамид Дальнего Востока:

1. Как арагонитовые элементы некоторых раковин сеноманских *Baiostroina concentricus costatus* р. Таловки (при содержании арагонита 96—100%), так и их оригинально кальцитовые призматические слои характеризуются относительно низкими значениями  $\delta^{18}\text{O}$ , флуктуирующими между  $-3,2$  и  $-0,6\text{‰}$  (соответствуют «нереальным» температурам); но их значения  $\delta^{13}\text{C}$  постоянно положительные и часто необычно высокие (0,7—4,2‰). Однако арагонитовые раковины аммоноидей и некоторых других двустворок *Baiostroina* из тех же местонахождений характеризуются «нормальными» значениями  $\delta^{18}\text{O}$  и  $\delta^{13}\text{C}$  [3].

2. Многие раковины среднетуронских *Inoceramus* sp. р. Эсгичнинваям, несмотря на высокое содержание в них арагонита (95—98%) при очень низком значении анальцима и примеси  $\alpha\text{-SiO}_2$  (следы), характеризуются низкими значениями  $\delta^{18}\text{O}$ , колеблющимися от  $-3,6$  до  $-2,5\text{‰}$  (среднее значение  $-3,0\text{‰}$ ). Палеотемпературы, рассчитанные по этим значениям, как и в первом случае оказываются «нереальными» для высоких широт (26,3—30,9°C); в то же время они также характеризуются высокими значениями  $\delta^{13}\text{C}$  (1,3—4,4‰, среднее значение 3,3‰) [2].

3. Многочисленные раковины позднетуронских *Inoceramus teshiensis* Nagao et Mat. р. Маметты состоят преимущественно из арагонита (87—98%), но они также характеризуются постоянно очень низкими значениями  $\delta^{18}\text{O}$ , флуктуирующими между  $-5,9$  и  $-3,4\text{‰}$ , при среднем значении  $-4,7\text{‰}$ . Другая их особен-

ность, как и в предыдущих случаях, — обычно достаточно высокие значения  $\delta^{13}\text{C}$  (0,7—3,9‰) [2].

4. Необычно низкие значения  $\delta^{18}\text{O}$ , при высоких значениях  $\delta^{13}\text{C}$ , свойственны и арагонитовым элементам крайне редких раковин коньякских *Inoceramus tenuistriatus* Nagao et Mat. ( $\delta^{18}\text{O} = -2,9\text{‰}$ ;  $\delta^{13}\text{C} = 2,1\text{‰}$ ) и *Baiostroina concentricus costatus* Nagao et Mat. ( $\delta^{18}\text{O} = -3,2\text{‰}$ ;  $\delta^{13}\text{C} = 4,7\text{‰}$ ) р. Таловки, представленным 86—90% арагонита. Но один из фрагментов арагонитовой раковины *Inoceramus* sp. и многочисленные арагонитовые раковины аммоноидей из этого же местонахождения характеризуются «нормальными» изотопными значениями [3].

5. Некоторые хорошо сохранившиеся раковины (с 77—91% арагонита) коньякских иноцерамид из района Хаборо на Хоккайдо также характеризуются низкими значениями  $\delta^{18}\text{O}$  (до  $-3,0\text{‰}$ ), сопровождаемыми высокими значениями  $\delta^{13}\text{C}$ ; и они также ассоциируются с многочисленными арагонитовыми раковинами аммоноидей и отдельными хорошо сохранившимися арагонитовыми элементами иноцерамид с «нормальными» значениями  $\delta^{18}\text{O}$  (оригинальные данные).

6. Согласно другим новым данным, излагаемым в настоящей статье, низкие значения  $\delta^{18}\text{O}$ , колеблющиеся от  $-3,6\text{‰}$  до  $-2,2\text{‰}$  и сопровождаемые аномально высокими значениями  $\delta^{13}\text{C}$  (3,3—4,9‰), были обнаружены в двух арагонитовых раковинах *Inoceramus* sp. из базальных слоев кампана р. Сакаса-гава (табл. 2, пробы S-4-1 и S-4-2, рис. 5); в то же время одна из хорошо сохранившихся раковин из тех же слоев из того же местонахождения, как и многие встречающиеся здесь арагонитовые раковины аммоноидей, характеризуется «нормальным» значением  $\delta^{18}\text{O}$  (табл. 2, проба S-3-2, рис. 5); значение ее  $\delta^{13}\text{C}$  отрицательное ( $-1,5\text{‰}$ ).

