

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. Ильичева ДВО РАН, Владивосток
e-mail: pletnev@poi.dvo.ru

**Биолого-почвенный 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). Дана 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 подробно 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; Горбаренко, 1991; Горбаренко 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}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 седиментации. 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 Российской Федерации является наиболее холодноводным и по своим термическим характеристикам наиболее близко к арктическим бассейнам. Структура вод в центральной части моря, где и 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 (Т) около 2.5°C и соленостью (S) 32.5‰ в весенний период и 10–13°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: Т = –1.3°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 (Т = 1.5°C, S = 33.7‰); 4) глубинная водная масса (600–1300 м), представленная в виде теплого промежуточного слоя с максимальными значениями Т = 2.3°C, S = 34.3‰ на глубине 750–1000 м; 5) водная масса южной котловины (более 1300 м) с Т = 1.85°C и S = 34.7‰.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Материалом для исследования послужил керн колонки, отобранной 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°30' в.д., между 55.5° и 51.5° 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 южном пологом склоне возвышенности Института Океанологии с помощью гидростатического пробоотборника ГСП–2 (географические координаты 51°27.16' с.ш., 149°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 ¹⁴C.

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 ×800 с последующим пересчетом на абсолютное содержание в 1 г осадка.

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

Радиоуглеродное (¹⁴C) датирование карбонатного материала раковин бентосных фораминифер (род *Uvigerina*) проводили методом ускорительной масс-спектрометрии (accelerator mass spectrometry, AMS) в лаборатории Университета штата Аризона (г. Туксон, 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 [Ca₃(PO₄)₂], в результате чего образовывался углекислый газ (CO₂), который восстанавливался до углерода (графита) по стандартной методике (Kuzmin et al., 2007). Измере-

