

УДК 551.465

## БИОСТРАТИГРАФИЧЕСКОЕ РАСЧЛЕНЕНИЕ ВЕРХНЕЧЕТВЕРТИЧНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ОХОТСКОГО МОРЯ НА ЮГЕ ВОЗВЫШЕННОСТИ ИНСТИТУТА ОКЕАНОЛОГИИ

© 2010 г. С. П. Плетнев\*, М. В. Черепанова\*\*, Е. Д. Иванова\*\*\*, И. В. Уткин\*,  
Я. В. Кузьмин\*\*\*\*, Г. С. Барр\*\*\*\*\*

\* Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильчева ДВО РАН, Владивосток  
e-mail: pletnev@poi.dvo.ru

\*\* Биологический институт ДВО РАН, Владивосток

\*\*\* Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Владивосток

\*\*\*\* Институт геологии и минералогии СО РАН, Новосибирск

\*\*\*\*\* Университет штата Аризона, Туксон, США

Поступила в редакцию 24.06.2009 г., получена после доработки 17.09.2009 г.

В результате комплексного анализа (данные по радиоуглеродному датированию, диатомеям, планктонным и бентосным фораминиферам) осадков из центральной части Охотского моря (колонка с глубины 1186 м) выделено пять горизонтов осадконакопления, соответствующих пяти морским изотопно-кислородным стадиям MIS 5–MIS 1 (возраст 120 тыс. лет—настоящее время). Даны детальная палеонтологическая характеристика каждого из горизонтов по изученным группам микрофоссилий. Установлены флуктуации численности микрофоссилий в осадках, распределение наиболее массовых видов и представителей различных экологических групп по длине изученной колонки.

**Ключевые слова:** литостратиграфия, биостратиграфия морских отложений, палеогеография, четвертичный период, диатомовые водоросли, планктонные и бентосные фораминиферы, радиоуглеродное датирование, верхнечетвертичные морские осадки, Охотское море.

### ВВЕДЕНИЕ

Низкие темпы эволюции ископаемой флоры и фауны в четвертичном периоде и рекуррентность слоев, содержащих зачастую гомотаксальные комплексы биофоссилий, затрудняют расчленение отложений этого возраста с позиций традиционной биостратиграфии. Для стратификации четвертичных отложений успешно используется комплексно-сопряженный анализ, дающий возможность фиксировать одновременные изменения физических, химических и биологических характеристик осадков. Такой комплексный подход, предложенный академиком К.К. Марковым (1986), позволяет добро расчленять осадочные толщи и более объективно восстанавливать обстановки условий их седиментации. Немаловажная роль в определении возраста палеогеографических событий принадлежит методам абсолютной геохронологии, в частности радиоуглеродному датированию. Несмотря на множество публикаций, посвященных четвертичной геологии Охотского моря (Бараш и др., 2001; Беляева, Бурмистрова, 1997; Жузе, 1962; Хусид, 2000; Хусид, Басов, 1999; Горбаченко, 1991; Горбаченко и др., 1998, 2000; Gorbarenko et al., 2002, 2004; Harada et al., 2008; Sakamoto et al., 2006; Sancetta,

1981 и др.), количество комплексно изученных и датированных по  $^{14}\text{C}$  разрезов ограничено. В связи с этим полученные нами палеонтологические данные для датированных осадков колонки LV40-20 внесут определенный вклад в решение вопросов стратиграфии Охотского моря. Необходимо также отметить, что вышеуказанные работы касаются в основном проблем стратиграфии отложений и влияния абиотических факторов на условия седimentации. В них мало внимания уделено вопросам адаптации различных групп организмов внутри биологических сообществ в условиях меняющейся среды их обитания. Изученные нами биофоссилии при жизни обитали на разных глубинах и, подобно современным, были связаны между собой количественными соотношениями по линии трофической цепи. Определение изменений структуры и функционирования палеосообществ, вызванных абиотическими факторами, позволяет получить дополнительные критерии как для стратиграфической, так и для палеоокеанографической интерпретации полученных данных. Целью проведенных исследований было выявление особенностей реакции палеосообществ микроорганизмов на изменения географических условий в плейстоцене— голоцене и

биостратиграфическое расчленение позднечетвертичных отложений центральной части Охотского моря на основе полученных данных.

### КРАТКАЯ ГИДРОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ИССЛЕДУЕМОГО РАЙОНА

Охотское море среди окраинных водоемов Российского Дальнего Востока является наиболее холодноводным и по своим термическим характеристикам наиболее близко к арктическим бассейнам. Структура вод в центральной части моря, где была отобрана исследуемая колонка, определяется как разновидность субарктической водной массы со следующими характеристиками (Богданов, Мороз, 2000): 1) поверхностная водная масса (0–40 м) с температурой ( $T$ ) около  $2.5^{\circ}\text{C}$  и соленостью ( $S$ )  $32.5\%$  в весенний период и  $10–13^{\circ}\text{C}$  и  $32.8\%$  в летний соответственно; 2) холодная промежуточная водная масса (40–150 м), формирующаяся в зимний период, с характеристиками на глубине 100 м:  $T = -1.3^{\circ}\text{C}$ ,  $S = 32.9\%$ ; 3) переходная водная масса (150–600 м), образующаяся в результате приливной трансформации верхнего слоя тихоокеанских и охотоморских водных масс в зоне Курильских проливов ( $T = 1.5^{\circ}\text{C}$ ,  $S = 33.7\%$ ); 4) глубинная водная масса (600–1300 м), представленная в виде теплого промежуточного слоя с максимальными значениями  $T = 2.3^{\circ}\text{C}$ ,  $S = 34.3\%$  на глубине 750–1000 м; 5) водная масса южной котловины (более 1300 м) с  $T = 1.85^{\circ}\text{C}$  и  $S = 34.7\%$ .

### МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Материалом для исследования послужил керн колонки, отобранный в 2006 г. во время 40-го рейса НИС “Академик Лаврентьев” в центральной и южной частях Охотского моря. В ходе экспедиции было отобрано 20 колонок верхнечетвертичных осадков (вдоль меридиана  $149^{\circ}30'$  в.д., между  $55.5^{\circ}$  и  $51.5^{\circ}$  с.ш.). Горизонты в изученных колонках были выделены на основе ранее проведенных исследований в этом районе (Gorbarenko et al., 2002, 2004), в результате которых были определены реперные пачки и обоснован их возраст. В данной работе представлены результаты изучения самой южной колонки LV40-20 с наиболее полным литостратиграфическим описанием. Изученная колонка была отобрана в центральной части Охотского моря на юном пологом склоне возвышенности Института Океанологии с помощью гидростатического пробоотборника ГСП-2 (географические координаты  $51^{\circ}27.16'$  с.ш.,  $149^{\circ}30.00'$  в.д., глубина моря 1186 м, длина керна 420 см) (рис. 1). Интервал опробования керна на разные биостратиграфические методы – 5–10 см. Общий объем изученных проб составил 146 образцов, из них в 5 образцах (50–60, 70–80,

150–160, 240–250, 330 см) отбирались раковины фораминифер для определения абсолютного возраста по  $^{14}\text{C}$ .

Первичную обработку на фораминиферовый анализ проводили по стандартной методике: взвешенные образцы сухой породы отмывали через сита размером  $>0.05$  мм и  $>0.063$  мм, затем подсчитывали число раковин в пересчете на 1 г сухого осадка (фораминиферовое число) и процентное содержание каждого из видов.

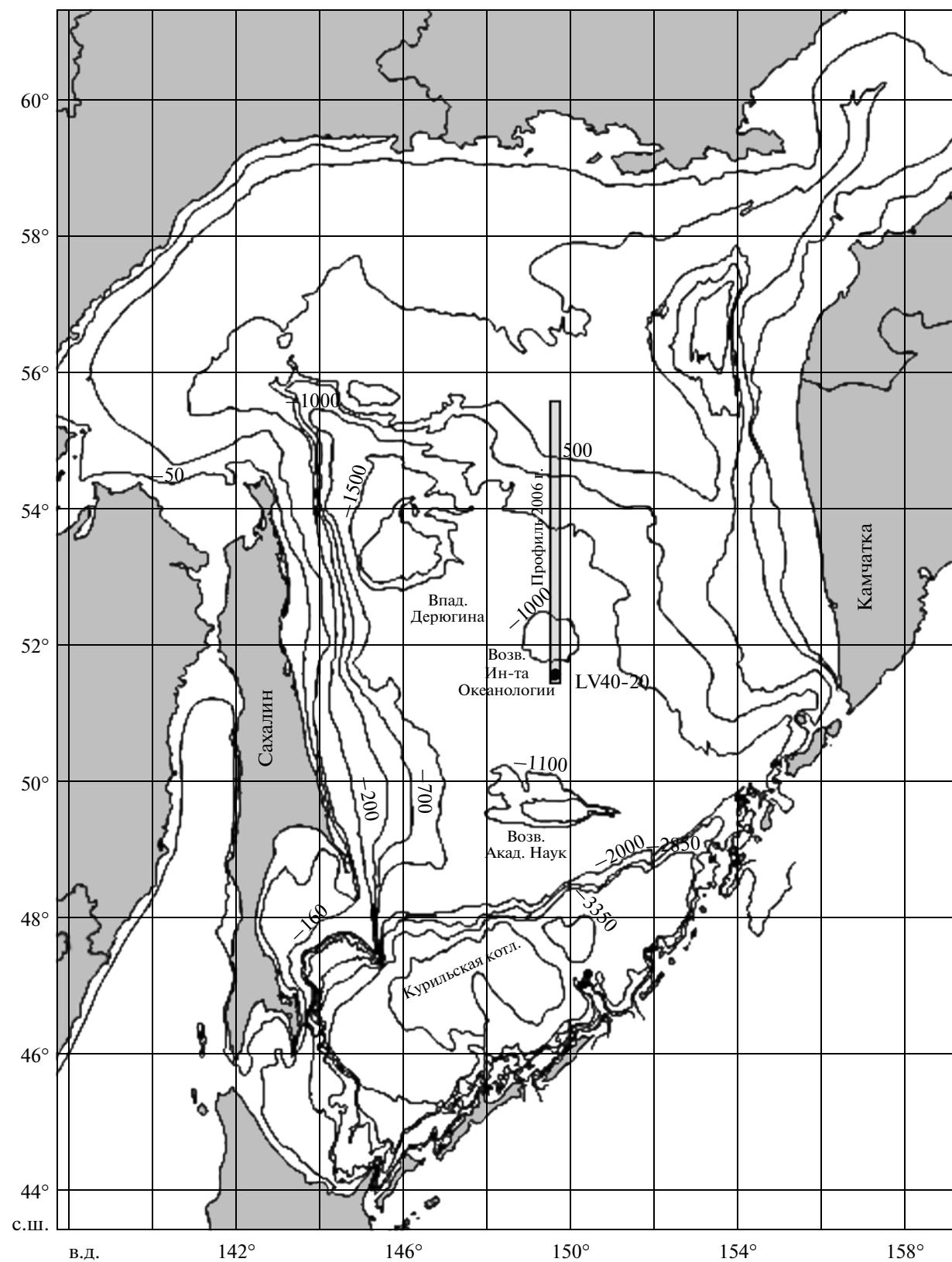
Техническую обработку образцов на диатомовый анализ осуществляли по стандартной методике (Диатомовые..., 1974).