7. Новая информация по изотопии моллюсков из середины нижнего кампана р. Абешинай, также приводимая в данной статье, показывает, что относительно низкие значения  $\delta^{18}\text{O}$ , варьирующие от  $-2,4\text{‰}$  до  $-2,3\text{‰}$ , свойственны некоторым отлично сохранившимся раковинам иноцерамид (*Sphenoceramus* sp.) (табл. 3, пробы S-3015р-7 и S-3003р-5; рис. 5). Однако большая часть из исследованных арагонитовых раковин иноцерамид (табл. 3, пробы S-3013-2,3,4 и S-208-14-8 из этого же местонахождения), как и аммоноидей, характеризуется «нормальными» значениями  $\delta^{18}\text{O}$  и  $\delta^{13}\text{C}$ . Необычно низкое значение  $\delta^{18}\text{O}$  ( $-3,4\text{‰}$ ) установлено и в арагонитовой (100%) раковине гастроподы *Anisomyon* sp. того же местонахождения, но значение ее  $\delta^{13}\text{C}$  отрицательное ( $-0,7\text{‰}$ ).

Естественно, что все эти факты представляют интерес для палеоэкологических реконструкций. Возможны по крайней мере два объяснения этого, по видимому, широко распространенного явления. Необычно низкие значения  $\delta^{18}\text{O}$  в некоторых хорошо сохранившихся раковинах меловых иноцерамид из сеноманских, туронских, коньякских и кампанских отложений ряда местонахождений Дальнего Востока (сочетающиеся с аномально высокими значениями  $\delta^{13}\text{C}$ ) могли быть вызваны следующими причинами:



