

УДК 551.77:561.26(265.2)

**В.С. ПУШКАРЬ<sup>1,3</sup>, М.В. ЧЕРЕПАНОВА<sup>2</sup>, О.Ю. ЛИХАЧЕВА<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Дальневосточный геологический ин-т ДВО РАН,  
пр. 100-летия Владивостока, 159, Владивосток 690022, Россия

<sup>2</sup>Биолого-почвенный ин-т ДВО РАН,  
пр. 100-летия Владивостока, 159, Владивосток 690022, Россия

<sup>3</sup>Дальневосточный федеральный ун-т,  
ул. Суханова, 8, Владивосток 690091, Россия

## **ЗОНАЛЬНАЯ ДИАТОМОВАЯ ШКАЛА ПЛИОЦЕНА И КВАРТЕРА СЕВЕРНОЙ ПАЦИФИКИ**

Разработан вариант высокоразрешающей зональной диатомовой шкалы на основе стратиграфического распространения диатомей в отложениях плиоцена и квартера Северной Пацифики. При ее разработке использован анализ эволюционного появления и исчезновения видов диатомей в северной части Тихого океана, обеспечивший проведение зональных границ. Предлагаемые диатомовые зоны прослежены в различных фациях северной части Тихого океана, в основном в субарктических широтах. Проведенный анализ появления и исчезновения видов диатомей в различных биогеографических зонах показал пространственно-временное скольжение зональных границ, что обусловлено скоростями изменения плотностей и ареалов палеопопуляций при их экспансии или деградации. Это условие необходимо учитывать при корреляции отложений различных биогеографических областей, характеризующихся конкретными поверхностными водными массами.

**К л ю ч е в ы е с л о в а :** диатомеи, биостратиграфия, плиоцен, антропоген, Северная Пацифика.

### **Введение**

Проблема разработки зональных шкал для проведения стратиграфического расчленения и корреляции морских отложений является одной из важнейших в стратиграфии. Диатомовые водоросли, обладая быстрыми реакциями на изменения экологических параметров среды, а также быстрыми темпами эволюции, представляют собой стратиграфически информативную группу микроорганизмов, створки которых хорошо сохраняются в осадках, а их концентрация в грамме осадка достигает сотен миллионов. К настоящему времени создан ряд провинциальных и межрегиональных диатомовых шкал, служащих надежным стратиграфическим инструментом (Гладенков, 2007).

© В.С. Пушкарь, М.В. Черепанова, О.Ю. Лихачева, 2014

Впервые диатомовые зоны в отложениях Тихоокеанского региона были выделены И. Коизуми без видов-индексов для неогеновых толщ п-ова Ога Японии (Koizumi, 1968) и с видами-индексами – Дж. Донау для отложений бореальных областей Тихого океана (Donahue, 1970). В своих построениях Дж. Донау использовала климатостратиграфическую последовательность комплексов диатомей, выделенных А.П. Жузе в бореальной области Тихого океана (Жузе, 1962, 1968, 1969, 1980). Начиная с этих работ, все зональные диатомовые шкалы традиционно привязывались к климатостратиграфической, кислородно-изотопной и палеомагнитной основам (Cande, Kent, 1992, 1995; Berggre et al., 1995; Williams et al., 1998; Laukhin et al., 2006), которых придерживаются и авторы данной статьи. Исследования последних лет, полный анализ которых приведен в работе А.Ю. Гладенкова (2007), показали, что диатомовая шкала северной части Тихого океана и ее варианты являются надежным инструментом в биостратиграфической практике. В различных вариантах шкалы их верхняя часть (плиоцен – квартал) менее всего подвергалась изменениям за последние двадцать лет (Гладенков, 2007). Полученные к настоящему времени данные по уровням эволюционного появления и исчезновения видов диатомей (Пушкарь и др., 1998а, б; Гладенков, 2007; Schrader, 1973; Koizum, 1975а, b, c, 1985, 1986а, b, 1992, 2010; Barron, 1981, 1990, 1992а, b; Baldauf, 1985; Koizumi, Tanimura, 1985; Gladenkov, 1994; Gladenkov, Barron, 1995; Fourtanier, 1995) создают предпосылки для проведения детализации верхней части действующей шкалы, что и послужило целью данной работы.

В данной работе граница между неогеном и кварталом, согласно решению Международного союза геологических наук (IUGS) в 2009 г., принята на уровне 2,58 млн лет (Гладенков, 2011). Такое положение уже учтено в морских диатомовых зональных шкалах (Гладенков, 2011). Поскольку номенклатура подразделений квартера еще находится в стадии дискуссий и разработки, для понимания текста мы сохраняем в нем и такие подразделения, как плейстоцен в том стратиграфическом объеме, который был принят ранее.

### Материалы и методы

При разработке варианта зональной шкалы использован анализ стратиграфического распространения диатомей в многочисленных разрезах северной части Тихого океана, изученных нами (рис. 1), а также материалы по датированным диатомовым уровням с их привязкой к палеомагнитной шкале (Пушкарь др., 1998а, б; Гладенков, 2007; Пушкарь, Черепанова, 2008; Koizumi, 1968, 1973b, 1975а, b; International ..., 1976; Barron, 1980, 1981, 1985, 1992; Harper, 1980; Akiba, 1986; Barron, Baldauf, 1990; Cande, Kent, 1992). При выделении комплексов диатомей в конкретных разрезах их пространственно-временным прослеживанием (рис. 2), а также установлением биостратиграфических подразделений использованы материалы 19, 31, 56-57 рейсов б/с “Glomar Challenger”, 1, 11, 13, 15 рейсов НИС “Каллисто”, 4 рейса НИС “Александр Несмеянов”, 33-34 НИС

“Первенец” в умеренных и высоких широтах Северо-Западной Пацифики, а также 13 рейса НИС “Александр Виноградов”, 8 и 14 рейсов НИС “Геолог Петр Антропов”, 8 рейса НИС “Степан Малыгин” в Центральной и Восточной Пацифике.

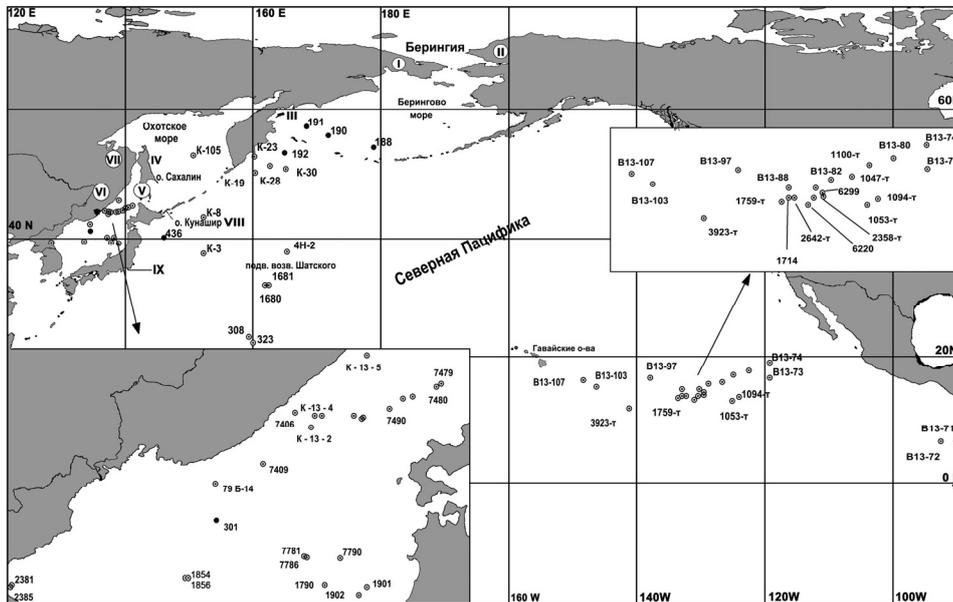


Рис. 1. Схема расположения основных изученных разрезов отложений плейстоцена и квартера:

- — скважины; ○ — колонки: I — рыгытгынская толща плейстоцена и квартера, четвертичные отложения Чукотки; II — плио-плейстоценовые формации Gubik, Baldwin Silt, Notam Inlet Аляски; III — усть-лимимтэваямская свита о-ва Карагинский; IV — четвертичные отложения шельфа Восточного Сахалина, V — маруямская свита верхнего миоцена и плейстоцена Южного Сахалина; VI-VII — четвертичные отложения Приморья и Приморского шельфа, Северо-Западного Приохотья; VIII — головнинская свита (плиоцен-квартер), белозерские слои (плейстоцен) о-ва Кунашир; IX — формации группы Kazusa (плейстоцен) п-ова Босо (Хоккайдо) Японии

В соответствии с номенклатурой биостратиграфических подразделений и правилами их выделения (Стратиграфический ..., 2006), под биостратиграфической зоной понимается «совокупность слоев, которая характеризуется определенным таксоном или комплексом древних организмов (зональный комплекс), отличающимися от таковых в подстилающих и перекрывающих слоях, и имеющей нижнюю и верхнюю границы, установленные биостратиграфическим методом» (Стратиграфический ..., 2006, с. 38). По палеонтологическим критериям (в статье — диатомовые водоросли), биостратиграфические подразделения могут быть представлены различными видами зон, анализ которых приведен в работах В.С. Пушкаря и М.В. Черепановой (2001, 2008), а также в работе А.Ю. Гладенкова (2007). В статье в основном использованы два вида

зон, характеристика которых приводится как в «Стратиграфическом кодексе России» (2006), так и в «Международном стратиграфическом руководстве» (International ..., 1976):

– зона совместного распространения таксона (Concurrent-range zone) – отложения, характеризующиеся совпадающими частями интервалов стратиграфического распространения двух или нескольких таксонов (как правило, видами-индексами зон);

– интервал-зона (Interval zone) – отложения, заключенные между уровнями появления каких-либо таксонов. А.Ю. Гладенков (2007) допускает также возможность определения границ зоны по исчезновению каких-либо таксонов, чего придерживается также большинство зарубежных биостратиграфов. В Международном стратиграфическом руководстве (International ..., 1976) этому виду зон соответствуют Interval zone и Partial-range zone (зона частичного распространения таксона). В таком варианте вид-индекс зоны, как правило, исчезает на ее верхней границе.