В зависимости от обилия диатомей в препаратах подсчитывалось от 250 до 500 створок. Единичными считались виды, содержание которых составляло менее 1% от общей численности; обычными – от 1 до 5%; часто встречающимися – более 5%; субдоминантами – от 5 до 10%; доминантами –  $>10\%$  (Давыдова, 1985). Для оценки участия отдельных таксонов в палеосообществах диатомовых илов голоценового возраста была использована другая градация. Это связано с тем, что содержание *Thalassiosira latimarginata* в этих осадках достигало 49.9% (рис. 3). На фоне такого высокого доминирования участие сопутствующих таксонов редко превышало 1%, однако по шкале обилия (Диатомовые..., 1974) они должны отмечаться с оценкой “часто”. Ведь в этой ситуации эти виды имеют важное значение для экологической интерпретации данных диатомового анализа. Поэтому для самых молодых отложений доминантами считались таксоны, содержание которых составляло более 40% от общего количества створок, субдоминантами – 40–10%, массовыми – 10–5%, часто встречающимися – 5.0–1.6%, обычными – 1.5–0.4% и единичными – 0.3–0.2%.

Определение и подсчет количества диатомей производили в 1–22 горизонтальных рядах под микроскопом с увеличением  $\times 800$  с последующим пересчетом на абсолютное содержание в 1 г осадка.

Для оценки климатических изменений был использован температурный коэффициент  $T_d$  (Kanaya, Koizumi, 1966).

Радиоуглеродное ( $^{14}\text{C}$ ) датирование карбонатного материала раковин бентосных фораминифер (род *Uvigerina*) проводили методом ускорительной масс-спектрометрии (accelerator mass spectrometry, AMS) в лаборатории Университета штата Аризона (г. Тусон, США). Размер навески обычно составлял не менее 10–15 мг; выход углерода из карбоната – 10–11% по весу. Углерод выделяли методом гидролиза карбонатных раковин фораминифер с помощью ортофосфорной кислоты  $[\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2]$ , в результате чего образовывался углекислый газ ( $\text{CO}_2$ ), который восстанавливается до углерода (графита) по стандартной методике (Kuzmin et al., 2007). Измере-



**Рис. 1.** Карта-схема положения станции LV40-20 в Охотском море.

ние содержания изотопа  $^{14}\text{C}$  проводили на ускорительном масс-спектрометре компании NEC с рабочим напряжением 3 мВ. Соотношение изотопов  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  ( $\delta^{13}\text{C}$ ) измеряли с помощью масс-спектрометра Fisons Optima. Полученные  $^{14}\text{C}$  даты корректировали в соответствии с величиной  $\delta^{13}\text{C}$  (табл. 1). Учитывая достаточно древний возраст фораминифер в колонке LV40-20, резервуарным возрастом для центральной части Охотского моря, равным  $\sim 900$ – $1000$   $^{14}\text{C}$  лет, мы пренебрегли. Радиоуглеродная дата, полученная по фораминиферам для образца из прослоя 330 см, находится за пределами чувствительности метода (табл. 1).

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

### Литология

Для всего изученного профиля из 20 колонок характерна единая литостратиграфическая основа (как и для всей центральной части Охотского моря). С поверхности залегают глинистые и обломочно-глинистые алеврито-пелитовые отложения с большим содержанием кремнистых створок диатомей. Данный горизонт (D1) полужидких и жидких осадков четко фиксируется по характерному рыжевато-бурому цвету (преобладает, согласно цветовой шкале Манселла, оттенок Light olive gray – 5 Y 5/2). Возраст его нижней границы примерно 7 тыс. лет (Gorbarenko et al., 2002).

Сходный по цвету и литологии горизонт (D2) есть и в нижней части колонки.

В разрезе резко выделяется (по структуре и цвету) еще один горизонт (K2) – линзовидный плотный прослой гиалокластического пепла крупноалевритового состава. Он имеет характерный красноватый оттенок (цвет по шкале Манселла – палево-розовый, Pale red, 5 R 6/2), а также сложную градационно-слоистую текстуру (обусловленную наложением нескольких градационных струй разного порядка). Данный прослой связывают с извержением, имевшим место 26 тыс. лет назад при образовании кальдеры Немо-III на одном из Курильских о-вов – Онекотан (Gorbarenko et al., 2002).

Осадки выше и ниже горизонта K2 (слои A1a и A1b) и ниже горизонта D2 (слои A2) представлены однообразными мягкими серо-зелеными глинистыми и обломочно-глинистыми алеврито-пелитовыми отложениями (цвет по шкале Манселла – Dusky yellow green, 5 GY 5/2).

### Микропалеонтологические ассоциации

1. Изученные диатомеи представлены 111 таксонами, из них 12 – пресноводные, относящиеся к родам *Aulacoseira*, *Cymbella*, *Epithemia*, *Eunotia*, *Fragilaria*, *Gomphonema*, *Hantzschia*, *Navicula*, *Nitzschia*, *Pinnularia*, *Stauroneis*, *Tetraclysis*; 10 – виды и разновидности более древнего возраста (*Actinocyclus in-*

**Таблица 1.** Результаты датирования ( $^{14}\text{C}$ ) по раковинам бентосных фораминифер в колонке LV40-20

Интервал опробования, см	Номер образца	Возраст, лет (BP)	$\delta^{13}\text{C}$ , ‰
50–60	AA-79694	$14\,115 \pm 75$	-0.5
70–80	AA-79695	$18\,320 \pm 130$	0.0
150–160	AA-79696	$38\,430 \pm 970$	-0.5
240–250	AA-79697	$39\,600 \pm 1100$	-0.5
330	AA-79698	$48\,900 \pm 3500$	-0.3

gens Rattray, *Coscinodiscus marginatus* f. *fossilis* Jouse, *Pyxidicula zabelinae* (Jouse) Makarova et Moisseeva, *Thalassiosira nidulus* (Tempère et Brun) Jouse и др.); 17 – бентосные сублиторальные (*Cocconeis costata* Gregory, *C. scutellum* Ehrenberg, *Delphineis surirella* (Ehrenberg) Andrews, *Diploneis interrupta* (Kützing) Cleve, *Grammatophora angulosa* Ehrenberg, *Rhabdonema arcuatum* (Lyngbyae) Kützing var. *arcuatum*, *Trachyneis aspera* Cleve и др.). В изученных диатомовых тафоценозах все перечисленные виды являются аллохтонными.

Инситная диатомовая флора имеет отчетливо выраженный северо- boreальный облик. В ее составе доминируют обитатели северо- boreальных вод (64.3%), аркто- boreальные составляют 17.1%, южно- boreальные – 18.6%, переотложенные и пресноводные виды не учитывались.

Для палеогеографической интерпретации данных диатомового анализа были выделены экологические группы диатомей (Жузе, 1962; Kanaya, Koizumi, 1966; Hasle, 1976; Venrick, 1971; Tanimura, 1981; Sancetta, 1981, 1982, 1983; McQuoid, Hobson, 1998).