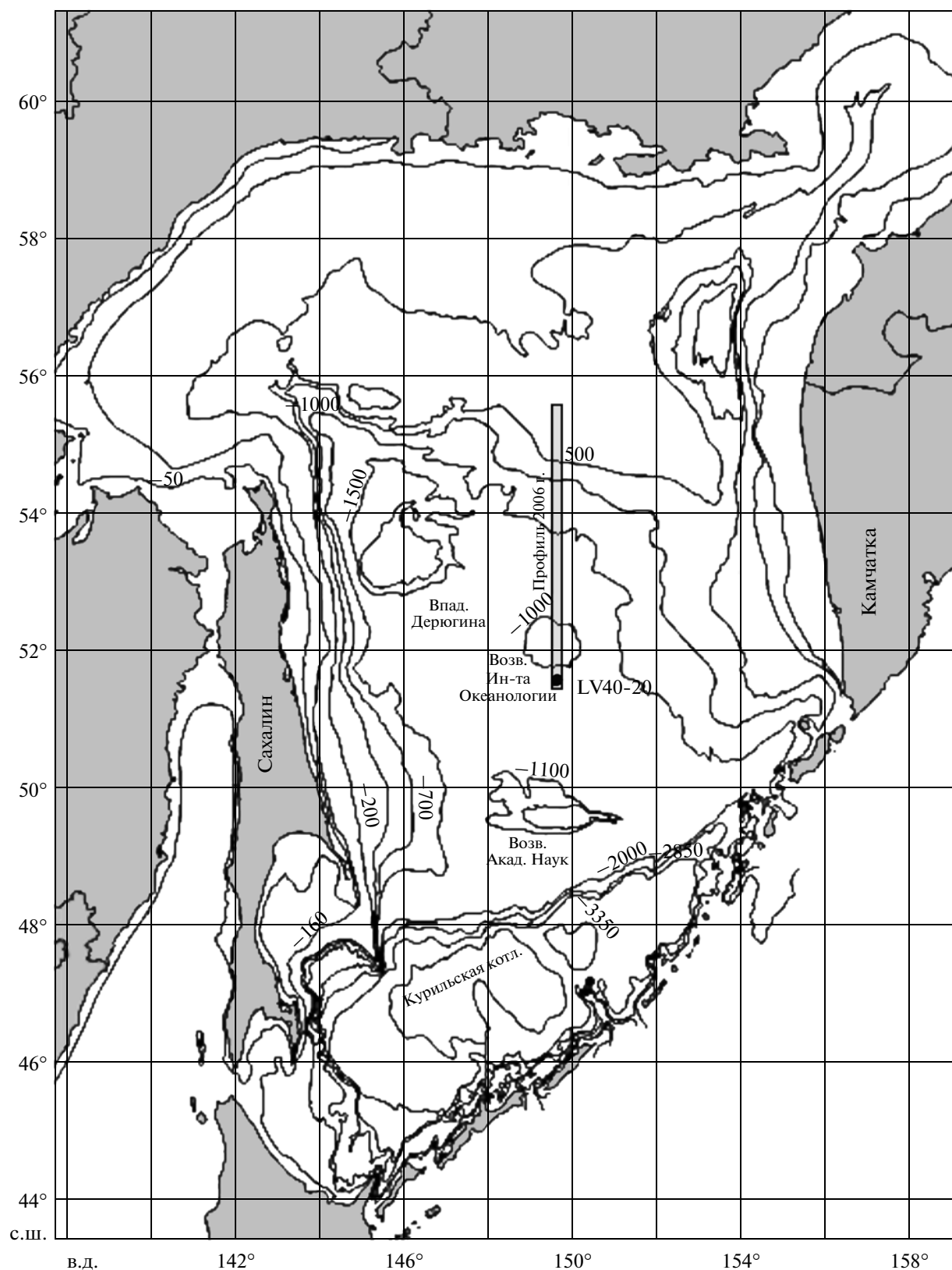


Рис. 1. Карта-схема положения станции LV40-20 в Охотском море.

ние содержания изотопа ^{14}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}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 ~900–1000 ^{14}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 алевроито-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 градиционно-слоистую текстуру (обусловленную наложением нескольких градиционных 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 алевроито-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, Tetracyclus; 10 — виды и разновидности более древнего возраста (Actinocyclus in-

Таблица 1. Результаты датирования (^{14}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 ± 75	–0.5
70–80	AA-79695	18 320 ± 130	0.0
150–160	AA-79696	38 430 ± 970	–0.5
240–250	AA-79697	39 600 ± 1 100	–0.5
330	AA-79698	48 900 ± 3 500	–0.3

gens Rattray, Coscinodiscus marginatus f. fossilis Jouse, Pyxidicula zabelinae (Jouse) Makarova et Moiseeva, 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.

Инсигтная диатомовая флора имеет отчетливо выраженный северо-бореальный облик. В ее составе доминируют обитатели северо-бореальных вод (64.3%), аркто-бореальные составляют 17.1%, южно-бореальные — 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: Actinocyclus senarius (Ehrenberg) Ehrenberg, Coscinodiscus asteromphalus Ehrenberg var. asteromphalus, C. perforatus Ehrenberg var. perforatus, C. radiatus Ehrenberg, Cyclotella striata (Kützing) Grunow var. striata, Thalassionema nitzschiioides (Grunow) Hustedt, Thalassiosira leptopus (Grunow) Fryx. et Hasle, Th. oestrupii (Ostenfeld) Hasle и др., а к холодноводным — Actinocyclus curvatulus Janisch var. curvatulus, 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 munchina</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 hanzawaii</i> Asano
		<i>Uvigerina peregrina</i> Cushman
		<i>Valvulineria sadonica</i> Asano

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

По местообитанию были выделены группы сублитеральных, неритических и пелагических (океанических) диатомей. В первую группу включены бентосные и меропланктонные виды: *Cocconeis 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 curvatus* Janisch var. *curvatus*, *A. divisus* Kisselev, *Coscinodiscus asteromphalus* Ehrenberg var. *asteromphalus*, *C. marginatus* Ehrenberg, *C. oculus-iridis* Ehrenberg, *C. radiatus* Ehrenberg, *Neodenticula seminiae* (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 бореального 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 подразделяют 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 суб-оксидной группе. Доминирующий таксон *Alabaminella weddellensis* относится также и к группе видов-оппортунистов. Весенние вспышки цветения фитопланктона активизируют поток фитодетрита, и на морском дне происходит массовая репродукция 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 агглютированную раковины. Наиболее показательными являются виды *Alabaminella weddellensis* (ep. — эпифаунальный), *Brizalina spinescens* (Cushman) (in. — инфаунальный), *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.), *Valvulineria 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, сублитеральных) групп; наличие видов-трассеров, 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 5.1×10^6 до 62.1×10^6 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 gravis* (до 25.9%) (рис. 3). Появляется холодноводный океанический вид *Thalassiothrix longissima* (до 5.3%).