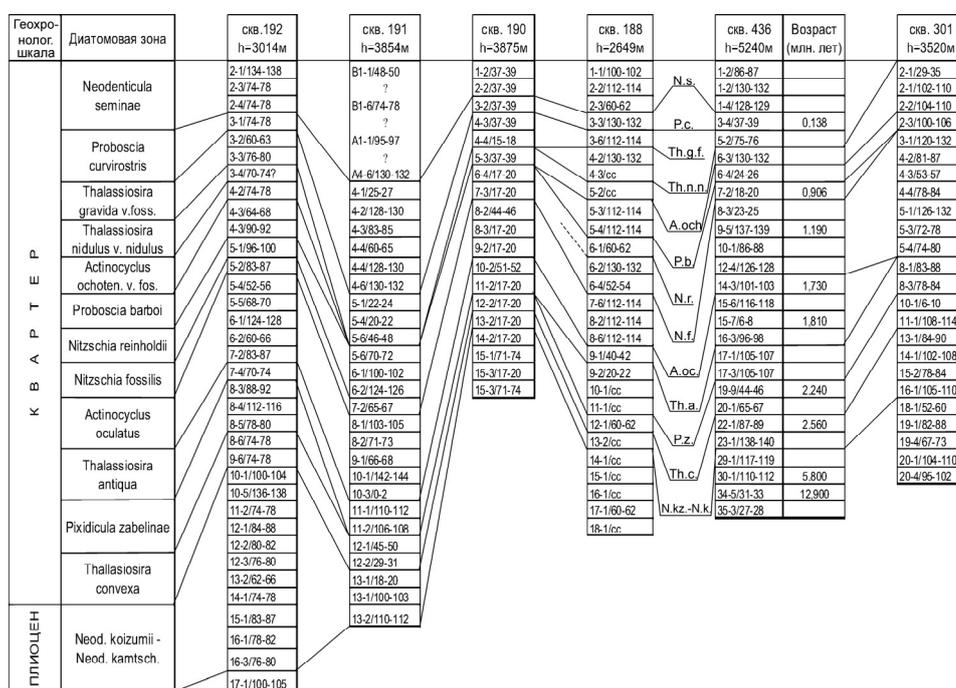


Рис. 2. Межрегиональная корреляция зональных подразделений и их границ в скважинах глубоководного бурения

При разработке шкал допускается совместное использование нескольких видов зон, что способствует ее детализации (Гладенков, 2007).

Обсуждаемый в статье вариант статуса шкалы относится к провинциальным шкалам, охватывающим в основном области субарктической Пацифики, а выделяемые нами подразделения не рассматриваются в ранге хронозон, являющихся подразделениями яруса Общей стратиграфической шкалы (Стратиграфическом кодексе России, 2006).

При анализе уровня первого эволюционного появления или исчезновения вида-индекса зон в качестве сравнения нами использован материал по субтропическим и тропическим областям. Сравнительный анализ частот встречаемости стратиграфически важных видов в разных широтах позволяет оценить их ареалы, а также изменения площадей последних при деградации (вымирании) или расширении (при возникновении вида). Такой анализ позволяет также решить вопрос о характере исчезновения или появления вида (эволюционное или экологическое), проследить его рекуррентную способность или фенотипическую изменчивость (Пушкарь, Черепанова, 2001, 2008; Cherepanova et al., 2010).

При выборе видов-индексов зон авторы основывались на:

- их достаточно обширном географическом ареале;
- их распространению не только в пелагических, но и в шельфовых фациях;
- наличию изотопных или косвенно датированных (привязка к палеомагнитной и изотопно-кислородной шкалам) уровней появления или исчезновения видов диатомей.

Подобная работа с учетом транзитных географических областей ранее была осуществлена И. Коизуми (Koizumi, 1975a, b, 1986; Koizumi, Tanimura, 1985) и Г. Шредером (Schradler, 1973).

Правомочность выделения зональных подразделений (рис. 2, 3) была проверена при расчленении и корреляции плиоценовых и четвертичных морских толщ не только Северной Пацифики (Пушкарь, Черепанова, 2001, 2008), но и континентальных окраин – Курилы, Сахалин, Чукотка, Аляска (Малахов, Пушкарь, 1990; Короткий и др., 1997; Пушкарь, Черепанова, 2001, 2008; Марков и др., 2005; Ganzei, Gorbarenko, Komarov, 1980; Pushkar et al., 1999; Cherepanova et al., 2002; Lisiecki, Raymo, 2005; Pushkar, Cherepanova, 2011). Распределение стратиграфических маркеров и зональных видов диатомей (рис. 4) контролировалось в конкретных колонках и скважинах данными по кислородно-изотопной и палеомагнитной стратиграфии, абсолютного датирования по  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ ,  $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ , термолюминесцентного и аминокислотного анализов, а также трекового датирования (Малахов, Пушкарь, 1990; Пушкарь и др., 1998а, б; Пушкарь, Черепанова, 2001, 2008; Ganzei et al., 1980; Pushkar, Cherepanova, 2011).

Для проведения статистического анализа соотношения видов диатомей в препаратах, приготовленных по стандартной методике (Диатомовые ..., 1974), подсчитывалось 200–300 створок диатомей. Для выявления редко встречающихся видов наряду с небогатенными осадками просматривали препараты из обогащенных осадков (применяли тяжелую жидкость с  $d = 2,4–2,6$ ).

## Результаты и обсуждение

В результате изучения стратиграфического распространения диатомей в разрезах, последующей их корреляции с анализом уровней появления или исчезновения видов выделены следующие зоны.

**Зона *Neodenticula koizumii* – *N. kamtschatica***

**Категория:** зона совместного распространения (concurrent-range zone).

**Определение.** Интервал от первого появления (FO – first occurrence) *N. koizumii* до исчезновения (last occurrence) *N. kamtschatica*.

**Возраст:** 3,7–2,65 млн лет.

**Автор:** I. Koizumi (Koizumi, 1973, 1986).

**Палеомагнитная корреляция:** верхняя часть хрона C2Ar (Gilbert) – самая верхняя часть подхрона C2An.1n хрона C2An (Gauss).

**Дополнительные маркеры:** на верхней границе – исчезновение *Koizumia* (= *Rossiella*) *tatsunokuchiensis* и первое появление *Stephanopyxis horridus*; у нижней – первые находки *Actinocyclus oculatus* и *A. ochotensis* s.l., встречаемость которых с рубежа 3,4 млн лет (подхрон C2An.3n) резко возрастает. С подхроном C2An.2n (3,1–3,2 млн лет) совпадает исчезновение *Thalassiosira nativa*, *Th. marujamica* и *Th. jacksonii*.

**Корреляция с другими зонами:** совпадает с ранее выделявшейся зоной *Denticula seminae* var. *fossilis* (= *Denticulopsis seminae* var. *fossilis* Sim. = *Neodenticula koizumii* Akiba et Yanagisawa) – *D. kamtschatica* (Koizumi, 1973). Дж. Бэррон (Barron, 1980a) у северо-восточных берегов Японии выделял эту зону в интервале 3,1–2,4 млн лет, считая дополнительным маркером нижней границы исчезновение *Thalassiosira nativa*. Зона *Neodenticula koizumii* – *N. kamtschatica* (NPD8) sensu Akiba (1986), выделенная по тем же скважинам, что и у Дж. Бэррона, имеет несколько иной возрастной диапазон – 3,2–2,4 млн лет, хотя Ф. Акиба ссылается при этом на работу Дж. Бэррона.

**Обсуждение:** нижняя граница зоны имеет различные датировки (Koizumi, 1973a, b; Barron, 1980a, b, 1985, 1995; Koizumi, Tanimura, 1985; Barron, Gladenkov, 1995; Gladenkov, Barron, 1995). Разброс датировок уровня первого появления *Neodenticula koizumii* составляет интервал от 3,7 (Koizumi, 1973b; 1986) до 3,1 млн лет (Barron, 1980a, b; Akiba, 1986). Поэтому нижняя граница определяется не только появлением одного из видов-индексов, но и вспомогательными маркерами. Верхняя граница зоны в модификации Дж. Бэррона и А.Ю. Гладенкова датирована в 2,6 млн лет, хотя уровень исчезновения *Neodenticula kamtschatica* дан в диапазоне 2,63–2,7 млн лет, что уже отражает его диахронный характер (Barron, Gladenkov, 1995, tabl. 2). В океанических районах восточнее Северной Японии (скв. 578 и 579 DSDP – Проект глубоководного бурения) этот уровень появления *N. koizumii* датирован 3,4–3,35 млн лет (Koizumi, Tanimura, 1985). Есть данные, что в субарктической Пацифике уровень первого появления *Denticula seminae* var. *fossilis* (= *N. koizumii*) составляет 4,3 млн лет (Burckle, Opdyke, 1977).

И. Коизуми (Koizumi, Tanimura, 1985) предполагал, что первичная палеопопуляция вида *N. koizumii* была приурочена к холодным субарктическим водам северо-западной Пацифики, а граница Субарктического фронта в эпоху Гилберта проходила намного севернее, чем в эпоху Гаусс.