По отношению к температуре воды диатомовые водоросли были условно подразделены на две группы: тепловодные и холодноводные. К тепловодным были отнесены следующие таксоны: *Actinoptychus senarius* (Ehrenberg), *Coscinodiscus asteromphalus* Ehrenberg var. *asteromphalus*, *C. perforatus* Ehrenberg var. *perforatus*, *C. radiatus* Ehrenberg, *Cyclotella striata* (Kützing) Grunow var. *striata*, *Thalassionema nitzschioides* (Grunow) Hustedt, *Thalassiosira leptopus* (Grunow) Fryx. et Hasle, *Th. oestrupii* (Ostenfeld) Hasle и др., а к холодноводным – *Actinocyclus curvatus* Janisch var. *curvatus*, *A. divisus* Kisselew, *A. ochotensis* Jouse, *Bacterosira fragilis* Gran, *Coscinodiscus marginatus* Ehrenberg, *Coscinodiscus oculus-iridis* Ehrenberg, *Neodenticula seminae* (Simonsen et Kanaya) Akiba et Yanagisawa, *Nitzschia grunowii* Hasle, *Paralia sulcata* (Ehrenberg) Cleve var. *sulcata*, *Rhizosolenia hebetata* f. *hiemalis* Gran, *Thalassiosira gravida* Cleve, *Th. kryophila* (Grunow) Jörgensen, *Th. latimar-*

**Таблица 2.** Состав бентосных фораминифер по отношению к растворенному кислороду в придонной воде

Оксидная группа	Субоксидная группа	Дизоксидная группа
<i>Cibicides kullenbergi</i> Parker	<i>Alabamina multicamerata</i> Nesterova	<i>Brizalina saidovae</i> Troitskaja et K. Furssenko
<i>Cibicides lobatulus</i> (Walker et Jacob)	<i>Alabamina tenera</i> (Brady)	<i>Brizalina spinescens</i> (Cushman)
<i>Cibicides wuellerstorfi</i> (Schwager)	<i>Cassidulina teretis</i> Tappan	<i>Cassidulina delicata</i> Cushman
<i>Pyrgo williamsoni</i> (Silvestri)	<i>Discoislandiella umbonata</i> (Voloshinova)	<i>Cassidulina laevigata</i> d'Orbigny
<i>Pyrgo murchina</i> (Schwager)	<i>Pullenia apertula</i> Cushman	<i>Chilostomella oolina</i> Schwager
<i>Triloculina tricarinata</i> d'Orbigny	<i>Uvigerina auberiana</i> d'Orbigny	<i>Globobulimina elongata</i> (Cushman)
		<i>Globobulimina hanzawai</i> Asano
		<i>Uvigerina peregrina</i> Cushman
		<i>Valvularia sadonica</i> Asano

*ginata* Makarova, *Th. nordenskioeldii* Cleve, *Thalassiothrix longissima* Cleve et Grunow и др.

По местообитанию были выделены группы сублиторальных, неритических и пелагических (океанических) диатомей. В первую группу включены бентосные и меропланктонные виды: *Coccconeis scutellum* Ehrenberg, *Delphineis surirella* (Ehrenberg) Andrews, *Diploneis interrupta* (Kützing) Cleve, *Odonella aurita* (Lyngbyae) Agardh, *Paralia sulcata* (Ehrenberg) Cleve var. *sulcata* и др.; во вторую – планктонные, меропланктонные открытого шельфа: *Bacterosira fragilis* Gran, *Thalassiosira angulata* (Gregory) Hasle, *Thalassiosira eccentrica* (Ehrenberg) Cleve, *Th. gravida* Cleve, *Th. latimarginata* Makarova, *Th. oestrupii* (Ostenfeld) Hasle, представители рода *Chaetoceros* и пелагические виды открытого моря: *Actinocyclus curvatulus* Janisch var. *curvatulus*, *A. divisus* Kisselew, *Coscinodiscus asteromphalus* Ehrenberg var. *asteromphalus*, *C. marginatus* Ehrenberg, *C. oculus-iridis* Ehrenberg, *C. radiatus* Ehrenberg, *Neodenticula seminae* (Simonsen et Kanaya) Akiba et Yanagisawa, *Rhizosolenia hebetata* f. *hiemalis* Gran, *Thalassiosira pacifica* Gran et Angst, *Thalassiothrix longissima* Cleve et Grunow.

**2. Планктонные фораминиферы** в исследуемой колонке представлены следующими видами и разновидностями: *Neogloboquadrina* (*N.*) *pachyderma* sin. (Ehrenberg), *N. pachyderma* dex. (Ehrenberg), *Globigerina* (*G.*) *bulloides* sin. Orbigny, *G. bulloides* dex. Orbigny, *Globigerina* cf. *G. bulloides*, *G. quinqueloba* Natland, *Globigerina* cf. *G. nipponica* Asano, *Globigerina umbilicata* Takaynagi et Saito, *Globigerinita* (*Gt.*) *glutinata* (Egger), *Globigerinita uvula* (Ehrenberg), *Neogloboquadrina* cf. *N. dutertrei* (Orbigny), *Globorotalia* (*Gl.*) *scitula* (Brady). Из них вид *G. bulloides* является индикатором повышения первичной продукции и усиления процесса апвеллинга (Zaric et al.,

2005), а вид *Gl. scitula* – показатель тихоокеанских промежуточных вод (Itoi et al., 2001).

Особенностью современной фауны планктонных фораминифер Охотского моря является доминирование субарктической разновидности *N. pachyderma* sin. и boreального вида *G. bulloides*, которые в сумме иногда достигают 70–100%. При определении видов отмечены различные морфотипы их раковин, отражающие разные условия их обитания. Выделены лево- и правозавитые разновидности массового вида *Globigerina bulloides*. В изученном разрезе отмечаются немногочисленные экземпляры раковин, занимающие по своим морфологическим признакам промежуточное положение между видами *N. pachyderma* и *Globorotalia inflata* Orbigny. С первым видом они сходны по компактности самой раковины, отчетливой губе, субквадратной форме, а со вторым видом – по гладкой стенке, большим размерам и форме устья. Ранее в Японском море подобные морфотипы (Asano, 1957) были выделены в самостоятельный вид *Globigerina nipponica* Asano, и мы считаем охотоморские экземпляры разновидностью данного вида.

**3. Бентосные фораминиферы** по отношению к донному субстрату подразделяются на две основные группы: инфауна и эпифауна. Инфаунальные виды обитают в осадке до глубин 25–30 см ниже поверхности дна, а эпифаунальные – на поверхности самого грунта. Для активного развития бентоса также важен растворенный кислород в придонной воде, и в зависимости от его содержания среди бентосных фораминифер выделяют оксидную (3.0–1.5 мл/л), субоксидную (1.5–0.3 мл/л) и дизоксидную (0.3–0.1 мл/л) группы видов (Kaiho, 1994). Группы видов и родов бентосных фораминифер по отношению к кислороду приведены в табл. 2. Почти во всех выделенных комплексах бентосных фораминифер доминируют виды *Alabaminella weddellensis* (Earland) и

*Uvigerina auberiana* (d'Orbigny), относящиеся к субоксидной группе. Доминирующий таксон *Alabamella weddellensis* относится также и к группе видов-оппортунистов. Весенние вспышки цветения фитопланктона активизируют поток фитодетрита, и на морском дне происходит массовая размножение видов-оппортунистов бентосных фораминифер (Smart et al., 1994), что ведет к резкому повышению численности их раковин в осадке.

В исследуемой колонке встречено 70 видов бентосных фораминифер, из них 66 имеют карбонатную и 4 агглютинированную раковины. Наиболее показательными являются виды *Alabamella weddellensis* (ep. – эпифаunalный), *Brizalina spinescens* (Cushman) (in. – инфаunalный), *Cassidulina delicata* Cushman (in.), *Cassidulina laevigata* d'Orbigny (in.), *Cassidulina teretis* Tappan (in.), *Discoislandiella umbonata* (Voloshinova) (in.), *Pullenia apertula* Cushman (in.), *Uvigerina auberiana* d'Orbigny (in.), *Uvigerina peregrina* (Cushman) (in.), *Valvularia sadonica* Asano (ep.), *Martinottiella bradyana* (Cushman) (in.).

#### Биостратиграфическая характеристика отложений

В основу биостратиграфического расчленения донных отложений колонки LV40-20 были положены следующие критерии: численность микрофоссилий на 1 г сухого осадка; смена доминирующих видов; изменение участия в тафоценозах представителей климатических (тепловодных и холодноводных) и других экологических (океанических, неритических, сублиторальных) групп; наличие видов-трансверсов, отражающих особенности экологической среды в Охотском море.

В результате комплексного анализа было выделено пять стратиграфических горизонтов, охарактеризованных соответствующими биостратиграфическими комплексами (biostratigraphic assemblages – BA) (рис. 2). Результаты радиоуглеродного датирования позволили сопоставить условно по времени выделенные горизонты с морскими изотопно-кислородными стадиями (marine isotopic stages – MIS).

**Горизонт V (410–280 см).** Видовой состав диатомовых палеосообществ относительно однороден. Доминируют *Thalassiosira eccentrica* (до 33.7%) и *Rhizosolenia hebetata* f. *hiemalis* (до 24.5%) (рис. 3). Количество створок изменяется от  $5.1 \times 10^6$  до  $62.1 \times 10^6$  ств./г осадка (рис. 2). На основе вариаций количества створок и доминирования отдельных видов выделено 3 ассоциации диатомей, которые формировались в различных океанографических условиях (рис. 2).

Для палеосообществ из осадков в слое 410–380 см характерно относительно высокое содержание южно-бореального неритического вида *Thalassiosira angulata* (до 23.8%) и относительно тепловод-

ного океанического *Coscinodiscus radiatus* (до 14.3%) (рис. 3). Содержание диатомей в осадках незначительное –  $6.0\text{--}9.3 \times 10^6$  ств./г осадка (рис. 2).