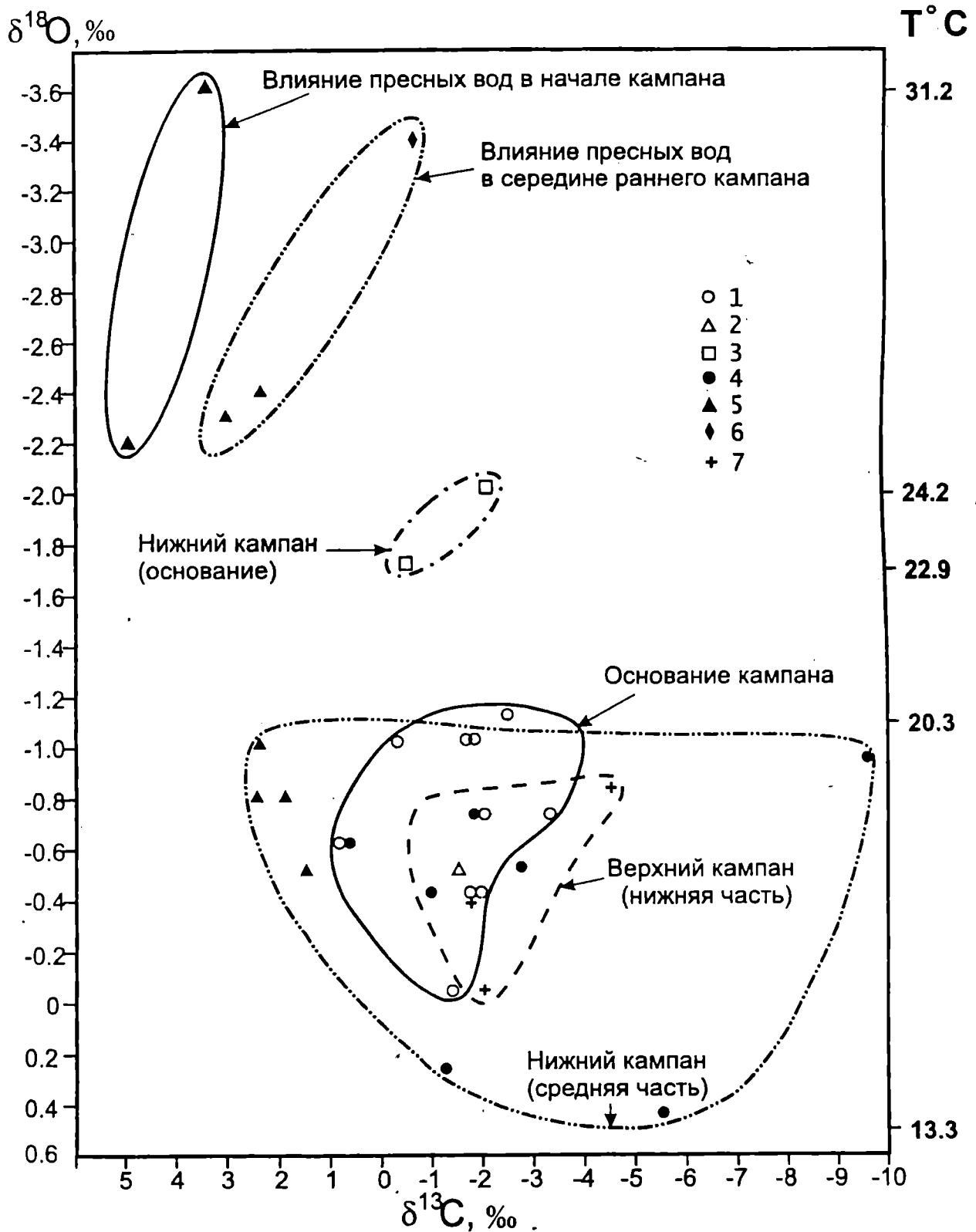


Рис. 5. Изотопный состав раковин арагонитовых моллюсков Хоккайдо и п-ова Крильон:

1 — аммоноидеи из базальных слоев кампана; 2 — иноцерамиды из базальных слоев кампана; 3 — аммоноидеи из нижней части нижнего кампана; 4 — аммоноидеи из средней части нижнего кампана; 5 — иноцерамиды из средней части нижнего кампана; 6 — гастроподы из средней части нижнего кампана; 7 — аммоноидеи из нижней части верхнего кампана

1. Непосредственным участием этих моллюсков в некоторых симбиотических ассоциациях, в итоге это могло найти отражение в искаженном изотопном составе их карбонатного скелета. Ответственными за повышенные значения  $\delta^{13}\text{C}$  в их раковинах могли быть фотосимбионты мелководий. Следует отметить, что именно фотосимбиотической активностью объясняют некоторые исследователи [7, 9, 11] сходные сдвиги в изотопном составе раковин некоторых видов современных и ископаемых фораминифер.

2. Обитанием этих иноцерамид в мелководье, в условиях некоторого опреснения, приводящего к обеднению  $^{18}\text{O}$  в их раковинах, и высокой продуктивностью фитопланктона, с чем связано появление органогенных карбонатов с аномально высокими значениями  $\delta^{13}\text{C}$ . Если предлагаемая версия верна, исследованные нами моллюски, резко различающиеся по изотопному составу их раковин, обитали в разных участках морского бассейна, несмотря на их совместное захоронение. Иноцерамиды, отличающиеся низкими значениями  $\delta^{18}\text{O}$  в их раковинах (при аномально высоких значениях  $\delta^{13}\text{C}$ ), возможно, были обитателями эстуариев или более или менее опресненных заливов.

На данном этапе исследований мы склонны придерживаться второй версии, принимая во внимание некоторые косвенные сведения. Наибольшее развитие иноцерамид с необычным изотопным составом их раковин в Корякском нагорье приходится на период гумидного климата (сеноман—турон) [2], поэтому «иноцерамидный изотопный эффект» было бы логичнее связывать прежде всего с обитанием их в условиях некоторого опреснения отдельных участков морского бассейна и локального обилия здесь фитопланктона.