Содержание диатомей в слое 330–280 см возрастает от 13.1×10^6 до 62.1×10^6 ств./г осадка (рис. 2). Необходимо отметить, что в нижней части интервала увеличивается обилие сублитерального 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 фораминиферного 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 фораминиферных 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 инфаунальных 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 — “c”, “a” и холодной — “b” (возраст 120.0–96.5, 96.5–84.5, 84.5–79.0 тыс. лет соответственно).

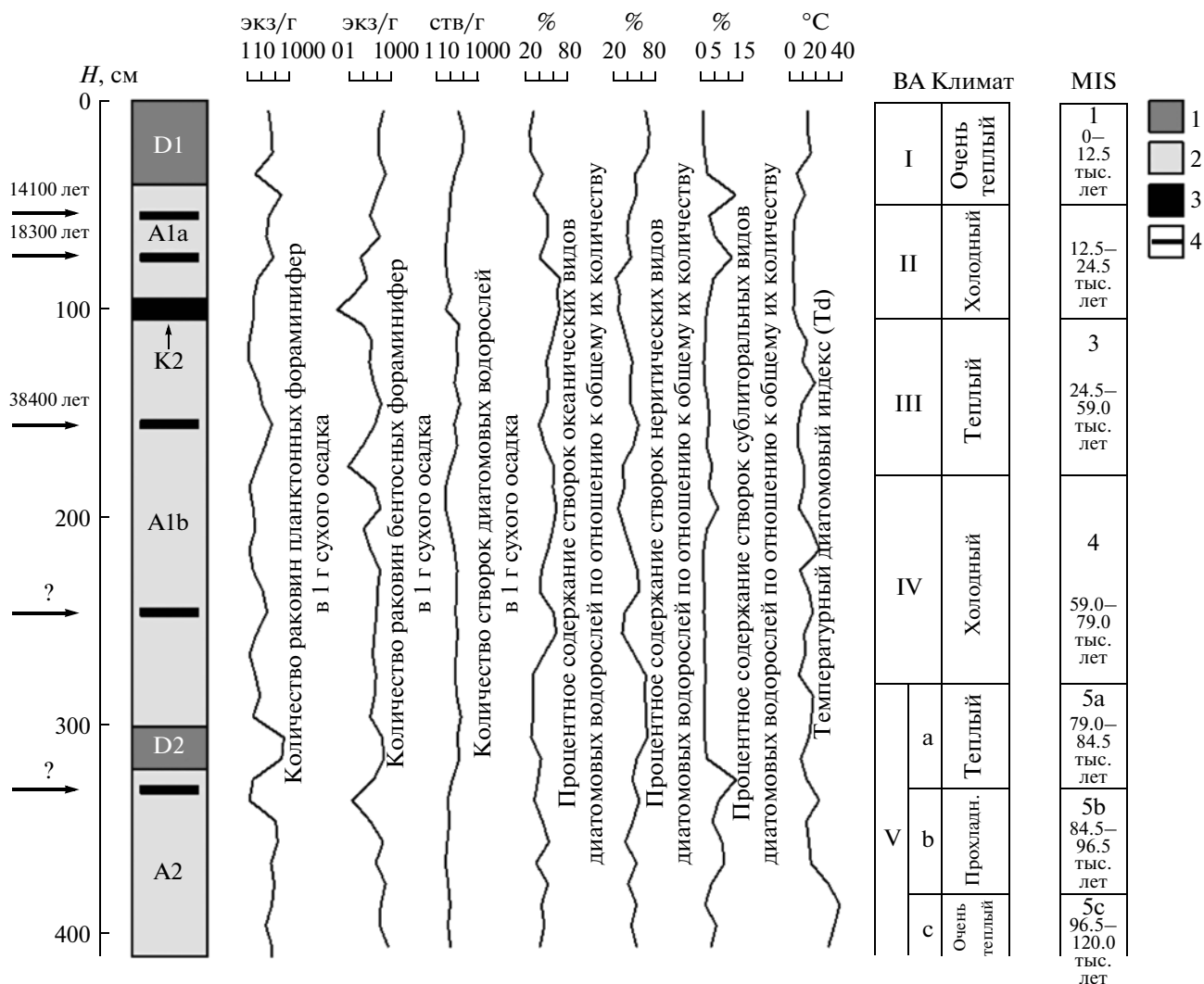