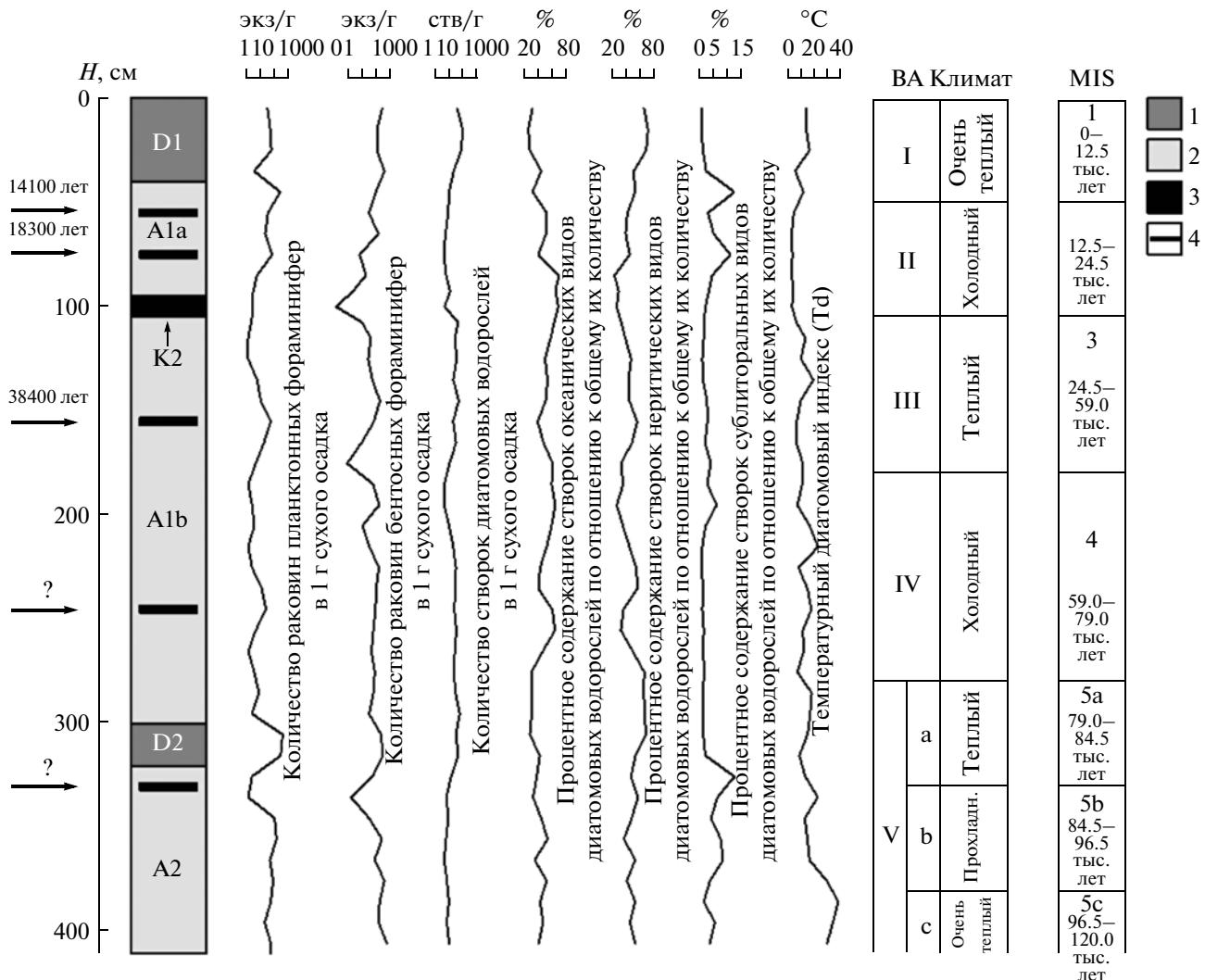
В слое 380–330 см концентрация створок также остается невысокой –  $3.7\text{--}7.8 \times 10^6$  ств./г осадка (рис. 2). Отмечено уменьшение обилия южно-бореальных таксонов. Возрастает участие северо-бореального океанического *Coscinodiscus marginatus* (до 24.1%), неритических холодноводных *Bacterosira fragilis* (до 6.7%) и *Thalassiosira gravida* (до 25.9%) (рис. 3). Появляется холодноводный океанический вид *Thalassiothrix longissima* (до 5.3%).

Содержание диатомей в слое 330–280 см возрастает от  $13.1 \times 10^6$  до  $62.1 \times 10^6$  ств./г осадка (рис. 2). Необходимо отметить, что в нижней части интервала увеличивается обилие сублиторального вида *Paralia sulcata* (до 12.7%), а в верхней части содержание *Thalassiosira latimarginata* достигает 34.9%. Содержание океанического вида *Neodenticula seminae*, активно развивающегося в Беринговом море (Sancetta, 1982), достигает 2.6% (рис. 3).

Планктонные фораминиферы обильно представлены в данном горизонте с вариацией фораминиферового числа от 20 до 546 экз./г осадка, за исключением слоев 330–320 и 290–270 см с единичными раковинами (рис. 4). Видовой состав разнообразен (*G. quinqueloba*, *Gt. glutinata*, *G. umbilicata*, *N. pachyderma* dex.), но преобладает *N. pachyderma* sin. (рис. 4). Соотношение климатических групп планктонных фораминифер близко к современной фауне.

Состав бентосных фораминифер в данном горизонте очень неоднороден как по численности раковин, так и по видовому разнообразию. Подобный состав характерен для фораминиферовых тафоценозов Охотского моря (Иванова, Горбаренко, 2005), формировавшихся во время MIS 5 (рис. 5, 6). В сообществах бентосных фораминифер из осадков интервалов 410–360 см (MIS 5c) и 330–300 см (MIS 5a) резко возрастает роль инфаunalных видов *Uvigerina peregrina*, *Cassidulina laevigata* и представителей родов *Bolivina* и *Brizalina*, что свидетельствует о массовом поступлении на дно органического вещества. В слое 360–330 см (MIS 5b) отмечено сокращение обилия (до 1.4 экз./г осадка) (рис. 2) и числа видов раковин бентосных фораминифер (до 3).

Таким образом, особенности тафоценозов микрофоссилий из изученного интервала колонки указывают на развитие фораминифер и диатомей в относительно теплых условиях. Данный горизонт по времени формирования можно сопоставить с MIS 5. Колебания количества створок и раковин микрофоссилий, видового разнообразия и экологического состава диатомовых тафоценозов и палеосообществ бентосных фораминифер позволяют выделить осадки трех фаз, соответствующих MIS 5: теплых – “с”, “а” и холодной – “б” (возраст 120.0–96.5, 96.5–84.5, 84.5–79.0 тыс. лет соответственно).



**Рис. 2.** Биостратиграфическое расчленение верхнечетвертичных отложений по разрезу колонки LV40-20.

1 — пелит алевритовый обломочно-глинистый с повышенным содержанием кремнистых частиц; 2 — пелит алевритовый обломочно-глинистый; 3 — алеврит крупный вулкано-(витро-)кластический; 4 — место определения абсолютного возраста.

D1, D2, A1a, A1b, A2, K2 — литостратиграфические горизонты, описанные в тексте. ВА — биостратиграфические комплексы, MIS — морские изотопно-кислородные стадии, согласно (Sakamoto et al., 2006).

Возрастные реперы (здесь и далее) приводятся согласно Sakamoto et al. (2006).

Темноцветный (с повышенным содержанием кремнезема) литологический горизонт D2, по нашим данным, соответствует фазе MIS 5a и является новым региональным горизонтом. Ранее описывался гораздо более древний горизонт, соответствующий фазе MIS 5e (Gorbarenko et al., 2002).

В горизонте IV (280–180 см) содержание диатомей меняется от  $3.6 \times 10^6$  до  $27.5 \times 10^6$  ств./г осадка (рис. 2). Наиболее обилен вид *Rhizosolenia hebetata f. hiemalis* (до 48.4%) (рис. 3), который иногда образует монодоминантные палеосообщества. Этот таксон показателен для охотоморской флоры позднего

плейстоцена (в настоящее время он встречается гораздо реже — до 2%). Необходимо отметить также увеличение обилия аркто- boreальной приледной формы *Thalassiosira gravida* (до 21.4%) (рис. 3).

Численность раковин планктонных фораминифер падает в ряде проб до нуля и только в интервале 240–230 см возрастает до 25 экз./г осадка. Доминирует субарктический вид *N. pachyderma sin.* (рис. 4).

В комплексах бентосных фораминифер в этом горизонте наблюдается общая тенденция к снижению количественных показателей. Их максимальные значения отмечены в интервалах 240–230 и 200–190 см, где число раковин достигает 250 экз./г осадка (рис. 2), таксономический состав представ-

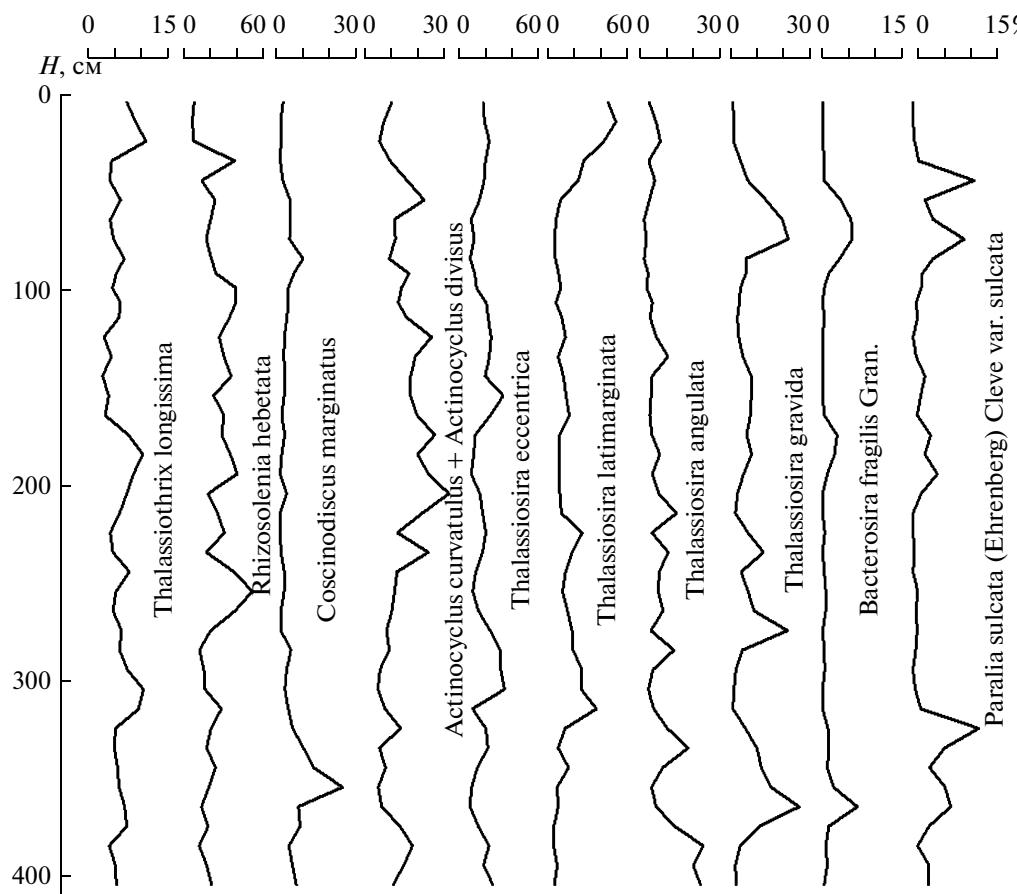


Рис. 3. Содержание створок отдельных видов диатомовых водорослей в осадках (в %).