Геохронол. Шкала	Палемагн.Шкала		δ180 ММС	Диатомовые зоны	Датированные диатомовые уровни	
	Хрон	Подхрон				
п л е й с т о ц е н	Б Р Ю Н Е С	C1n	1	Neodenticula seminae		
			4	0.075 (0.095) Ma	Pr. c.	
			5	Proboscia curvirostris	↓	Th. g. f.
				0.13 (0.14) Ma		
			6	Thalassiosira gravida var. fossilis	↓	Th. n. n., S.d.
				0.19 (0.20) Ma		
			7	Thalassiosira nidulus var. nidulus	↓↓	A. och. (common)
				0.22 (0.23) Ma		
			8	Actinocyclus ochotensis var. fossilis	↓↓	A. och.f., Th.js.
				0.28 Ma		
			9 - 14	Proboscia barboi	↓	Pr. b.
				0.55 (0.50) Ma		
				Nitzschia reinholdii	↓	N. r.
				0.78 (0.63) Ma		
п л и о ц е н	М А Т У Я М А	C1r.1r		Nitzschia fossilis	M. el. ↓	
				0.88 Ma		
				1.00 (1.19) Ma	A. oc., C.m.f., Rh.m., N. kz.	
				Actinocyclus oculatus	↑Rh.m. ↓↓↓↓	
				1.20 Ma		
				1.73 Ma	Th. a.(common), S.h.	
				Thalassiosira antiqua	↓↓	
				1.95 Ma	S.d., Pr.c.	
				Pyxidicula zabelinae	↓	
				2.30 (2.20) Ma	P.z.(common), S.h.	
	Thalassiosira convexa	↓				
	2.65 (2.58) Ma	S.h.				
н. в е р х н. Г л. Г А У С С	C2An.1n			3.11 Ma	↓	
					N.k., K.t.	
					Th. n., Th. j.	
					↓	
					↓	
			Neodenticula koizumii - Neodenticula kamtschatica	↑↑ A. oc., A. och.s.l (common)		
			3.40 Ma			
			3.70 (3.10) Ma	N.kz.		

Рис. 3. Зональная диатомовая шкала плиоцена и антропогена Северной Пацифики – модифицирована на основе шкалы Koizumi, Tanimura (1985):

↑ – первое эволюционное появление вида; ↓ – эволюционное исчезновение вида; в скобках указано время вымирания видов в бореальных широтах, без скобок – в субарктических. Диатомеи: N.kz. – *Neodenticula koizumii* Akiba et Yanagisawa, A.oc. – *Actinocyclus oculatus* Jousé, A.och. – *Actinocyclus ochotensis* Jousé, A.och.f. – *Actinocyclus ochotensis* Jousé var. *fossilis* Pushkar, Th.n. – *Th. nativa* Sheshuk., Th.j. – *Thalassiosira jacksonii* Koizumi et Barron, N.k. – *Neodenticula kamtschatica* (Zabelina) Akiba et Yanag., K.t. – *Koizumia tatsunokuchiensis* Yanagisawa, S.h. – *Stephanopyxis horridus* Koizumi, Th.c. – *Thalassiosira convexa* Mukhina, P.z. – *Pyxidicula zabelinae* (Jousé) Makar. et Moiss., S.d. – *Stephanopyxis dimorpha* Schrad., Pr.c. – *Proboscia curvirostris* (Jousé) Jordan et Priddle, Th.a. – *Thalassiosira antiqua* (Grunow) Cl., Rh.m. – *Rhizosolenia matuyamai* Burckle, C.m.f. – *Coscinodiscus marginatus* Ehrenb. var. *fossilis* Jousé, N.f. – *Nitzschia fossilis* (Freng.) Kanaya, N.r. – *Nitzschia reinholdii* Kanaya, Pr.b. – *Proboscia barboi* (Temp. et Brun.) Jordan et Priddle, Th.js. – *Thalassiosira jouseae* Akiba, Th.n.n. – *Thalassiosira nidulus* var. *nidulus* (Temp. et Brun.) Jousé, Th.g.f. – *Thalassiosira gravida* Cl. var. *fossilis* Jousé

Поэтому экспансия палеопопуляционного ареала связана с передвижением Субарктического фронта к югу и падением температур поверхностного слоя воды в умеренных и субтропических широтах. Но тогда остается неясным появление *N. koizumii* на уровне 3,7 млн лет в Японском море (Koizumi, 1986b). Можно лишь предположить, что появление вида в северной части Японского моря, подверженной холодному Приморскому течению, было более ранним, чем в умеренных широтах восточных берегов Японии, где влияние течения Куроисио весьма ощутимо.

Уровень исчезновения *Neodenticula kamtschatica* более выдержан и колеблется в северо-западной Пацифике от 2,7 (Barron, Gladenkov, 1995) до 2,4 млн лет (Akiba, 1986). Правда, Дж. Бэррон и А. Гладенков отмечали уровень резкого падения частот встречаемости *N. kamtschatica* (LCO). В скважине DSDP-436 (см. рис. 2) уровень исчезновения датирован 2,56 млн лет (Ganzei et al., 1980), а в колонке 1856 он отмечен в 10 см ниже отложений подхрона C2An.1n (Пушкарь и др., 1998а). Анализ диахронности уровня исчезновения зонального маркера показывает его некоторое удревнение от умеренных широт к высоким, где в скважинах ODP-145 (программа океанического бурения) его исчезновение характеризуется наиболее древними датировками (Gladenkov, Barron, 1995). Если это так, то расширение ареала *N. kamtschatica* должно было осуществляться в направлении от высоких широт к низким.

Уровень первого появления *Actinocyclus oculatus* в Японском море датируется от 4,2 до 2,2 млн лет (Koizumi, 1986b). Поздние датировки отмечаются для зон действия теплых течений Цусима и Куроисио (Koizumi, Tanimura, 1985; Koizumi, 1986b, 2010). В Северо-Западной Пацифике (ODP-145) этот уровень относительно изохронен — 3,6–3,9 млн лет (Barron, Gladenkov, 1995; Gladenkov, Barron, 1995). Увеличение частот встречаемости *A. oculatus* совпадает со второй половиной подхрона C2An.3n (Barron, 1992). По-видимому, аналогично ведет себя и *Actinocyclus ochotensis* s.l., обнаруженный совместно с *A. oculatus* в верхнеплиоценовых секциях скважин DSDP-19 (Пушкарь и др., 1998а, б; Koizumi, 1973b, 1992). Возможно, оба эти вида параллельно развивались от предкового *A. ingens*, образуя трудно различающиеся между собой формы, особенно в раннем плейстоцене (Жузе, 1968, 1969).

#### **Зона *Thalassiosira convexa***

**Категория:** зона частичного распространения (partial-range zone).

**Определение:** основание зоны — последняя встречаемость *Neodenticula kamtschatica*, кровля — исчезновение *Th. convexa*.

**Возраст:** 2,65–2,3 млн лет.

**Автор:** L. Burckle (1972). Модифицирована и применена для средних и высоких широт (Пушкарь и др., 1998; Koizumi, 2010).

**Палеомагнитная корреляция:** основание — самая верхняя часть подхрона C2An.1n хрона C2An (Gauss), кровля — верхняя часть подхрона C2r.2r хрона C2r (нижняя часть Matuyama).

**Дополнительные маркеры:** нет.

Корреляция с другими зонами: коррелируется со средней и нижней частями зоны *Rhizosolenia praebergonii* (Burckle, 1972, 1977, 1978; Burckle, Ordyke, 1977) и нижней частью зоны *Denticulopsis seminae* var. *fossilis* sensu Barron (Barron, 1980a). Соответствует самой верхней части зоны *Neodenticula koizumii* – *N. kamtschatica* и нижней части зоны *N. koizumii* (NPD9) sensu Akiba (1986) и Koizumi (1986).

Обсуждение: И. Коизуми (Koizumi, Tanimura, 1985; Koizumi 1986, 2010) и Дж. Бэррон (Barron, 1980a, 1981, 1992, 1995) показали возможность использования этого вида как стратиграфического маркера и индикатора палеокеанографических изменений. Нами *Thalassiosira convexa* использовалась при расчленении осадков скважин DSDP – 188, 190–192, 301 и других колонок в северо-западной части Пацифики (см. рис. 2) (Пушкарь и др., 1998a; Пушкарь, Черепанова, 2001). В скважине 436 створки этого вида обнаружены в керне 436-19-9 (44–46 см), датированного трековым методом в 2,24 млн лет (Ganzei et al., 1980). Выше *Th. convexa* не встречается. Позднее Е.И. Поляковой (1997) этот вид был обнаружен в верхнеплиоценовых осадках арктических зон Евразии и применен в качестве стратиграфического и палеоэкологического маркера. Створки этого вида обнаружены в плиоценовых формациях Аляски (Пушкарь и др., 1998a; Pushkar, Cherapanova, 2011). Уровень исчезновения *Th. convexa* был практически изохронен в северной части Пацифики, что делает его хорошим стратиграфическим маркером (Пушкарь и др., 1998a, б; Koizumi, 1985; Barron, 1992a, b).

#### **Зона *Pyxidicula zabelinae***

Категория: зона частичного распространения (partial-range zone).

Определение: от уровня исчезновения *Th. convexa* до уровня исчезновения *P. zabelinae*.

Возраст: 2,3–1,95 млн лет. В данной работе верхняя граница датирована по уточненным данным для основания события Олдувей (Burckle, 1977; Barron, 1985).

Автор: I. Koizumi (1973b). Восстановлена В.С. Пушкарём (Пушкарь и др., 1998a) и уточнен возрастной интервал (Пушкарь и др., 1998a, б; Пушкарь, Черепанова, 2001, 2008; Pushkar, Cherapanova, 2011).

Палеомагнитная корреляция: верхняя часть подхрона C2r.2r хрона C2r (нижняя часть Matuyama) – основание хрона C2n (Olduvai).

Дополнительные маркеры: у верхней границы зоны отмечается вымирание *Pyxidicula pustulata* и *Neodenticula koizumii*, первые находки створок *Stephanopyxis dimorpha* и *Proboscia curvirostris*. У верхней границы зоны в умеренных широтах появляется *Pseudoeunotia doliolus* (= *Fragilariopsis doliolus* (Wallich) Medlin & Sims), уровень появления которой в тропических регионах, возможно, древнее.