Рис. 2. Биостратиграфическое расчленение верхнечетвертичных отложений по разрезу колонки LV40-20.

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

D1, D2, A1a, A1b, A2, K2 — литостратиграфические горизонты, описанные в тексте. BA — 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 3.6×10^6 до 27.5×10^6 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-бореальной 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-

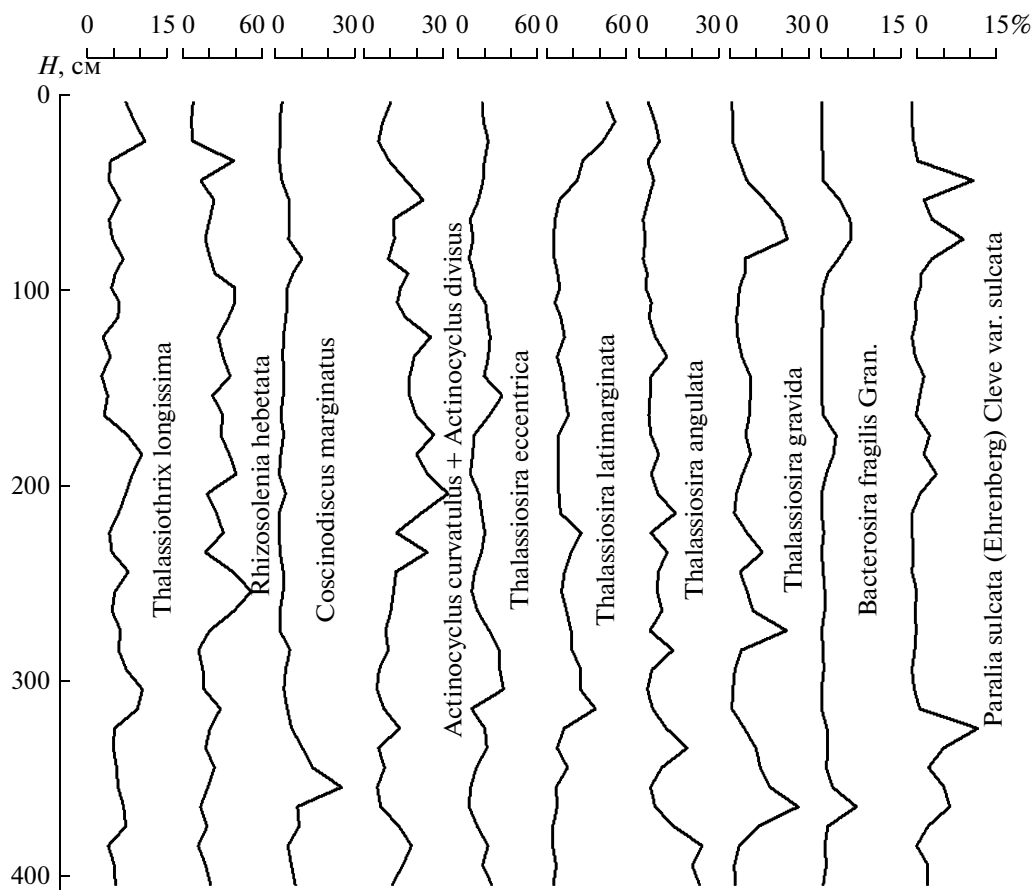


Рис. 3. Содержание створок отдельных видов диатомовых водорослей в осадках (в %).

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 навеской карбонатного материала для анализа.