лен 18 видами. Самые низкие показатели фиксируются в интервале 220–210 см, где комплексы бентосных фораминифер представлены зачастую двумя видами: *Uvigerina auberiana* (до 75%) и *Alabaminella weddellensis* (до 90%), обитающими в водах с содержанием растворенного кислорода до 1.5 мл/л. Содержание немногочисленных субдоминантных видов составляет 1–5%.

Климатобиостратиграфические построения показали, что радиоуглеродная датировка  $39600 \pm \pm 1100$  лет (табл. 1) из интервала 240–250 см омоложена. Возможно, это связано с недостаточной на-веской карбонатного материала для анализа.

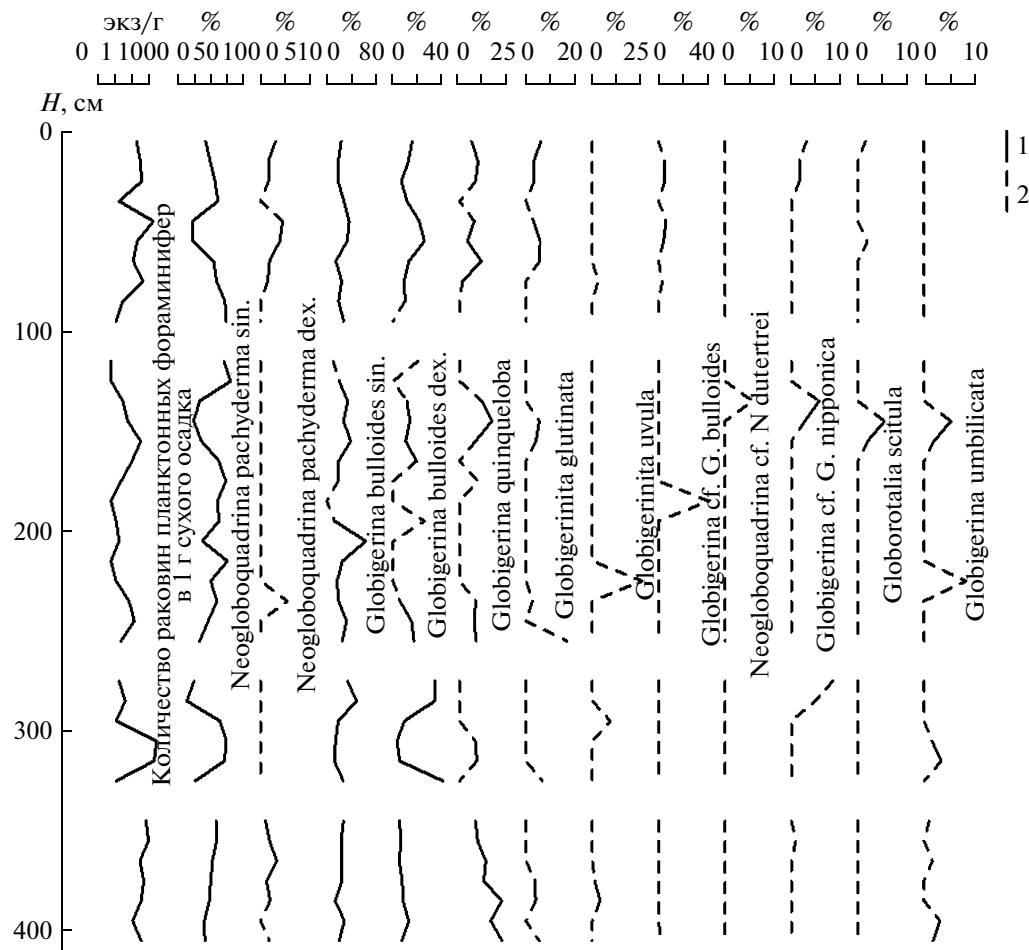
Низкая концентрация микрофоссилий в осадках и доминирование холодноводных видов указывают на то, что накопление данного горизонта произошло в условиях криохрона и по времени может соответствовать MIS 4 (79–59 тыс. лет назад).

В горизонте III (180–105 см) содержание диатомей увеличивается с  $10.0 \times 10^6$  до  $53.0 \times 10^6$  ств./г осадка (рис. 2). Состав доминирующей группы формируют *Rhizosolenia hebetata* f. *hiemalis* (до 35.5%),

*Thalassiosira eccentrica* (до 32.6%), увеличивается содержание *Thalassiosira latimarginata* (до 13.8%). В некоторых сообществах последний таксон даже становится субдоминантом. В осадках встречены теплолюбивые *Coscinodiscus radiatus* (до 9.4%) и по всему горизонту *Thalassiosira oestrupii* (0.9–1.7%) (рис. 3). Скорее всего, во время формирования палеосообществ данного горизонта температурный фон был несколько выше по сравнению с условиями существования диатомей предыдущего интервала.

Численность раковин планктонных фораминифер сильно варьирует в осадках данного интервала, достигая максимума (до 60 экз.) на глубинах 150–140 см и снижаясь до единичных раковин в слое 180–170 см. Наиболее тепловодный комплекс отмечен в слое 150–130 см, где встречены *Gl. scitula*, *Neogloboquadrina* cf. *N. dutertrei*, *Globigerina* cf. *G. nipponica*, *G. umbilicata* и обильны обе разновидности *G. bulloides*.

Комплексы бентосной микрофауны этого горизонта незначительно отличаются от комплексов горизонта IV (рис. 5, 6). В верхней части горизонта в



**Рис 4.** Распределение видов планктонных фораминифер (в процентах к общему количеству экземпляров) по разрезу колонки LV40-20.

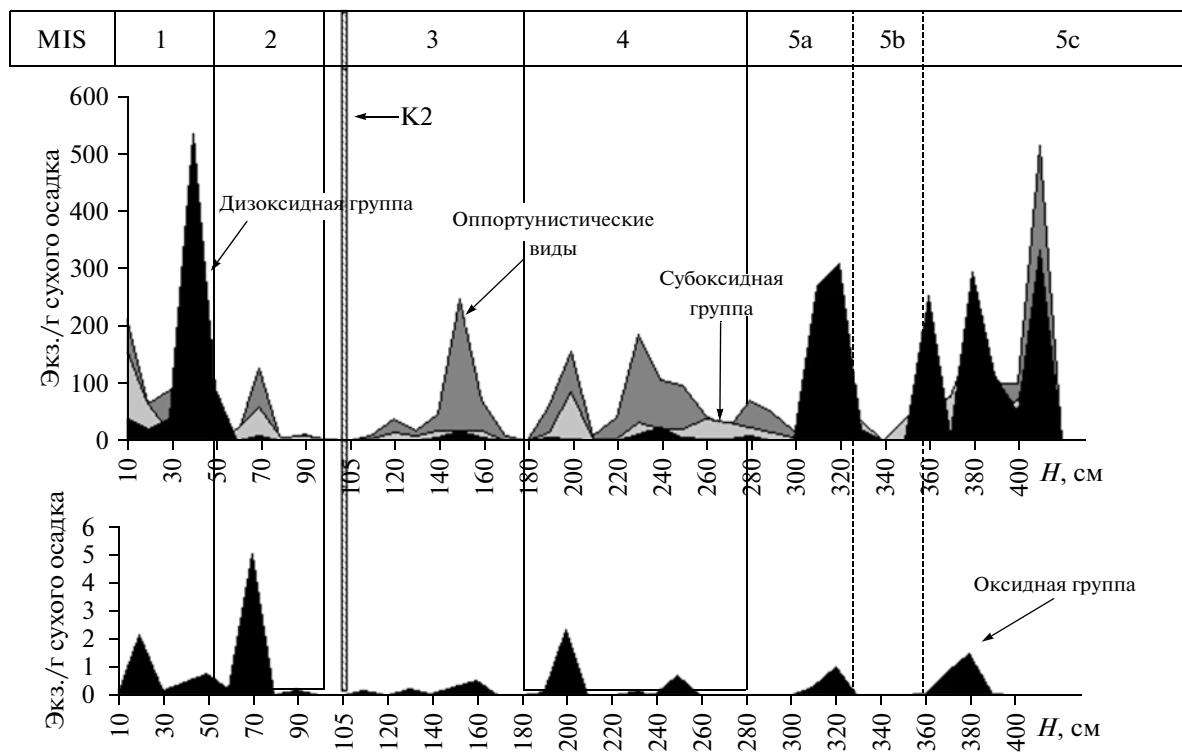
1, 2 – содержание раковин одного вида: 1 – обильное, 2 – единичное; разрывы – отсутствие фауны.