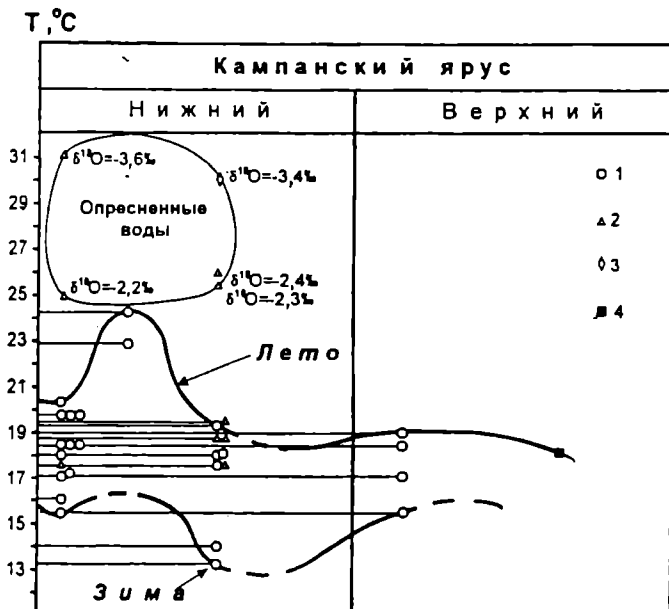


Рис. 6. Сезонные изменения температур вод мелководного бассейна Хоккайдо—Южный Сахалин в кампане:

- 1 — арагонитовые раковины аммоноидей; 2 — арагонитовые элементы иноцерамид; 3 — арагонитовые раковины гастропод; 4 — брахиопода (кальцитовая раковина)

### Заключение

Исходя из данных по изотопным палеотемпературам, полученным по кампанскому бентосу Хоккайдо и Сахалина, обитавшему в полносолесных водах, большая часть раковин кампанских аммоноидей мелководного морского бассейна Хоккайдо—Южный Сахалин секретировалась в придонных условиях шельфа, поэтому, вероятно, все рассчитанные нами палеотемпературы отражают именно эти условия. Предполагается, что вертикальный температурный градиент в шельфовой части бассейнов, располагающихся в средних широтах, в кампане не превышал 2,0—3,0°C, учитывая низкие значения вертикальных температурных градиентов в океанах мелового периода.

Динамика изменения климатических условий в средних широтах Западной Пацифики на основе изотопных данных представляется в следующем виде: по сравнению с рубежом сантона и кампана, для начала кампана характерно, видимо, некоторое увеличение температуры придонных вод мелководий, для середины раннего кампана отмечается ее снижение; по-