Корреляция с другими зонами: соответствует зоне *Nitzschia fossilis* sensu Koizumi (2010), средней части интервал-зоны *Neodenticula koizumii* (NPD9) sensu Akiba (1986) и верхней части зоны *N. koizumii* sensu Koizumi (1986, 1992), верхней части зоны *Neodenticula seminae* var. *fossilis* sensu Barron (1980a, 1981) et Koizumi (1994) и верхней части зоны *Rhizosolenia praebergonii* (Barron, 1995)

Обсуждение: И. Коизуми (Koizumi, 1973a; 1975a–c) отказался от выделения зоны *Thalassiosira (Pyxidicula) zabelinae* и заменил ее зоной

*Neodenticula seminae* var. *fossilis* (= *N. koizumii*), считая, что исчезновение этого вида диахронно в низких и высоких широтах. Находки створок *P. zabelinae*, иногда с высокой встречаемостью, в отложениях раннего плейстоцена, скорее всего, связаны с переотложением из неогеновых толщ, широко распространенных на континентальных окраинах (Жузе, 1962, 1968, 1969, 1980; Орешкина, 1980, 1985, 1993, 1996; Пушкарь и др., 1998а; Пушкарь, Черепанова, 2001; Gladenkov, 1994). Дж. Бэррон (Barron, 1992а, б) считает этот вид хорошим маркером подошвы отложений палеомагнитного события Олдувей. Уровень исчезновения *Neodenticula koizumii* в умеренных и высоких широтах варьируется от 2.0 (Barron, 1992, 1995; Koizumi, 1992) до 1,25 млн лет (Koizumi, Tanimura, 1985), поэтому И. Коизуми (Koizumi, 1973b, 1975c, Koizumi, Tanimura, 1985) и Дж. Бэррон (Barron, 1980а) предлагали дополнительные критерии для определения положения верхней границы зоны в умеренных широтах: первое появление в начале события Олдувей тропического вида *Pseudoeunotia doliolus* и исчезновение бореальной *Thalassiosira antiqua*. А. Гладенков (Gladenkov, 1994), как и Дж. Бэррон (Barron, 1980а), считает более надежным другой региональный маркер события Олдувей – вымирание *Th. antiqua*. Итак, становится очевидным восстановление зоны *Pyxidicula zabelinae* как более строгого стратиграфического подразделения. Такую же точку зрения отстаивала и А.П. Жузе (1980).

Первое появление *Proboscia curvirostris* отмечается чуть ранее или внутри события Олдувей, что согласуется с данными А.П. Жузе, отмечавшей довольно высокое развитие этого вида в раннем плейстоцене (Жузе, 1969, 1980).

Л. Бэркл и Дж. Трейнер (Burckle, Trainer, 1978) установили, что первое появление *Rhizosolenia curvirostris* связано с событием Олдувей. Вместе с тем, есть датированные уровни появления этого вида на рубеже 1,4–1,58 млн лет (Barron, Gladenkov, 1995; Gladenkov, Barron, 1995; Koizumi, 1986). По-видимому, разброс датировок первого появления *Rh. curvirostris* этого уровня связан с изменением палеогидрологических обстановок (Koizumi, Tanimura, 1985). Уровень появления *Stephanorhix dimorpha* отмечается нами в отложениях события Олдувей (Пушкарь и др., 1998а; Пушкарь, Черепанова, 2001, 2008), что совпадает с данными по распространению этого вида в отложениях нижнеольховской подсвиты Восточной Камчатки (Gladenkov, 1994).

#### **Зона *Thalassiosira antiqua***

**Категория:** зона частичного распространения (partial-range zone).

**Определение:** основание зоны – последние находки *Pyxidicula zabelinae*, кровля – резкое сокращение численности вида-индекса.

**Возраст:** 1,95–1,73 млн лет.

**Автор:** J. Barron (1985). Изменена: В.С. Пушкарь, М.В. Черепанова (Пушкарь и др., 1998; Пушкарь, Черепанова, 2001).

**Палеомагнитная корреляция:** хрон C2n (Olduvai).

**Дополнительные маркеры:** у верхней границы – вымирание *Stephanorhix horridus*.

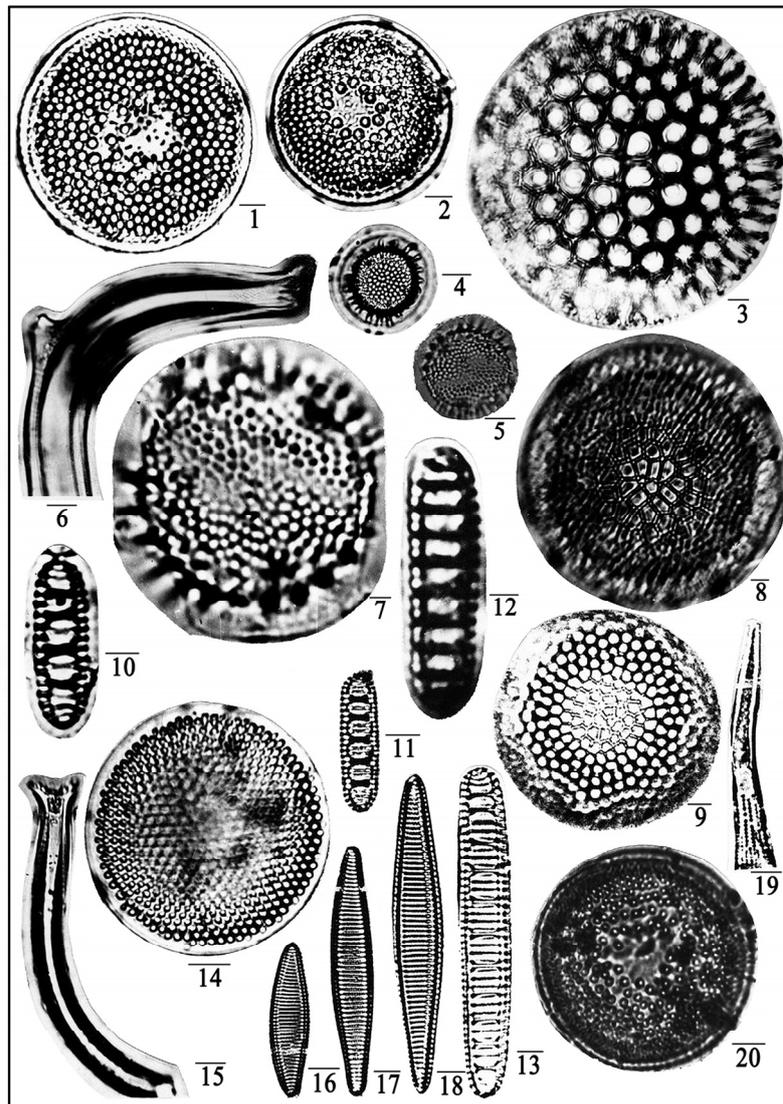


Рис. 4. Зональные виды диатомовых водорослей

1, 2 – *Actinocyclus oculatus* Jousé; 3 – *Coscinodiscus marginatus* f. *fossilis* Jousé; 4, 5 – *Thalassiosira nidulus* var. *nidulus* (Temp. et Grunow) Jousé; 6 – *Proboscia curvirostris* (Jousé) Jordan et Priddle; 7 – *Thalassiosira jouseae* Akiba; 8, 9 – *Thalassiosira gravida* var. *fossilis* Jousé; 10, 11 – *Neodenticula seminae* (Sim. et Kanaya) Akiba et Yanag.; 12, 13 – *Neodenticula koizumii* Akiba et Yanag.; 14 – *Pyxidicula* (*Coscinodiscus*) *pustulata* (Mann) Streln. et Nikolaev; 15 – *Proboscia barboi* (Brun) Jordan et Priddle; 16, 17 – *Nitzschia fossilis* (Frenguelli) Kanaya; 18 – *Nitzschia reinholdii* Kanaya; 19 – *Rhizosolenia matuyamai* Burckle; 20 – *Actinocyclus ochotensis* var. *fossilis* Pushkar (1, 2, 4-6, 8-20 – x1000; 3, 7 – x1250)

**Корреляция с другими зонами:** коррелируется с самой нижней частью зоны *Actinocyclus oculatus* (Koizumi, 1986b, 2010), верхней частью зоны *Neodenticula koizumii* (Barron, 1980a; Akiba, 1986; Barron, Gladenkov, 1995; Gladenkov, Barron, 1995). Зона *Th. antiqua* соответствует верхней части подзоны "С" зоны *Rhizosolenia praebergonii* и нижней части подзоны "А" зоны *Nitzschia reinholdii* (Burckle, Opdyke, 1977).

**Обсуждение:** Дж. Бэррон (Barron, 1981) выделил зону частичного распространения *Th. antiqua* верхнего миоцена по первому появлению этого вида в северо-восточной части Тихого океана, но в приведенных списках диатомей створки *Th. antiqua* редки. Уровень первого появления вида колеблется от  $\approx 8,2$  (Barron, 1981) до 7–5,7 лет (Koizumi, 1986b). В Японском море уровень исчезновения вида датируется от 2,1 до 2,7 млн лет без какого-либо обсуждения (Koizumi, 1986b). Мы считаем, что этот вид лучше использовать как вид-индекс плиоценовой зоны, где его численность значительно выше, а уровень исчезновения из осадков более точно определен и связан с кровлей события Олдувей (Орешкина, 1985; Akiba, 1986; Koizumi, 1986b; Barron, 1992; Gladenkov, Barron, 1995). Нами последние находки *Th. antiqua* обнаружены в керне 436-14-3 скв. DSDP-436, датированном по трекам урана в 1,73 млн лет (Пушкарь и др., 1998a). Эту датировку, как самую позднюю, мы принимаем при определении верхней границы зоны.

А. Гладенковым и Дж. Бэрроном (Gladenkov, Barron, 1995) в отложениях верхней части зоны *Neodenticula koizumii*, выделенной в шельфовых фациях нижнеольховской подсвиты Камчатки, обнаружены створки *Pyxidicula zabelinae* с относительно высокой встречаемостью. На Восточно-Сахалинском шельфе наблюдается аналогичная картина в отложениях зоны *Thalassiosira antiqua* (Пушкарь и др., 1998a, б). А. Гладенков не исключает переотложения, но только для верхней части нижнеольховской свиты. Вместе с тем, нельзя не учесть, что, в отличие от неритических районов, шельфовые палеопопуляции *Pyxidicula zabelinae* существовали, возможно, более продолжительное время. А. Гладенковым отмечается и резкое сокращение численности *Thalassiosira antiqua* в верхней части нижнеольховской свиты. По его мнению, редкие створки данного вида в этой части разреза также переотложены, а уровень действительного исчезновения створок в плиоценовых отложениях Восточной Камчатки приблизительно совпадает с верхней границей отложений события Олдувей. Более выдержан уровень вымирания *Stephanopyxis horridus* – около 1,6–1,8 млн лет (Barron, 1992a).