интервале 110–100 см отмечается пепловый про- слой K2 (~26 тыс. лет), отличающийся полным исчезновением микрофауны (рис. 2). Единичные раковины встречены и в слое 180–170 см. Наиболее обильны и разнообразны комплексы бентосных фораминифер в слое 160–120 см. Фораминиферо- вое число здесь достигает 252 экз./г осадка (рис. 2), видовой состав насчитывает до 18 таксонов. Ядро комплексов составляют те же виды, что и раньше: *Alabaminella weddellensis* (до 87%) и *Uvigerina auberiana* (до 27%). Аксессорные виды бентосных фораминифер более разнообразны, хотя их содержание незначительно.

Биостратиграфические данные указывают на то, что накопление осадков горизонта III проис- ходило в более теплых условиях по сравнению с горизонтом IV. Возраст горизонта III соответствует 38.4 тыс. лет ( $^{14}\text{C}$ ) на глубине 135 см. Время его формирования может быть сопоставлено с MIS 3 (59–24.5 тыс. лет назад).

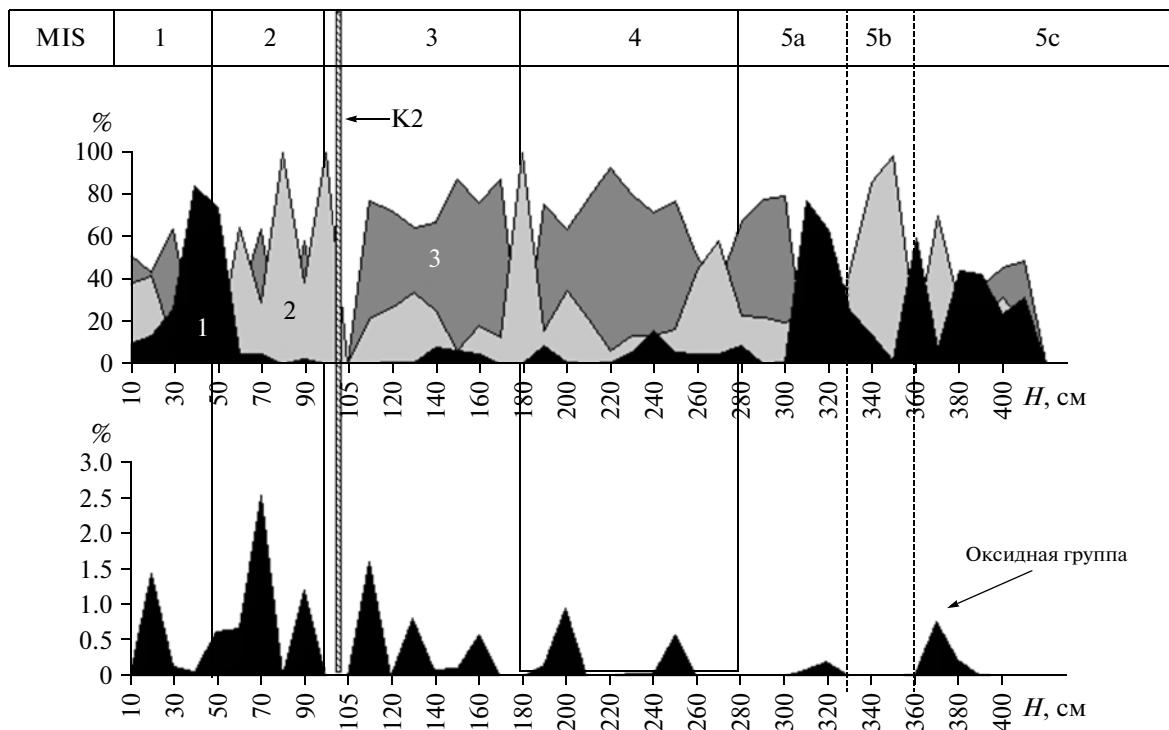
**Горизонт II** (105–50 см) характеризуется резким сокращением диатомей до  $3.4 \times 10^6$  ств./г осадка (рис. 2). Доминируют *Rhizosolenia hebetata* f. *hiemalis* (до 35.8%), *Thalassiosira gravida* var. *gravida* (до 21.7%) и *Thalassiosira eccentrica* (10.2–14.3%) (рис. 3). Субдоминантами являются *Actinocyclus di- visus* (до 9.8%), *Coscinodiscus marginatus* (до 8.8%). Часто встречаются неритическая аркто- boreальная *Bacterosira fragilis* (до 6.4%). В комплексе присутствуют переотложенные древние виды: *Actinocyclus ingens*, *Pyxidicula zabelinae* и др., обитатели сублиторали: *Coccconeis costata*, *Odontella aurita* и др., пресноводные виды: *Pinnularia lata*, *Aulacoseira italicica* и др. В формировании тафоценозов участвует ледо- вая форма *Nitzschia grunovii*. Отмечается низкое со- держание *Thalassiosira latimarginata* (2.4–7.0%).

Комплекс планктонных фораминифер гори- зонта II близок фауне горизонта IV. В этом ком- плексе отмечена низкая концентрация раковин и доминирование холодноводного вида *N. pachyder-*



**Рис. 5.** Вариации количества раковин различных групп бентосных фораминифер, являющихся индикаторами кислорода, по разрезу колонки LV40-20.

Морские изотопно-кислородные стадии (MIS) соответствуют биостратиграфическим комплексам (ВА) (см. рис. 2).



**Рис. 6.** Вариации содержания (%) видов различных групп бентосных фораминифер, являющихся индикаторами кислорода, по разрезу колонки LV40-20.

1 – дизоксидная группа, 2 – субоксидная группа, 3 – оппортунистические виды.

Морские изотопно-кислородные стадии (MIS) соответствуют биостратиграфическим комплексам (ВА) (см. рис. 2).

ma sin. (рис. 4). В осадке возрастает роль песчаной фракции.

Количественные параметры комплексов бентосных фораминифер в данном горизонте заметно снижаются. В нижней части горизонта (интервал 95–80 см) содержание раковин в осадке не превышает 20 экз./г осадка (рис. 2), число видов варьирует от 2 до 8, что свидетельствует о неблагоприятных условиях обитания для бентосных сообществ. Ведущими видами остаются *Uvigerina auberiana* и *Alabaminella weddellensis*, отмечено появление холодноводного *Cassandra singularis* (до 7%). Верхние слои горизонта отличаются увеличением численности (до 137 экз./г осадка) и разнообразия бентосных фораминифер (до 15 видов) и соответствуют по времени формирования теплому событию – терминации 1B на рубеже MIS 1 и MIS 2.

Горизонт II формировался в холодноводных условиях и по времени может соответствовать MIS 2 (24.5–12.5 тыс. лет назад). Этот вывод подтвержден и результатами радиоуглеродного датирования: на глубине 75 см получен возраст 18.3 тыс. лет, а на глубине 55 см – 14.1 тыс. лет.

**Горизонт I** (0–50 см). Граница между горизонтами I и II проведена по резкому увеличению содержания диатомей до  $106.4 \times 10^6$  ств./г осадка (рис. 2) и изменению экологической структуры палеосообществ. В нижней части горизонта наиболее обильно представлен *Rhizosolenia hebetata* f. *hiemalis* (до 34.6%), а в верхней – *Thalassiosira latimarginata* (20.7–49.9%) (рис. 3). Эта тенденция является характерной особенностью комплекса I, соответствующего кислородно-изотопной стадии I центральной части Охотского моря (Жузе, 1962; Пушкарь, Черепанова, 2008). Необходимо также отметить высокое содержание в осадках створок *Paralia sulcata* (до 11.8%) на границе горизонтов I и II.

Численность раковин планктонных фораминифер в среднем составляет 40–80 экз./г осадка, достигая максимума (360 экз./г осадка) на глубине 40 см (рис. 4). Ассоциации фораминифер формируют субарктический вид *N. pachyderma* sin. (около 60%), boreальный *G. bulloides* (до 30%) и *G. quinqueloba*, *Gt. glutinata*, *G. umbilicata*, *N. pachyderma* dex. (менее 10%), единичны раковины тепловодной *Gl. scitula* (рис. 4). Наиболее тепловодная фауна встречена в верхних 20 см, а в слое 50–30 см доминирует вид *G. bulloides* – индикатор апвеллинга и высокой биопродуктивности.

Количество раковин бентосных фораминифер достигает 653 экз./г сухого осадка (рис. 2), а видовой состав представлен 25 таксонами. Особенностью выделенного комплекса является возрастание роли вида *Cassidulina delicata* (до 70% в слое 30–40 см), который почти не встречен в нижних горизонтах. Ранее в Охотском море было установлено (Иванова, Горбarenko, 2005), что максимальный пик развития этого вида приходится на период резкого и значи-

тельного потепления климата изотопной терминации T1A (теплые события беллинг–аллеред), датируемой в интервале 12.5–11.0 тыс. лет. На усиление потока органического вещества указывает и увеличение до 10% видов-индикаторов высокой продуктивности поверхностных вод: *Uvigerina peregrina*, *Brizalina saidovae Troitskaja et Furssenko*, *B. spinescens*.

Все вышеперечисленные особенности ископаемой планктонной и бентосной микробиоты указывают на то, что накопление данного горизонта происходило в условиях, близких к современным, и по времени соответствовало MIS 1 (возраст ~12.5 тыс. лет – настоящее время).

Верхняя часть горизонта I (темноцветный слой D1, 40–0 см), как считается, имеет возраст менее 7.0 тыс. лет (Gorbarenko et al., 2002).