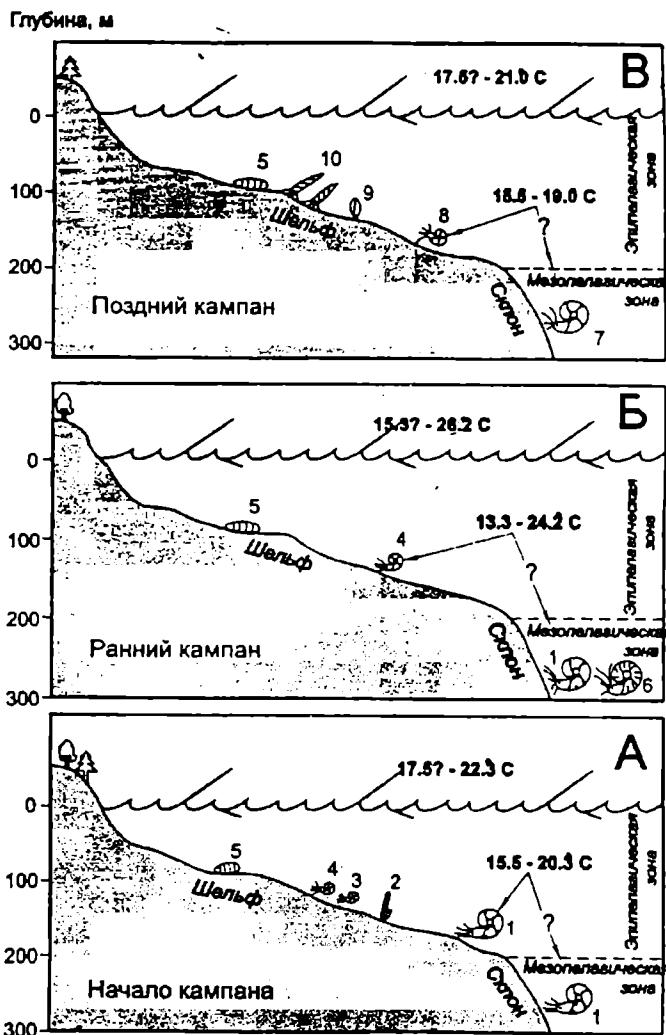


Рис. 7. Изменение оптимальных температур роста беспозвоночных на дистальном шельфе и верхнем склоне. А — начало кампана (Хоккайдо), Б — ранний кампан (Крильон), В — поздний кампан (Крильон и Найба):

- 1 — *Menuites*, 2 — *Polyptichoceras*, 3 — *Damesites*, 4 — *Tetragonites*, 5 — *Inoceramus*, 6 — *Eupachydiscus*, 7 — *Canadoceras*, 8 — *Desmophyllites*, 9 — *Orbiryhynchia*, 10 — *Baculites*

ниженные температуры удерживались, скорее всего, и в начале раннего кампана (рис. 6). Сезонные колебания температур на рубеже сантона и кампана, в середине раннего и начале позднего кампана здесь составляли соответственно 8,5; 6,1 и 3,6°C; но эти расчеты, возможно, требуют некоторой поправки в случае подтверждения версии, согласно которой крупные пахидисциды (*Canadoceras*, *Menuites*, *Eupachydiscus*) и некоторые тетрагонитиды и десмоцератиды время от времени могли мигрировать в более глубокие и

холодные участки моря — внешний шельф и верхнюю часть континентального склона (рис. 7); частично (по десмоцератидам) это версия согласуется с морфологическими данными Дж. Вестермана [14].

Авторы признательны проф. Т. Тасегаве (Канава, Япония) и Х. Хирано (Токио, Япония) за замечания и помощь в подборе литературных данных. Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ («Центр коллективного пользования», № 00—05—72035).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Захаров Ю.Д., Игнатьев А.В., Худоложкин В.О. Стабильные изотопы кислорода и углерода раковин мел-палеогеновых беспозвоночных Сахалина // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1984. Т. 2. С. 24—34.

2. Захаров Ю.Д., Смышляева О.П., Попов А.М. и др. Изотопный состав кислорода и углерода меловых органических карбонатов Корякского нагорья. Ст. 1. Пенжинская губа // Тихоокеан. геол. 2002. Т. 21, № 2. С. 55—73.

3. Захаров Ю.Д., Смышляева О.П., Попов А.М. и др. Изотопный состав кислорода и углерода меловых органических карбонатов Корякского нагорья. Ст. 2. Бассейн р. Таловки // Тихоокеан. геол. 2002. Т. 21, № 5. С. 28—40.

4. Davis T.T., Hooper P.R. The determination of the calcite: aragonite ratio in mollusc shells by x-ray diffraction // Mineralogical Magazine. 1963. Vol. 33. N 262. P. 608—12.

5. Grossman E.L., Ku T.-L. Oxygen and carbon isotope fractionation in biogenic aragonite: temperature effects // Chemical Geology. 1986. Vol. 59. P. 59—74.

6. Hirano H., Tanabe K., Ando H., Futakami M. Cretaceous forearc basin of central Hokkaido: lithofacies and biofacies characteristics // 29<sup>th</sup> International Geological Congress field trip CO2. Kyoto, 1992. P. 45—80.

7. Houston R.M., Huber B., Spero H.J. Size-related isotopic trends in some Maastrichtian planktic foraminifera: methodological comparisons, intraspecific variability, and evidence for photosymbiosis // Micropaleontology. 1999. Vol. 36. P. 169—188.

8. Kodama K., Maeda H., Shigeta Y. et al. Magnetostratigraphy of Upper Cretaceous strata in South Sakhalin,

Russian Far East // Cretaceous Res. 2000. Vol. 21. P. 469—78.