#### **Зона *Actinocyclus oculatus***

**Категория:** зона частичного распространения (partial-range zone).

**Определение:** основание – как кровля предыдущей зоны, кровля – исчезновение *Actinocyclus oculatus*.

**Возраст:** 1,77–1,0 (1,19) млн лет.

**Автор:** J. Donahue (1970).

**Палеомагнитная корреляция:** кровля хрона C2n (Olduvai) – подхрон C1r.1n (Jaramillo).

Дополнительные маркеры: на верхней границе отмечается полное исчезновение *Coscinodiscus marginatus* var. *fossilis*, *Neodenticula koizumii*, *Rhizosolenia (Proboscia) matuyamai*. Появление и исчезновение *Rhizosolenia matuyamai* являются хорошими маркерами события Харамильо (Burckle, 1977; Burckle, Opdyke, 1977). В пелагических комплексах – обилие переходных форм между *Coscinodiscus marginatus* var. *fossilis* и *C. marginatus*. Рост видовой разнообразия рода *Thalassiosira*.

Корреляция с другими зонами. Соответствует нижней и средней частям зоны *Nitzschia reinholdii* (Berggren et al., 1995) и одноименной зоне sensu Gladenkov et Barron (Гладенков, 2007; Barron, Gladenkov, 1995; Gladenkov, Barron, 1995).

Обсуждение: В образце с 70 см колонки 1856, взятого у кровли отложенный события Харамильо, *Neodenticula koizumii* отмечена редкими створками. Образец 8-3 (23-25) скв. DSDP-436 также содержит редкие створки *N. koizumii* и до 5 % створок *Actinocyclus oculus*, а образец 9-5 (137-139), лежащий ниже, датирован трековым методом в 1,19 млн лет. Вышележащий образец 7-2(18-20), датированный в 0,906 млн лет, створок этих видов не содержит (Пушкарь и др., 1998а, б). И. Коизуми (Koizumi, 1992) также привязывает исчезновение *N. koizumii* к границе перехода в осадках биогенного кремнезема в кристобалит (около 2 млн лет), но при этом отмечает диахронный характер этой границы. Поэтому мы считаем наши абсолютные датировки более корректными. Для зоны характерно также обилие переходных форм между *Actinocyclus divisus* и *A. curvatulus*, между предковыми и современными формами *Coscinodiscus marginatus*, что отмечалось также А.П. Жузе (1962, 1969). Комплекс зоны характеризуется обилием *Neodenticula koizumii*.

#### **Зона *Nitzschia fossilis***

Категория: зона частичного распространения (partial-range zone).

Определение: основание – исчезновение *Actinocyclus oculus*, кровля – исчезновение *Nitzschia fossilis*.

Возраст: 1,0 (1,19)–0,78 (0,63) млн лет.

Автор: I. Koizumi (2010). Изменен возрастной диапазон (Пушкарь и др., 1998а, б).

Палеомагнитная корреляция: подхрон C1r.1n (Jaramillo) – основание хрона C1n (Brunhes).

Дополнительные маркеры: высокая частота встречаемости переходных форм между фенотипическими модификациями *Actinocyclus ochotensis* var. *fossilis* и современными *A. ochotensis*, что отличает комплексы зоны от комплексов вышележащей зоны *Nitzschia reinholdii*.

Корреляция с другими зонами: соответствует нижней части зоны *Nitzschia reinholdii* sensu Koizumi (2010) и верхней трети тропической подзоны "B" зоны *N. reinholdii* sensu Burckle (1972), а также самой нижней части зоны *Rhizosolenia curvirostris* sensu Donahue (1970) и Koizumi (1986).

Обсуждение. В изученной колонке 1856 (образец 35 см) из центральной части Японского моря исчезновение *Nitzschia fossilis* отмечает-

ся у подошвы отложений эпохи Брюнес. Повторное изучение кернов DSDP-19 также дает основание полагать, что уровень исчезновения *Nitzschia reinholdii* более поздний, чем у *N. fossilis*.

Распространение *N. fossilis* в осадках восточно-сахалинского шельфа ограничено эоплейстоценом (эпоха Матуяма) (Пушкарь и др., 1998а, б). В образцах скважин DSDP-57 у берегов Северо-Восточной Японии более раннее исчезновение *N. fossilis* отмечено Дж. Бэрроном, причем уровень исчезновения *N. reinholdii* определен в 0,63 млн лет (Barron, 1980a), что согласуется с данными по экваториальной Пацифике (Burckle, 1972). В этом же регионе Г. Харпер (Harper, 1980) установил, что встречаемость створок *N. reinholdii* в плейстоценовых осадках скв. DSDP-436 стабильна и более высока по сравнению с *N. fossilis*. В Центральной Японии этот уровень отмечался в отложениях самой ранней части эпохи Брюнес (Koizumi, 2010). В субтропических и умеренных широтах (до 42° с.ш.) уровни исчезновения *N. fossilis* определяются интервалом от 0,55 до 0,63 млн лет соответственно (Barron, 1980a, 1992a; Koizumi, 2010).

**Зона *Nitzschia reinholdii***

Категория: зона частичного распространения (partial-range zone).

Определение: основание — исчезновение *Nitzschia fossilis*, кровля — исчезновение *N. reinholdii*.

Возраст: 0,78 (0,63)—0,55 (0,5) млн лет.

Автор: Л. Бэркл (Burckle, Opdyke, 1977) не дал диагноза зоны и ее описание. Описание и обоснование зоны: тропики и субтропики — J. Barron (1980b); умеренные и высокие широты — В.С. Пушкарь (Пушкарь и др., 1998) и I. Koizumi (2010).

Палеомагнитная корреляция: нижняя часть хрона C1n (Brunhes).

Дополнительные маркеры: нет.

Корреляция с другими зонами: соответствует верхней части зоны *N. reinholdii* sensu Koizumi (2010), нижней части зоны *Rhizosolenia curvirostris* sensu Donahue (1970), Akiba (1986) и Koizumi (2010), а также нижней части зоны *Pseudoeunotia doliolus* sensu Burckle (Burckle, Opdyke, 1977).

Обсуждение. Изменен возраст нижней границы, а возраст верхней установлен по исчезновению *N. reinholdii* в умеренных и высоких широтах в тех образцах, для которых имеются данные абсолютного датирования (Пушкарь и др., 1998а, б).

Уровни исчезновения *N. reinholdii* для западных тропических и субтропических широт составляют 0,63—0,60 млн лет (Burckle, Opdyke, 1977; Barron, 1980b; Koizumi, Tanimura, 1985), а для восточных субтропических и тропических зон — 0,47—0,52 млн лет (Barron, 1992).

Для умеренных широт северо-западной части Тихого океана (скв. DSDP-580) И. Коизуми и Ю. Тенимура указывают датировку 0,5 млн лет (Koizumi, Tanimura, 1985). Следовательно, сокращение обширного ареала палеопопуляции *N. reinholdii* началось в западной части океана, причем в тропических и высоких широтах вид исчезает несколько раньше, чем в субтропических и умеренных широтах. Более персистент-

ной *N. reinholdii* оказалась у Калифорнийских берегов (0,47–0,52 млн лет) (Barron, 1981; Baldauf, 1985).

**Зона *Proboscia barboi***

Категория: зона частичного распространения (partial-range zone).

Определение: основание – исчезновение *Nitzschia reinholdii*, кровля – исчезновение *Proboscia barboi*.

Возраст: 0,55 (0,5)–0,28 млн лет.

Автор: А.П. Жузе (1969). Изменен возрастной интервал (Пушкарь и др., 1998а, б).

Палеомагнитная корреляция: средняя часть хрона C1n (Brunhes).

Кислородно-изотопная стратиграфия: ≈ 14-9 стадии.

Дополнительные маркеры: высокая частота встречаемости различных фенотипических модификаций *P. curvirostris*. В комплексе из вымерших диатомей встречаются *Stephanopyxis dimorpha*, *Thalassiosira gravida* var. *fossilis* (доминант), *Th. nidulus* var. *nidulus*, *Th. jouseae*, *Actinocyclus ochotensis* var. *fossilis* и *P. barboi*. По сути, это Асме-Zone (зона максимума встречаемости) *Th. gravida* var. *fossilis*.

Корреляция с другими зонами: соответствует зоне *Rhizosolenia curvirostris* и самой нижней части зоны *Neodenticula seminae* sensu Koizumi (2010)], верхней части зоны *Rh. curvirostris* sensu Akiba (1986), Donahue (1970), и нижней части зоны *Pseudoeunotia doliolus* sensu Burckle (Burckle, Ordyke, 1977).

Обсуждение: А.П. Жузе выделила зону *Rhizosolenia (Proboscia) barboi* по вымиранию вида-индекса (= *Rhizosolenia curvirostris* var. *inermis*) в Северной Пацифике на границе плиоцена и плейстоцена (Жузе, 1969). Впоследствии А.П. Жузе протягивает стратиграфический диапазон вида *Proboscia barboi* в зону *Actinocyclus oculatus* (Жузе, 1980). Нами показано, что вид элиминирует в межстадиальных отложениях 11-9 кислородно-изотопных стадий (Пушкарь и др., 1998а, б; Пушкарь, Черепанова, 2001, 2008). Осадки, в которых створки вида обнаружены *in situ*, датированы по изотопам урана и тория временем миндель-рисского межстадиала (Пушкарь и др., 1998). Уровень исчезновения *P. barboi*, проверенный во многих датированных разрезах, можно использовать для распознавания стратиграфического положения отложений северо-западной части Тихого океана (Жузе, 1969, 1980; Пушкарь, Черепанова, 2001, 2008) и на Арктическом побережье (Полякова, 1997; Лосева, 1992). Э.И. Лосева (1992) считает *P. barboi* и *P. curvirostris* синонимами, а уровень вымирания вида отмечает на границе среднего и позднего плейстоцена, т.е. 0,13 млн лет.