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Диатомовые водоросли являются первичным звеном в питательных цепях планктонных сообществ, и с ними тесно связано развитие следующего трофического уровня – планктонных фораминифер. Учитывая это, можно предположить, что численности этих организмов изменяются синхронно. Вместе с тем анализ содержаний раковин фораминифер и створок диатомей по разрезу колонки показал, что в осадках разных MIS они варьируют по-разному. В осадках MIS 5, несмотря на высокий показатель диатомового температурного индекса ( $T_d = 16.8\%$ ), численность створок диатомей относительно низкая. В то же время фораминиферовое число планктонных фораминифер и особенно бентосных фораминифер устойчиво высокое, за исключением осадков фазы “в”. Аналогичная картина наблюдается и для осадков MIS 2, где на фоне низкой численности диатомей отмечается высокая концентрация раковин фораминифер. В осадках MIS 1 видна последовательная смена обилия раковин фораминифер (глубина 40 см) пиком численности створок диатомей (глубина 20 см). Более сложная картина взаимоотношения численности микрофоссилий наблюдается в осадках MIS 4 и MIS 3. При этом концентрация раковин бентосных фораминифер и планктонных фораминифер изменяется по разрезу синхронно. Такие несовпадения можно объяснить тем, что фораминиферы, как более тепловодная группа по сравнению с диатомеями, в определенных ситуациях меняли основной источник питания (например, могли употреблять в пищу карбонатный наннoplankton).

Основными лимитирующими факторами развития диатомовых водорослей являются продолжительность периода вегетации и поступление питательных веществ в фотическую зону. Поэтому диатомеи могут являться наиболее информативной группой при палеоклиматических реконструкциях. В то же время бентосные фораминиферы будут

ограничены в своем развитии другими факторами среды, особенно учитывая тот факт, что исследуемая колонка отобрана в центральной части Охотского моря на достаточно большой глубине. Принимая во внимание относительную стабильность океанологических параметров придонных вод (температура, соленость и др.) за последние 100 тыс. лет, такими экологическими факторами могут являться: поступление органического вещества на дно бассейна и степень насыщенности кислородом придонных вод (вентиляция). Изменениями этих параметров во времени и можно объяснить сложные вариации количественных взаимоотношений различных видов бентосных фораминифер.

Проанализируем возможности использования вида *G. bulloides* как индикатора апвеллинга и высокой продуктивности в Охотском море. Необходимо отметить, что данный вид является наиболее массовым (иногда до 50%) в Японском море (Плетнев, 1985). Поэтому высокую частоту встречаемости этого вида можно рассматривать и как реакцию на повышение температуры вод Охотского моря. Более того, мы попытались реконструировать температуру поверхностных вод по процентному отношению содержания левозавитой разновидности *G. bulloides sin.* к общему содержанию этого вида по методу Э. Болтовского (Boltovskoy, 1973) и получили для теплых эпох максимальные значения 12–14°C. Вероятно, восстановленные температуры соответствуют именно теплым сезонам года, как и температуры, рассчитанные по алкенонам известкового наннопланктона в Охотском море (Harada et al., 2008). В разрезе колонки LV40-20 пики численности *G. bulloides* отмечены в интервалах 410–340, 240, 150–140, 50–40, 10–0 см. Эти же пики совпадают с появлением наиболее тепловодных видов, за исключением слоя 310–300 см, где преобладает субарктическая форма *N. pachyderma sin.* Сочетание высокой численности *G. bulloides* с наличием тепловодных видов, по-видимому, исключает возможность активизации апвеллинга, так как он приводит к понижению температуры поверхностных вод. Этот предварительный вывод еще раз подтверждает то, что критерии, разработанные для одних бассейнов, следует с осторожностью использовать для других бассейнов. Не менее сложна интерпретация поведения вида *Gl. Scitula* – индикатора промежуточных тихоокеанских вод. Он присутствует в отложениях MIS 1 и MIS 3, но отсутствует в осадках наиболее тепловодной MIS 5. Ранее находки данного вида объясняли его проникновением из Японского моря через пролив Лаперуз (Беляева, Бурмистрова, 1997). В обоих случаях *Gl. scitula* выступает как индикатор потепления.

Наивысшие показатели численности диатомей в Охотском море отмечаются для голоценовых отложений (Пушкарь, Черепанова, 2008). Именно эти осадки, в которых содержание створок диатомей достигает более 60%, и относят к диатомовым илам.

По резкому возрастанию содержания створок этих водорослей в осадках самой верхней части разреза была проведена граница плейстоцена и голоцена. Вместе с тем колебания численности диатомей являются достаточно надежным критерием и для выделения осадков других климатических периодов. Как правило, увеличение этого показателя, пусть и не столь значительное, как для голоцена, является отражением потепления климата.

Температурный коэффициент  $Td$ , который достаточно успешно используется для Японского и других южных морей, для климатической интерпретации данных диатомового анализа осадков Охотского моря не всегда применим. Холодноводный облик голоценовой и современной диатомовой флоры обуславливает очень низкие показатели  $Td$  для этого периода, почти такие же, как во время холодной MIS 2. С другой стороны, температурный коэффициент вполне показателен для выделения осадков подстадий MIS 5.

Для климатических реконструкций района Охотского моря важны и косвенные показатели, которые отражают последствия потеплений или похолоданий. В этом отношении наиболее информативным является изменение численности представителей групп сублиторальных и океанических видов. Возрастание количества обитателей прибрежной зоны, прежде всего *Paralia sulcata*, является индикатором опреснения вод вследствие активного таяния льдов (Жузе, 1962) в начальные стадии потеплений. Этот вид активно развивался ранее и развивается в настоящее время в водах с пониженной соленостью в центральных частях Восточно-Китайского и Желтого морей (Tanimura, 1981). Таким образом, этот таксон может быть отнесен к еврибионтным видам с широким диапазоном толерантности к солености и температуре. В холодные климатические эпохи более активно развивались и аркто- boreальная приледовая форма *Thalassiosira gravida*, ледовые *Nitzschia grunovii*, *N. cylindrus*. Постоянное присутствие незначительного количества (до 2%) двух последних таксонов в осадках может являться свидетельством похолоданий и наличия пакового льда.

Обилие в палеосообществах океанических таксонов *Thalassiothrix longissima*, *Neodenticula semi-nae*, *Coscinodiscus oculus-iridis* и др. свидетельствует об активизации влияния тихоокеанских водных масс.

Дополнительным критерием для климатостратиграфических построений может служить поведение отдельных таксонов, характерное только для Охотского моря. Так, в осадках нижних горизонтов высокое содержание имеет аркто- boreальный океанический *Rhizosolenia hebetata f. hiemalis*, хотя в современных сообществах диатомей этот вид встречается гораздо реже – до 3%. Постепенно *Rh. hebetata* замещается вверх по разрезу *Thalassiosira latimargin-*

ata. Последний вид во время максимума последнего оледенения активно развивался в открытой части Северной Пацифики, затем проник в Охотское море, постепенно став лидирующим таксоном в голоценовых палеосообществах диатомей (Sancetta, 1983). Вероятно, это связано с изменениями солености воды поверхностного слоя. Некоторое опреснение и привело к сокращению участия в палеосообществах *Rh. hebetata*.

Устойчивое присутствие незначительного количества южно- boreальных *Thalassiosira oestrupii*, *Th. pacifica*, *Coscinodiscus radiatus* и субтропической *Thalassionema nitzschiooides*, возможно, вызвано периодическим проникновением теплых вод течения Соя из Японского моря.

На рис. 5 и 6 показано соответственно изменение количества раковин и содержания видов различных групп бентосных фораминифер, отражающих содержание кислорода в придонной воде. Наиболее высокие показатели дизоксидной группы отмечены в теплые периоды: MIS 5 (5c, 5a) и начало MIS 1 (терминации 1A и 1B), что свидетельствует об активном поступлении на дно органического вещества и, как следствие, о дефиците кислорода в придонных водах в течение интервала времени от 120 до 79 тыс. лет. Резкие вариации численности видов оксидной и субоксидной групп отмечаются во время образования горизонтов, соответствующих MIS 4, MIS 3 и MIS 2 (79.0–12.5 тыс. лет назад). Причиной этого стали, вероятно, быстрые смены океанографической обстановки. При резких изменениях палеосреды высокую численность раковин в осадке имеют виды оппортунистической группы, прежде всего *Alabaminella weddellensis*. Их способность быстро реагировать на кратковременные сезонные поступления органического вещества на дно обеспечивала им возможность поддерживать высокую численность даже в холодные эпохи, когда представители других групп практически исчезли.

Особенности развития микробиоты в холодные периоды обуславливались и тем, что при гляциоэстатических понижениях уровня моря площадь шельфа, по нашим данным, сокращалась на 20–25%. Это могло приводить к сокращению поступления более плотных вод вглубь водоема. Нельзя также забывать и тот факт, что тихookeанские глубинные и промежуточные воды, с одной стороны, несут адвекцию тепла в бассейн Охотского моря, а с другой, по-видимому, как и современные воды, они менее насыщены кислородом. Поэтому неоднократная активизация поступления тихookeанских вод, которая трассируется видом *Globorotalia scitula*, а также океаническими видами диатомей, могла резко менять условия среды обитания планктонной и донной биоты в Охотском море.

Таким образом, проведенный нами анализ показал, что при построении более информативных климатических и океанографических моделей раз-

вития Охотского моря в прошлом необходимо обращаться ко всему комплексу данных, полученных разными видами анализов. В настоящее время наиболее изученным районом в Охотском море является его центральная часть. Недостаточность данных по четвертичной геологии шельфа и верхней части материкового склона не позволяет в полной мере оценить пространственно-временную изменчивость природной среды Охотского моря в указанный период времени.