Низкая концентрация микрофоссилий в осадках и доминирование холодноводных видов указывают на то, что накопление данного горизонта происходило 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 10.0×10^6 до 53.0×10^6 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 встречаются 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 встречаются *G. 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

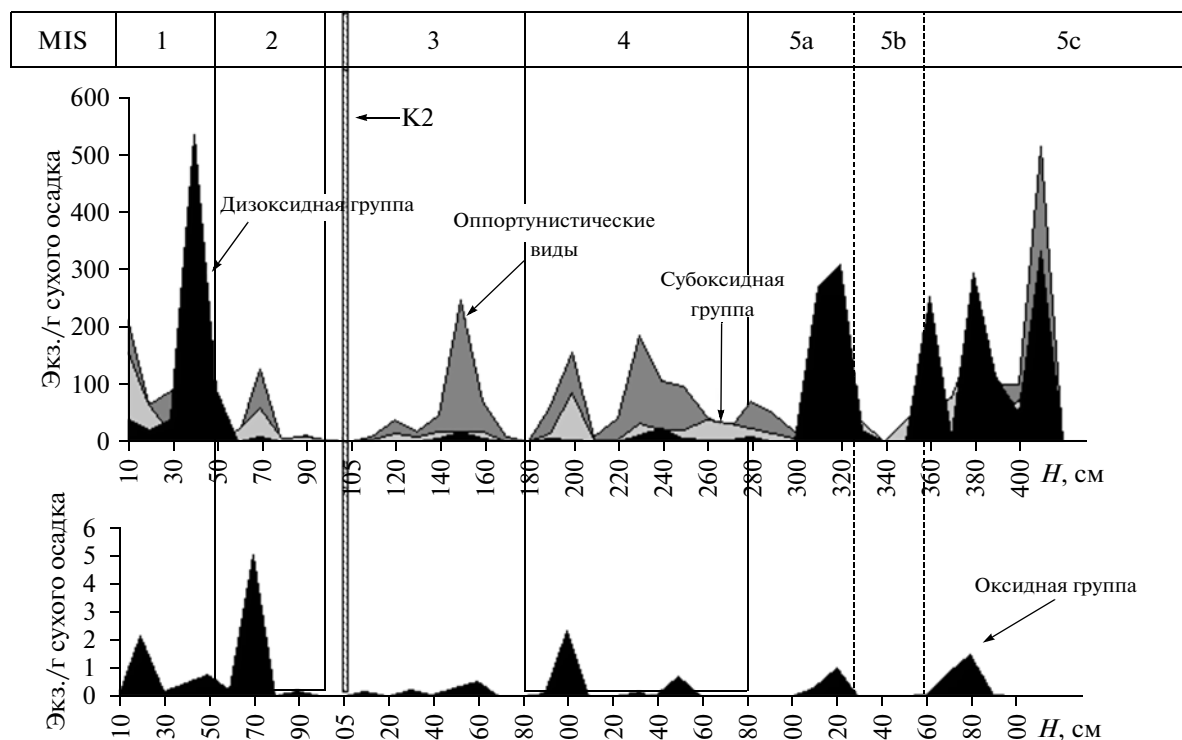


Рис. 5. Вариации количества раковин различных групп бентосных фораминифер, являющихся индикаторами кислорода, по разрезу колонки LV40-20.