**Зона *Actinocyclus ochotensis* var. *fossilis***

Категория: зона частичного распространения (partial-range zone).

Определение: основание – исчезновение *Proboscia barboi*, кровля – исчезновение *A. ochotensis* var. *fossilis*.

Возраст: 0,28–0,22 (0,23) млн лет.

Автор: В.С. Пушкарь, М.В. Черепанова (2001).

Палеомагнитная корреляция: средняя часть хрона C1n (Brunhes).

Кислородно-изотопная стратиграфия:  $\approx$  8 стадия.

Дополнительные маркеры: в комплексе из вымерших диатомей встречаются *Proboscia curvirostris*, *Stephanopyxis dimorpha*, *Thalassiosira grava* var. *fossilis*, *Th. nidulus* var. *nidulus*, *Th. jouseae*, *A. ochotensis* var. *fossilis*. Соотношение вымершей и современной форм *A. ochotensis* составляет около 1:6.

Корреляция с другими зонами: примерно соответствует нижней части зоны *D. seminae* sensu Donahue (1970); нижней части зоны *Denticulopsis seminae* sensu Koizumi (1986, 2010) и средней части зоны *Pseudoeunotia doliolus* sensu Burckle (Burckle, Opdyke, 1977).

Обсуждение: А.П. Жузе (1968), описывая новый вид *A. ochotensis* из плейстоценовых отложений Тихого океана и Охотского моря, указывала на его морфологическую изменчивость. Позднее она отметила, что существуют предковые и современные формы (Жузе, 1969, 1980). Нами была описана "предковая" разновидность как *A. ochotensis* var. *fossilis* Pushkar, которая отличалась от "современной" отсутствием тангентальной и радиальной симметрии в расположении рядов ареол и наличием ясного и довольно крупного гиалинового поля в центре створки (Пушкарь, Черепанова, 2001). Говоря о вымирании *A. ochotensis* в конце среднего плейстоцена, по-видимому, имелась в виду именно эта разновидность (Пушкарь и др., 1998а; Donahue, 1970; Koizumi, 1973b; Schrader, 1973).

В плейстоценовых осадках встречаются как те, так и другие разновидности, но в современных донных отложениях Северной Пацифики в первичном залегании встречаются только формы с наличием симметрии и без четкого гиалинового поля. Максимум фенотипической изменчивости створок приурочен к отложениям зоны *Nitzschia fossilis*, а во время формирования отложений зоны *A. ochotensis* var. *fossilis* способность вида при реакциях на экологические ситуации образовывать множество модификаций резко снизилась. По-видимому, 8-я кислородно-изотопная стадия была временем фенотипического отбора "современной" формы с симметричным расположением ареол. Исчезновение фенотипа *fossilis* со времен первых публикаций Дж. Донау (Donahue, 1970) датировалось уровнем 0,26–0,3 млн лет (Жузе, 1969; Koizumi, 1973b; Sancetta, Silvestri, 1986; Gladenkov, 1994). Нами получен ряд абсолютных датировок (Пушкарь и др., 1998а, б), позволяющих время исчезновения фенотипа *fossilis* приблизительно связать с заключительной фазой 8-й кислородно-изотопной стадии, датируемой около 0,25 млн лет (Williams, 1988).

**Зона *Thalassiosira nidulus* var. *nidulus***

Категория: зона частичного распространения (partial-range zone).

Определение: основание — исчезновение *Actinocyclus ochotensis* var. *fossilis*, кровля — исчезновение *Th. nidulus*.

Возраст: 0,22 (0,23)–0,19 (0,20) млн лет.

Автор: В.С. Пушкарь, М.В. Черепанова (2001).

Палеомагнитная корреляция: верхняя часть хрона C1n (Brunhes).

Кислородно-изотопная стратиграфия:  $\approx$  7 стадия.

Дополнительные маркеры: в комплексе из вымерших диатомей встречаются *Proboscia curvirostris*, *Stephanopyxis dimorpha*, *Thalassiosira gravida* var. *fossilis*, *Th. nidulus* var. *nidulus*. Отмечена только современная модификация *A. ochotensis*.

Корреляция с другими зонами: соответствует средней части зоны *Denticulopsis seminae* sensu Donahue (1970); нижней части зоны *D. seminae* sensu Koizumi (2010) и средней части зоны *Pseudoeunotia doliolus* sensu Burckle (Burckle, Opdyke, 1977).

Обсуждение: И. Коизуми (Koizumi, 1986b, 2010) указывает уровень исчезновения *Th. nidulus* var. *nidulus* из отложений умеренных и субтропических широт по скважинам DSDP-86 в интервале от 0,39 до 0,28 млн лет, что затем было использовано Дж. Бэрроном (Barro, 1992b) при анализе датированных диатомовых уровней. Прямые абсолютные датировки, полученные по изотопам урана и тория в шельфовых фациях Восточного Сахалина, показывают, что уровни вымирания *Th. nidulus* var. *nidulus* имеют более поздний возраст (0,19–0,20 млн лет) (Пушкарь, Черепанова, 2001). С другой стороны, Ф. Акиба (Akiba, 1986) описал новый вид *Th. jouseae*, весьма похожий и родственный виду-индексу, который, собственно, и маркирует своим эволюционным исчезновением нижнюю границу рассматриваемой зоны (0,23–0,22 млн лет) (Пушкарь и др., 1998а; Пушкарь, Черепанова, 2001). Относительно высокая частота встречаемости створок *Th. nidulus* var. *nidulus* характеризует отложения верхнеголовнинской подсвиты Южного Кунашира (Курилы), которые сформировались во время трансгрессии 11–9 кислородно-изотопных стадий (Пушкарь и др., 1998а, б; Пушкарь, Черепанова, 2001, 2008).

**Зона *Thalassiosira gravida* var. *fossilis***

Категория: зона частичного распространения (partial-range zone).

Определение: основание — исчезновение *Th. nidulus* var. *nidulus*, кровля — исчезновение *Th. gravida* var. *fossilis*.

Возраст: 0,19 (0,20)–0,13 (0,14) млн лет.

Автор: В.С. Пушкарь, М.В. Черепанова (2001).

Палеомагнитная корреляция: верхняя часть хрона C1n (Brunhes).

Кислородно-изотопная стратиграфия:  $\approx$  6 стадия.

Дополнительные маркеры: в комплексе из вымерших диатомей встречаются *Proboscia curvirostris*, *Th. gravida* var. *fossilis*.

Корреляция с другими зонами: соответствует верхней части зоны *Denticulopsis seminae* sensu Donahue (Жузе, 1969; Donahue, 1970); верхней части зоны *D. seminae* sensu Koizumi (2010) и верхней части зоны *Pseudoeunotia doliolus* sensu Burckle (Burckle, Opdyke, 1977).

Обсуждение: нижняя граница — как кровля предыдущей зоны, верхняя — по датированным осадкам с видом-индексом и корреляции с 6-й кислородно-изотопной стадией (Пушкарь и др., 1998а, б). По-

видимому, в умеренных широтах деградация ареала началась ранее, чем 0,13 млн лет (Пушкарь и др., 1998а; Koizumi, 1973b, 1975а, с).

**Зона *Proboscia curvirostris***

Категория: зона частичного распространения (partial-range zone).

Определение: основание — исчезновение *Thalassiosira gravida* f. *fossilis*, кровля — исчезновение *Proboscia curvirostris*.

Возраст: 0,13 (0,14)—0,075 (0,095) млн лет.

Автор: А.П. Жузе (1969) — как слой с *Rhizosolenia curvirostris*; J. Donahue (1970) — как зона *Rhizosolenia curvirostris*. Возраст нижней и верхней границы уточнен (Пушкарь и др., 1998а; Пушкарь, Черепанова, 2001).

Палеомагнитная корреляция: верхняя часть хрона C1n (Brunhes).

Кислородно-изотопная стратиграфия: ≈ 5 стадия.

Дополнительные маркеры: нет.

Корреляция с другими зонами: соответствует верхней части зоны *Denticulopsis seminae* sensu Donahue (1970); верхним частям зон *D. seminae* sensu Koizumi (2010) и *Pseudoeunotia doliolus* sensu Burckle (1977).

Обсуждение: эволюционное исчезновение *P. curvirostris* установлено при изучении кернa скв. DSDP-191 в Северной Пацифике и сопоставлении результатов с данными по силикофлагеллятам. Было высказано предположение о вымирании этого вида в течение первого межледниковья позднего плейстоцена (Пушкарь и др., 1998а). Позднее была проведена корреляция уровней исчезновения *P. curvirostris* с кислородно-изотопной кривой, показавшая присутствие створок вида-индекса в отложениях 5-й морской изотопной стадии (Пушкарь и др., 1998б). Осадки, в которых обнаружены створки вида, датированы торий-урановыми изотопными определениями, находящимися в интервале 0,13—0,075 млн лет (Пушкарь и др., 1998а). К подобному результату пришла и Э.И. Лосева, изучая морской плейстоцен Северо-Востока европейской части России (Лосева, 1992). Самые поздние датировки характерны для высоких широт. Если деградация ареала началась с умеренных широт, то уровни исчезновения *P. curvirostris* в умеренных и субтропических широтах могут быть несколько древнее (Пушкарь и др., 1998а, б; Koizumi, 1986, 2010). При этом учтено, что датированные осадки не содержали переотложенных форм диатомей.

**Зона *Neodenticula seminae***

Категория: зона частичного распространения (partial-range zone).

Определение: основание — исчезновение *Proboscia curvirostris*.

Время: 0,075(0,095) млн лет — ныне.

Автор: А.П. Жузе (1969) — слой с *Denticula seminae*, J. Donahue (1970) — диатомовая зона.

Палеомагнитная корреляция: верхняя часть хрона C1n (Brunhes).

Кислородно-изотопная стратиграфия: 1-4 стадии.

Дополнительные маркеры: нет.

Корреляция с другими зонами: соответствует верхней части зоны *Denticulopsis seminae* sensu Donahue (1970) верхним частям зон *D. seminae* sensu Koizumi (2010), *Neodenticula seminae* (Akiba, 1986; Koizumi, 1986) и верхней части зоны *Pseudoeunotia doliolus* (Burckle, Opdyke, 1977).