9. Pearson P.N., Ditchfield P.W., Singano, J. et al. Warm tropical sea surface temperatures in the Late Cretaceous and Eocene epochs // Nature. 2001. Vol. 413, N 4. P. 481—487.

10. Shigeta Y., Maeda H., Solov'ov V. Stratigraphy of the Upper Cretaceous system in the Kril'on Peninsula, South Sakhalin, Russia // Bull. Nat. Sci. Mus. 1999. Ser. C. Vol. 25, N 1, 2. P. 1—27.

11. Spero H.J. Do planctonic foraminifera accurately record shifts in the carbon isotopic composition of sea  $\text{CO}_2$ ? // Mar. Micropaleontol. 1992. Vol. 19. P. 275—285.

12. Toshimitsu S. Biostratigraphy of the Upper Cretaceous Santonian Stage in Northwestern Hokkaido // Mem. Fac. Sci. Kyushu University. 1988. Ser. D. Vol. 26, N 2 P. 125—192.

13. Toshimitsu S., Kikawa E. Bio- and magnetostratigraphy of the Santonian-Campanian transition in northwestern Hokkaido, Japan // Mem. Geol. Soc. Japan. 1997. Vol. 48. P. 142—151.

14. Westermann G.E.G. Ammonoid life and habitat // Ammonoid Paleobiology / Eds. N.H. Landmann, K. Tanabe and R.A. Davis. New York & London, 1996. P. 607—707.

15. Zakharov Y.D., Boriskina N.G., Ignatyev A.V. et al. Palaeotemperature curve for the Late Cretaceous of the northwestern circum-Pacific // Cretaceous Research. 1999. Vol. 20. P. 685—697.

16. Zakharov Y.D., Ignatyev A.V., Ukhaneva N.G., Afanasieva T.B. Cretaceous ammonoid succession in the Far East (South Sakhalin) and the basic factors of syngeneses // Bul. Inst. Royal Sci. Nat. Bel. Sci. Terre. 1996. Vol. 66. P. 109—127.

Дальневосточный геологический ин-т ДВО РАН, Владивосток  
Национальный научный музей, Токио (Япония)  
Токийский университет (Япония)  
Университет в Киото (Япония)

Поступила в редакцию  
10.12.02

#### OPTIMUM GROWTH TEMPERATURES FOR CAMPANIAN AMMONOIDS IN SAKHALIN AND HOKKAIDO ON STABLE ISOTOPE DATA

Yu.D. Zakharov, O.P. Smyshlyayeva, Y. Shigeta, K. Tanabe, H. Maeda,  
A.V. Ignatyev, T.A. Velivetskaya, A.M. Popov, T.B. Afanasieva, K. Moria

New data on oxygen-isotopic paleotemperatures for the Campanian of the South Sakhalin (Kriilon Peninsula) and Hokkaido agree with paleomagnetic results [8] showing that South Sakhalin seems to be located in the subtropic zone of the Northern Hemisphere (35° N) during Late Cretaceous. Judging from isotopic paleotemperatures obtained from some shells of Campanian benthic invertebrates from the Hokkaido (new data) and the Naiba River basin of South Sakhalin [15], inhabited in areas of water with normal salinity, the mentioned ammonoid shells were most likely formed in near bottom conditions, therefore all calculated temperatures obtained from ammonoid shell material reflect apparently mainly bottom-water environments of a shallow marine basin. A moderate temperature increase appear to have occurred in the beginning of Campanian. In middle Early Campanian temperatures apparently dropped moderately remaining without any conspicuous changes during early Late Campanian. Seasonal temperature variations are estimated at 8,5, 6,1 and 3,6°C for earliest, middle Early and early Late Campanian correspondingly. But this calculation needs in some correction in case of confirmation of a version according which some pachydiscid ammonoids with large shells (*Canadoceras*, *Menuites* and *Eupachydiscus*) and possibly some tetragonitids, as well as desmoceratids were able to migrate in colder and deeper waters (distal shelf and upper slope) from time to time.