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

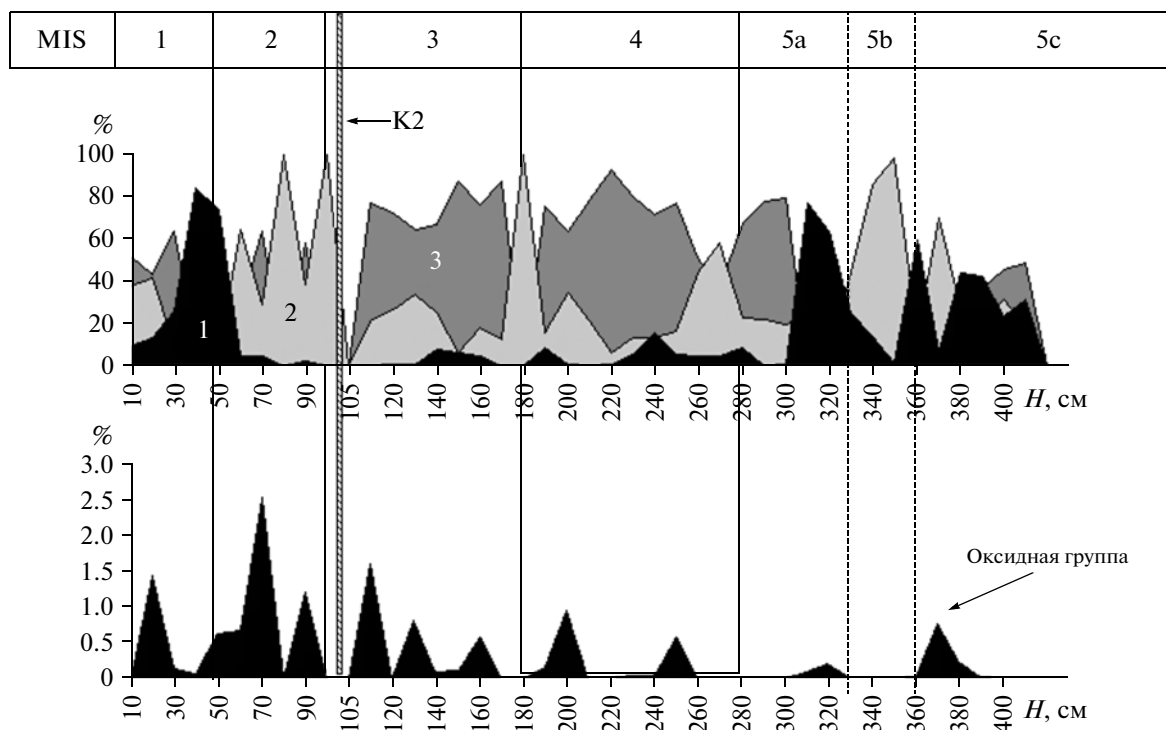


Рис. 6. Вариации содержания (%) видов различных групп бентосных фораминифер, являющихся индикаторами кислорода, по разрезу колонки LV40-20.

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

Морские изотопно-кислородные стадии (MIS) соответствуют биостратиграфическим комплексам (BA) (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 тепловому событию — терминации 1В 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 106.4×10^6 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; Пушкар, 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%), бореальный *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, Горбаренко, 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 наннопланктон).

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. Болтовской (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 алкенам 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 Лаперуза (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 T_d , 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 T_d 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 эврибионтным видам с широким диапазоном толерантности к солености и температуре. В холодные климатические эпохи более активно развивались и аркто-бореальная приледная 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 seminiae*, *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-бореальный 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-*

ата. 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-бореальных *Thalassiosira oestrupii*, *Th. pacifica*, *Coscinodiscus radiatus* и субтропической *Thalassionema nitzschioides*, 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 диоксидной группы отмечены в теплые периоды: MIS 5 (5с, 5а) и начало MIS 1 (терминации 1А и 1В), 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 гляциоэвстатических 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 тихоокеанские 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 тихоокеанских 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 (ВА), 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 оправданны. На примере последнего климатического цикла при переходе от холодноводных условий к тепловодным (к голоцену) показано последовательное увеличение численности биофоссилий: бентосные фораминиферы, планктонные фораминиферы, диатомей.

5. Возрастание роли диоксидной группы бентосных фораминифер в теплые эпохи может свидетельствовать о повышении биопродуктивности верхнего слоя воды и увеличении потока $C_{орг.}$ 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 водобмена с Тихим океаном.

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бараш М.С., Бубенищикова 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: Дальнаука, 2000. 150 с.
- Горбаренко 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.
- Горбаренко 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.
- Горбаренко С.А., Чеховская М.П., Соутон Дж.Р. О палеосреде центральной части Охотского моря во время последнего оледенения – голоцена // *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., Горбаренко 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: Дальнаука, 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.
- Пушкар В.С., Черепанова М.В. Диатомовые комплексы и корреляция четвертичных отложений северо-западной части Тихого океана. Владивосток: Дальнаука, 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 tephrochronology 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 thanatocoenoses 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, ΔR) 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 tycho plankter *Paralia sulcata* // *Diatom Res.* 1998. V. 13. № 2. P. 311–321.
- Sakamoto T., Ikehara 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*