Обсуждение: отложения зоны не содержат вымерших видов.

### **Заключение**

В интервале плиоцен – квартал для Северной Пацифики выделено 13 диатомовых зон, которые последовательно прослежены внутри конкретных регионов, а затем и в осадках северотихоокеанской акватории, включая континентальное обрамление. По своему виду это зоны совместного или частичного распространения таксонов, границы которых определяются уровнями эволюционного появления или исчезновения видов-индексов самих зон. Сама же шкала относится к категории провинциальных.

Анализ именно эволюционного, а не экологического появления или исчезновения видов диатомей в отложениях проверен на достаточно больших площадях большого количества разрезов, в отложениях которых, сформированных в условиях климатической и трансгрессивно-регрессивной ритмики, стратиграфически важные виды не обладают рекуррентностью при повторении сходных условий среды.

Авторы также стоят на той позиции, что появление вида или его исчезновение не может быть мгновенным и приуроченным к плоскости (линии) физического времени в разрезе – для экспансии или деградации ареала популяции всегда требуется некий период. Палеоэкологические изменения среды обитания, среди которых палеоклиматические являются одними из главных, сыграли свою роль в микроэволюционном процессе. Но ответные реакции организмов, диатомей в частности, на такие внешние изменения абиотической среды и скорости их распространения по всей палеопопуляции зонального вида не могут быть одинаковы, поэтому в последних понятие одновременность имеет весьма относительный характер.

Анализ датированных диатомовых уровней показывает их зависимость не только от биогеографической среды, но и характера динамики поверхностных водных масс. При выделении достаточно дробных биостратиграфических подразделений и их корреляции такую диахронность следует учитывать, хотя она в своем большинстве и не столь значительна. В работе показана только общая картина поведения датированных уровней, поскольку изменение среды и микроэволюция диатомей – это многофакторные и нелинейные процессы и связать датированный уровень с конкретной причиной очень сложно.

Мы констатируем тот факт, что уровни вымирания аркто- и северо-бореальных палеопопуляций диатомей омолаживаются от средних широт к высоким, а уровни их появления омолаживаются от высоких широт к южным. Совершенно противоположная картина характерна для южно-бореальных и субтропических форм.

Наличие диахронных уровней позволяет оценивать скорости и векторы расширения или деградации ареалов палеопопуляций, что создает основу для введения соответствующих поправок при межрегиональных корреляциях и идентификации границ зональных подразделений.

Авторы предлагают свой вариант детализации диатомовой шкалы для расчленения и корреляции отложений северной части Тихого океана. Проверка этой шкалы и ее обсуждение широкой читательской аудиторией даст авторам ключ к ее совершенствованию и возможному изменению и детализации. Дальнейший путь детализации зональных шкал, по-видимому, лежит в выделении и обосновании инфразональных подразделений на палеоэкосистемной основе – выделении экозон в соответствии с палеоклиматической ритмикой, что позволит коррелировать не только геологические тела, но и палеогеографические события, которые были причиной их образования.

*Выполнение работы поддержано грантами Президиума РАН 12-1-П28-01, ДВО РАН – СО РАН 12-П-СО-08-0024, РФФИ 12-05-00286а.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Гладенков А.Ю.* Детальная стратиграфия и морские экосистемы позднего кайнозоя севера Тихоокеанского региона (по диатомеям). – М.: ГЕОС, 2007. – 296 с.
- Гладенков А.Ю.* Новое положение неоген-четвертичной границы в Международной стратиграфической шкале и ее отражение в схемах кайнозоя дальневосточных районов России (по диатомеям) // Мат. Всерос. науч. совещ. «Современные проблемы стратиграфии неогена и квартера России». – М.: ГЕОС, 2011. – С. 37–41.
- Гладенков Ю.Б.* Проблемы стратиграфии неогена и квартера: взгляд из 2011 г. // Мат. Всерос. науч. совещ. «Современные проблемы стратиграфии неогена и квартера России». – М.: ГЕОС, 2011. – С. 9–12.
- Диатомовые водоросли СССР: Ископаемые и современные.* – Л.: Наука, 1974. – 400 с.
- Жузе А.П.* Стратиграфические и палеогеографические исследования в северо-западной части Тихого океана. – М.: Изд-во АН СССР, 1962. – 258 с.
- Жузе А.П.* Новые виды диатомовых водорослей в осадках Тихого океана и Охотского моря // Новости системат. низш. раст. – 1968. – Вып. 2. – С. 12–31.
- Жузе А.П.* Диатомеи в осадках плейстоценового и позднеплиоценового возраста бо-реальной области Тихого океана // Основные проблемы микропалеонтологии и органогенного осадконакопления в океанах и морях. – М.: Наука, 1969. – С. 5–27.
- Жузе А.П.* Стратиграфия позднемеловых и кайнозойских отложений океанов по планктонным диатомеям и силикофлагеллятам // Геология Океана: геологическая история Океана. – М.: Наука, 1980. – С. 142–171.
- Короткий А.М., Гребенникова Т.А., Пушкарь В.С. и др.* Климатические смены на территории юга Дальнего Востока в позднем плейстоцене-голоцене // Вестн. ДВО РАН. – 1997. – (3). – С. 121–143.
- Лосева Э.И.* Атлас морских плейстоценовых диатомей Европейского северо-востока СССР. – С.Пб.: Наука, 1992. – 169 с.

- Малахова Г.Ю., Пушкарь В.С. Стратиграфия отложений тропической зоны Тихого океана // Магнитные свойства минералов и проблемы палеомагнетизма и петромагнетизма. – Магадан: СВКНИИ РАН, 1990. – С. 110–115.
- Марков Ю.Д., Можеровский А.В., Пушкарь В.С. и др. Особенности осадконакопления и стратиграфическая корреляция неконсолидированных отложений зоны трансформного разлома Клариян (северо-восточная часть Тихого океана) // Тихоокеан. геол. – 2005. – **24**(4). – С. 24–43.
- Орешкина Т.В. Комплексы диатомей морских неогеновых отложений о. Карагинского (Восточная Камчатка) и их стратиграфическое значение // Изв. АН СССР. Сер. геол. – 1980. – (11). – С. 57–66.
- Орешкина Т.В. Диатомовые комплексы и стратиграфия верхнего кайнозоя Прикамчатского района Тихого океана // Там же. – 1985. – (5). – С. 60–73.
- Орешкина Т.В. Диатомеи и неогеновые события в субарктической Пацифике // Бюл. МОИП. Отд. геол. – 1993. – **68**(3). – С. 84–90.
- Орешкина Т.В. Диатомеи и палеообстановки плиоцен-плейстоцена северной части Татарского пролива // Стратиграфия. Геол. коррел. – 1996. – **4**(3). – С. 81–87.
- Полякова Е.И. Арктические моря Евразии в позднем кайнозое. – М.: Науч. мир, 1997. – 146 с.
- Пушкарь В.С., Черепанова М.В. Диатомеи плиоцена и антропогена Северной Пацифики (Стратиграфия и палеоэкология). – Владивосток: Дальнаука, 2001. – 228 с.
- Пушкарь В.С., Черепанова М.В. Диатомовые комплексы и корреляция четвертичных отложений северо-западной части Тихого океана. – Владивосток: Дальнаука, 2008. – 174 с.
- Пушкарь В.С., Разжигаева Н.Г., Короткий А.М. и др. Плиоцен-плейстоценовые отложения и события побережья залива Измены (Южный Кунашир, Курильские острова) // Тихоокеан. геол. – 1998а. – **17**(5). – С. 50–64.
- Пушкарь В.С., Разжигаева Н.Г., Короткий А.М., Мохова Л.М. Отложения и возраст позднеголовнинской трансгрессии на о. Кунашир (средний плейстоцен) // Стратиграфия. Геол. коррел. – 1998б. – (6). – С. 50–63.
- Стратиграфический кодекс России. 3-е изд. – С.Пб.: ВСЕГЕИ, 2006. – 96 с.
- Шешукова-Порецкая В.С. Неогеновые морские диатомовые водоросли Сахалина и Камчатки. – Л.: Изд-во Ленинград. ун-та, 1967. – 327 с.
- Akiba F. Middle Miocene to Quaternary diatom biostratigraphy in the Nankai Trough and Japan Trench, and modified Lower Miocene through Quaternary diatom zones for Middle-to-High latitudes of the North Pacific // Init. Rep. DSDP. – 1986. – **87**. – P. 393–481.
- Baldauf J.G. A high resolution late Miocene-Pliocene diatom biostratigraphy for the eastern equatorial Pacific // Ibid. – 1985. – **85**. – P. 457–475.
- Barron J.A. Lower Miocene to Quaternary Diatom biostratigraphy of Leg 57, of Northeastern Japan, Deep Sea Drilling Project // Init. Rep. DSDP. – 1980а. – **56/57**. – P. 641–685.
- Barron J.A. Upper Pliocene to Quaternary Diatom biostratigraphy of Deep Sea Drilling Project Leg, Tropical Eastern Pacific // Ibid. – 1980b. – **54**. – P. 455–485.
- Barron J.A. Late Cenozoic diatom biostratigraphy and paleoceanography of the Middle-latitude Eastern North Pacific, Deep Sea Drilling Project Leg 63 // Init. Rep. DSDP. – 1981. – **63**. – P. 507–538.