## ВЫВОДЫ

1. На основе всестороннего изучения микрофоссилий в осадках центральной части Охотского моря выделено пять биостратиграфических горизонтов (BA), соответствующих MIS 5–MIS 1 в возрастном диапазоне 120 тыс. лет–настоящее время.

2. Получена детальная характеристика биостратиграфических комплексов из отложений выделенных горизонтов, установлены особенности реакции планктонных и бентосных фораминифер, диатомовых водорослей на изменения среды обитания в плейстоцене–голоцене.

3. Анализ распределения микрофоссилий в исследуемой колонке показал, что глобальные палеоклиматические изменения не так сильно отразились на составе биоты Охотского моря, как это имело место в более южном Японском море. Это в значительной степени затрудняет выделение границ климатостратиграфических горизонтов, особенно горизонта III, осадки которого накапливались во время MIS 3.

4. Изучение изменения количества микрофоссилий в осадках, сформировавшихся в различных климатических ситуациях, показало, что климатостратиграфические построения в Охотском море, основанные на оценках обилия представителей только одной биостратиграфической группы, не всегда оправданы. На примере последнего климатического цикла при переходе от холодноводных условий к тепловодным (к голоцену) показано последовательное увеличение численности биофоссилий: бентосные фораминиферы, планктонные фораминиферы, диатомеи.

5. Возрастание роли дизоксидной группы бентосных фораминифер в теплые эпохи может свидетельствовать о повышении биопродуктивности верхнего слоя воды и увеличении потока  $C_{\text{opr}}$  на дно водоема.

6. Высокое содержание оппортунистических видов в комплексах бентосных фораминифер, сформированных в холодные периоды, указывает на экстремальные условия обитания с периодически малым поступлением органики на дно и эпизодическим недостатком кислорода.

7. Необходимо дополнительное изучение современной фауны планктонных фораминифер в Охот-

ском море для возможного использования видов *Globigerina bulloides* и *Globorotalia scitula* в качестве трассеров апвеллинга и промежуточных тихоокеанских водных масс соответственно.

8. При палеогеографическом анализе с использованием данных диатомового анализа в Охотском море наиболее показательным является изменение соотношения сублиторальных и океанических видов. Это обусловлено тем, что бассейн Охотского моря во время формирования изученной толщи осадков являлся полузамкнутым водоемом, и развитие его природной среды определялось не только глобальными процессами, но и активностью водообмена с Тихим океаном.

Исследования поддержаны Программой Президиума РАН “Происхождение биосфера и эволюция гео-биологических систем” и Президиумом ДВО РАН (грант ДВО РАН 09-1-П15-02).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бараш М.С., Бубенщикова Н.В., Казарина Г.Х., Хусид Т.А.* О палеоокеанологии центральной части Охотского моря в течение последних 200 тыс. лет (по микропалеонтологическим данным) // Океанология. 2001. Т. 41. № 5. С. 755–767.
- Беляева Н.В., Бурмистрова И.И.* К палеогидрологии Охотского моря в последние 60 тыс. лет // Океанология. 1997. Т. 37. № 3. С. 432–440.
- Богданов К.Т., Мороз В.В.* Структура, динамика и гидролого-акустические характеристики вод проливов Курильской гряды. Владивосток: Дальнавака, 2000. 150 с.
- Горбаченко С.А.* Стратиграфия верхнечетвертичных осадков центральной части Охотского моря и его палеоокеанология по  $\delta^{18}\text{O}$  и другим методам // Океанология. 1991. Т. 31. № 6. С. 1036–1042.
- Горбаченко С.А., Деркачев А.Н., Астахов А.С. и др.* Литостратиграфия и тифрохронология верхнечетвертичных осадков Охотского моря // Тихоокеанская геология. 2000. Т. 19. № 2. С. 58–72.
- Горбаченко С.А., Чеховская М.П., Соутон Дж.Р.* О палеосреде центральной части Охотского моря во время последнего оледенения – голоцен // Океанология. 1998. Т. 38. № 2. С. 305–308.
- Давыдова Н.Н.* Диатомовые водоросли-индикаторы природных условий водоемов в голоцене. Л.: Наука, 1985. 244 с.
- Диатомовые водоросли СССР: ископаемые и современные. Л.: Наука, 1974. 403 с.
- Жузе А.П.* Стратиграфические и палеогеографические исследования в северо-западной части Тихого океана. М.: Изд-во АН СССР, 1962. 258 с.
- Иванова Е.Д., Горбаченко С.А.* Комплексы бентосных фораминифер как показатель донных обстановок в позднем плейстоцене–голоцене (Охотское море) // Доклады международного APN-Start симпозиума по изучению глобальных изменений в Северо-Восточной Азии. Владивосток: Дальнавака, 2005. С. 37–45.
- Марков К.К.* Палеогеография и новейшие отложения. М.: Наука, 1986. 208 с.
- Плетнев С.П.* Стратиграфия донных отложений и палеогеография Японского моря в позднечетвертичное время. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1985. 111 с.
- Пушкарь В.С., Черепанова М.В.* Диатомовые комплексы и корреляция четвертичных отложений северо-западной части Тихого океана. Владивосток: Дальнавака, 2008. 174 с.
- Хусид Т.А.* Бентосные фораминиферы Охотского моря и палеосреда в позднечетвертичное время // Океанология. 2000. Т. 40. № 3. С. 434–438.
- Хусид Т.А., Басов И.А.* Позднечетвертичная гидрологическая история Охотского моря по фораминиферам // Стратиграфия. Геол. корреляция. 1999. Т. 7. № 6. С. 41–52.
- Asano K.* The foraminifera from the adjacent seas of Japan collected by the S.S. Soyo Maru, 1922–1930, part 1 // Tohoku Univ. Sci. Rep. Ser. 2. 1957. 27 p.
- Boltovskoy E.* Ecology of planktonic foraminifera living in the surface layer of Drake Passage // Micropaleontology. 1973. V. 17. № 1. P. 53–68.
- Gorbarenko S.A., Nurnberg D., Derkachev A.N. et al.* Magnetostratigraphy and tephrachronology of the upper Quaternary sediments in the Okhotsk Sea: implication of terrigenous, volcanogenic and biogenic matter supply // Mar. Geology. 2002. V. 183. P. 107–129.
- Gorbarenko S.A., Southon J.R., Keigwin L.D. et al.* Late Pleistocene-Holocene oceanographic variability in the Okhotsk Sea: geochemical, lithological and paleontological evidence // Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol. 2004. V. 209. P. 281–301.
- Hasle G.R.* The biogeography of some marine plankton diatoms // Deep Sea Res. 1976. V. 23. P. 319–338.
- Harada N., Sato M., Sakamoto T.* Freshwater impacts recorded in tetraunsaturated alkenones and alkenone sea surface temperatures from the Okhotsk Sea across millennial-scale cycles // Paleocenography. 2008. V. 19. P. 35–49.
- Itoi M., Ono T., Oba T., Noriki S.* Isotopic composition and morphology of living *Globorotalia scitula*: a new proxy of sub-intermediate ocean carbonate chemistry? // Mar. Micropaleontol. 2001. V. 42. P. 18–210.
- Kaiho K.* Benthic foraminiferal dissolved-oxygen index and dissolved-oxygen levels in the modern ocean // Geology. 1994. V. 22. P. 719–722.
- Kanaya T., Koizumi I.* Interpretation of diatom thanato-coenoses from the North Pacific applied to a study of core V20-130 // Tohoku Univ. Sci. Repts. 1966. Ser. 2. № 2. P. 89–130.
- Kuzmin Y.V., Burr G.S., Gorbunov S.V. et al.* A tale of two seas: reservoir age correction values ( $R$ ,  $\Delta R$ ) for the Sakhalin Island (Sea of Japan and Okhotsk Sea) // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B. 2007. V. 259. P. 460–462.
- McQuoid M.R., Hobson L.A.* Assessment of palaeoenvironmental conditions on southern Vancouver Island, British Columbia, Canada, using the marine tychoplankter *Paralia sulcata* // Diatom Res. 1998. V. 13. № 2. P. 311–321.
- Sakamoto T., Ikebara M., Uchida M. et al.* Millennial-scale variations of sea-ice expansion in the southwestern part of the Okhotsk Sea during the past 120 kyr: age model and ice rafted debris in IMAGES Core MD01-2412 // Global and Planetary Change. 2006. V. 53. № 1. P. 58–77.

- Sancetta C.A.* Oceanographic and ecologic significance of diatoms in surface sediments of the Bering and Okhotsk seas // Deep Sea Res. 1981. V. 28A. № 8. P. 789–817.
- Sancetta C.A.* Distribution of diatom species in surface sediments of the Bering and Okhotsk seas // Micropaleontology. 1982. V. 28. № 3. P. 221–251.
- Sancetta C.A.* Effect of Pleistocene glaciation upon oceanographic characteristics of the North Pacific Ocean and Bering Sea // Deep Sea Res. 1983. V. 30. № 8A. P. 851–869.
- Smart C.W., King S.C., Gooday A.J. et al.* A benthic foraminiferal proxy of pulsed organic matter paleofluxes // Mar. Micropaleontol. 1994. V. 23. P. 89–99.

- Tanimura Y.* Late Quaternary diatoms of the Sea of Japan // Tohoku Univ. Sci. Rep. Ser. 2. 1981. V. 51. № 1–2. P. 1–36.
- Venrick E.L.* Recurrent groups of diatom species in the North Pacific // Ecology. 1971. V. 52. P. 614–625.
- Zaric S., Donner B., Fischer G. et al.* Sensitivity of planktonic foraminifera to sea surface temperature and export production as derived from sediment trap data // Mar. Micropaleontol. 2005. V. 55. P. 75–105.

Рецензенты О.Д. Найдина,  
Ю.А. Лаврушин