- Barron J.A.* Late Eocene to Holocene diatom biostratigraphy of the Equatorial Pacific Ocean, Deep Sea Drilling Project Leg 85 // *Ibid.* – 1985. – **85**. – P. 413–456.
- Barron J.A., Baldauf J.G.* Development of Biosiliceous Sedimentation in the North Pacific during the Miocene and Early Pliocene // *Pacific Neogene Events / R. Tsuchi (Ed.)*. – Tokyo, 1990.
- Barron J.A.* Neogene diatom datum levels in the Equatorial and North Pacific // *Centenary of Japanese Micropaleontology / K. Ishizaki, N. Saito (Eds.)*. – Tokyo, 1992a. – P. 413–425.
- Barron J.A.* Pliocene paleoclimatic interpretation of DSDP Site 580 (NW Pacific), using diatoms // *Mar. Micropaleontol.* – 1992b. – **20**. – P. 23–44.
- Barron J.A., Gladenkov A.Yu.* Early Miocene to Pleistocene Diatom Stratigraphy of Leg 145 // *Proc. ODP Program. Sci. Res.* – 1995. – **145**. – P. 3–19.
- Barron J.A.* High-resolution diatom paleoclimatology of the middle part of the Pliocene of the Northwest Pacific // *Ibid.* – P. 43–53.
- Berggren W.A., Kent D.V., Swisher C.C.* A revised Cenozoic Geochronology and Chronostratigraphy // *Geochronology Time Scale and Global Stratigraphic Correlation // SEPM Spec. Publ.* – 1995. – (54). – P. 129–212.
- Burckle L.H.* Late Cenozoic Planktonic Diatom Zones from the Eastern Equatorial Pacific // *Nova Hedw.* – 1972. – Heft 39. – P. 217–246.
- Burckle L.H.* Pliocene and Pleistocene Diatom Datum Levels from the Equatorial Pacific // *Quatern. Res.* – 1977. – **7**. – P. 330–340.
- Burckle L.H., Opdyke N.D.* Late Neogene diatom correlation in the circum-Pacific // *Proc. 1<sup>st</sup> Int. Congr. Pacific Neogene Stratigraphy, Tokyo, 1976.* – Tokyo: Kaiyo Shup., 1977. – P. 255–284.
- Burckle L.H., Trainer J.* Middle and Late Pliocene diatom datum levels from the Central Pacific // *Micropaleontology.* – 1978. – **25**. – P. 281–293.
- Cande S.C., Kent D.V.* A new geomagnetic polarity time scale for the Late Cretaceous and Cenozoic // *J. Geophys. Res.* – 1992. – **97**. – P. 13917–13951.
- Cande S.C., Kent D.V.* Revised calibration of the geomagnetic polarity time scale for the Late Cretaceous and Cenozoic // *Ibid.* – 1995. – **100**. – P. 6093–6095.
- Cherepanova M.V., Pushkar V.S., Razjigaeva N.G., Kumai F.* Marine Diatoms of the Kazusa Group in the type locality of the Boso Peninsula (Honsu, Japan) // *Quatern. Res.* – 2002. – **41(1)**. – P. 1–10.
- Cherepanova M. V., Usol'tseva M.V., Pushkar V.S., Dubrovina Yu.F.* Morphogenesis in *Cyclotella ocellata*-complex from Lake El'gygytgyn (Chukchi Peninsula) during the Pleistocene–Holocene // *Paleontol. J.* – 2010. – **44(10)**. – P. 1252–1261.
- Donahue J.G.* Pleistocene diatoms as climatic indicators in North Pacific sediments // *Mem. Geol. Soc. Amer.* – 1970. – **126**. – P. 121–138.
- Fourtanier E.* Neogene diatom biostratigraphy of Site 892, Cascadia margin // *Proc. ODP. Sci. Res.* – 1995. – **146**, pt. 1. – P. 63–77.
- Ganzei S.S., Gorbarenko S.A., Komarov A.N.* Fission-track age of volcanic glasses from ash layers at the Deep Sea Drilling Project Site 436 // *Init. Rep. DSDP.* – 1980. – **56/57**. – P. 1277–1279.

- Gladenkov A.Yu.* Diatom assemblages from the Pliocene-Pleistocene Boundary beds in Kamchatka, Russia // *Micropaleontology*. – 1994. – **40**(1). – P. 79–94.
- Gladenkov A.Yu., Barron J.A.* North Pacific Neogene Diatom Biostratigraphy and Paleogeography (ODP Leg 145) // 6<sup>th</sup> Intern. Congr. on Pacific Neogene Stratigraphy and IGCP-355 (July 2–9, 1995). – Serpong, Indonesia, 1995. – P. 12–17.
- Harper H.E.* Diatom biostratigraphy of Sites 434, 435, and 436, Northwestern Pacific, Leg 56, Deep sea Drilling Project // *Init. Rep. DSDP*. – 1980. – **56/57**. – P. 633–639.
- International Stratigraphic Guide* / H.D. Hedberg (Ed.). – N.Y.: John Willey & Song Inc., 1976. – 200 p.
- Koizumi I.* Tertiary Diatom Flora of Oga Peninsula, Akita Prefecture, Northeast Japan // *Sci. Rep. Tohoku Univ. Sec. Ser.* – 1968. – **40**(3). – P. 171–225.
- Koizumi I.* The stratigraphic ranges of marine planktonic diatoms and diatom biostratigraphy in Japan // *Mem. Geol. Soc. Jap.* – 1973a. – (8). – P. 35–44.
- Koizumi I.* The Late Cenozoic diatoms of Sites 183–193, Leg 19 Deep-Sea Drilling Project // *Init. Rep. DSDP*. – 1973b. – **19**. – P. 805–855.
- Koizumi I.* Late Cenozoic diatom biostratigraphy in the Circum-North Pacific Region // *J. Geol. Soc. Jap.* – 1975a. – **81**(10). – P. 611–627.
- Koizumi I.* Diatom events in Late Cenozoic deep-sea sequences in the North Pacific // *Ibid.* – 1975b. – **81**(9). – P. 567–578.
- Koizumi I.* Neogene diatoms from the Western margin of the Pacific Ocean, Leg 31, Deep Sea Drilling Project // *Init. Rep. DSDP*. – 1975c. – **31**. – P. 779–819.
- Koizumi I.* Diatom biochronology for Late Cenozoic Northwest Pacific // *J. Geol. Soc. Jap.* – 1985. – **91**(3). – P. 195–211.
- Koizumi I.* Pliocene and Pleistocene diatom datum levels related with paleoceanography in the Northwestern Pacific // *Mar. Micropaleontol.* – 1986a. – **10**. – P. 309–325.
- Koizumi I.* Late Neogene Diatom Temperature Record in the Northwest Pacific Ocean // *Sci. Rep. Col. Educ. Osaka Univ.* – 1986b. – **34**(2). – P. 145–153.
- Koizumi I.* Diatom biostratigraphy of the Japan Sea: Leg 127 // *Proc. ODP Program. Sci. Res.* – 1992. – **127/128**. – Pt. 1. – P. 249–289.
- Koizumi I.* Revised Diatom Biostratigraphy of DSDP Leg 19 Drill Cores and dredged Samples from the Subarctic Pacific and Bering Sea // *JAMSTEC Rep. Res. Dev. Vol. 10*, March 2010. – P. 1–21.
- Koizumi I., Tanimura Y.* Neogene diatom biostratigraphy of the Middle latitude Western North Pacific, Deep Sea Drilling Project Leg 86 // *Init. Rep. DSDP*. – 1985. – **86**. – P. 269–300.
- Lisiecki Lorraine E., Raymo Maureen E.* A Pliocene-Pleistocene stack of 57 globally distributed benthic  $\delta^{18}\text{O}$  records // *Paleoceanography*. – 2005. – **20**(1). – PA1003, doi: 10.1029/2004PA001071.
- Laukhin S.A., Zhimin J., Pushkar V.S., Cherepanova M.V.* Last Glaciation in the Northern part of the Eastern Chukchi Peninsula and paleoceanography of the North Pacific // *Dokl. Earth Sci.* – 2006. – **411**(9). – P. 1422–1426.
- Pushkar V.S., Cherepanova M.V.* Beringia impact on paleoclimates of the Northeast Asia and North Pacific during Last Pleistocene Glaciation // *Quart. Intern.* – 2011. – **237**. – P. 32–38.
- Pushkar V.S., Roof S.R., Cherepanova M.V. et al.* Paleogeographic and Paleoclimatic Significance of Diatoms from Middle Pleistocene Marine and Glaciomarine Deposits on

- Baldwin Peninsula, Northwestern Alaska // *Palaeogeogr. Palaeoclimat. Palaeoecol.* – 1999. – **152**. – P. 67–85.
- Sancetta C., Silvestri Sh.M.* Pliocene-Pleistocene evolution of the North Pacific ocean-atmosphere system, interpreted from fossil diatoms // *Paleoceanography.* – 1986. – **1**(2). – P. 163–180.
- Schrader H.-J.* Cenozoic diatoms from the Northeast Pacific, Leg 18 // *Init. Rep. DSDP.* – 1973. – **18**. – P. 673–797.
- Williams D.F., Thunell R.C., Tappa E. et al.* Chronology of the Pleistocene oxygen isotope record: 0-1.88m.y. BP // *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* – 1988. – **64**. – P. 221–240.

Поступила 26 февраля 2013 г.

Подписала в печать А.П. Ольштынская

*V.S.Pushkar<sup>1,3</sup>, M.V.Cherepanova<sup>2</sup>, O.Yu. Likhacheva<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Far East Geological Institute FEB RAS,  
159, 100-letiya of Vladivostok Pr., 690022 Vladivostok, Russia

<sup>2</sup>Biology and Soil Science Institute FEB RAS,  
159, 100-letiya of Vladivostok Pr., 690022 Vladivostok, Russia

<sup>3</sup>Far Eastern Federal University,  
8, Sukhanova St., 690091 Vladivostok, Russia

#### DETALIZATION OF THE PLIOCENE – QUATERNARY NORTH PACIFIC DIATOMZONAL SCALE

A high-resolution diatom zonal scale has been developed under the stratigraphic diatom distribution in the Pliocene and Quaternary North Pacific deposits. The levels of the first evolutionary appearance or extinction of some diatom species are the base to establish zonal boundaries. Proposed diatom zones are tracked in different facies of the North Pacific, mainly in subarctic latitudes. The analysis of the diatom appearance and disappearance at the boundaries in the deposits of different biogeographic zones shows a space-temporal shift of these boundaries forced by the rates of the changes of paleopopulations densities and distribution areas during them expansion and degradation. This specification should be taking into account to provide the correlation between different biogeographic regions with specific features of the surface water masses.

**Key words:** diatoms, biostratigraphy, Pliocene, Quaternary, North Pacific.