

## КОМПЛЕКСЫ ДИАТОМОВЫХ ВОДОРОСЛЕЙ В ПОЗДНЕЧЕТВЕРТИЧНЫХ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ЗАЛИВА ПРЮДС (ВОСТОЧНАЯ АНТАРКТИКА) И ИХ БИОСТРАТИГРАФИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ

канд. геол.-минерал. наук З.В.ПУШИНА

ВНИИОкеангеология, Санкт-Петербург, e-mail: musatova@mail.ru

*В статье приводятся результаты изучения панцирей диатомовых водорослей в донных осадках залива Прюдс (Восточная Антарктика). Разработана биостратиграфическая схема на основании корреляции выделенных диатомовых экозон, которые соответствуют трем голоценовым периодам — раннему, среднему и позднему, для всей акватории залива.*

*Ключевые слова:* залив Прюдс, диатомовые водоросли, голоцен.

### ВВЕДЕНИЕ

Наряду с ледяными кернами, содержащими подробную информацию об изменении климата южной полярной области в плейстоцен-голоцене, палеоклиматические записи содержатся также в донных четвертичных отложениях, которые накапливались в морях Антарктики. Осадки колонок, поднятые во время морских работ САЭ и РАЭ геологами Полярной морской геологоразведочной экспедиции (ПМГРЭ) в различных районах залива Прюдс (море Содружества, Восточная Ан-

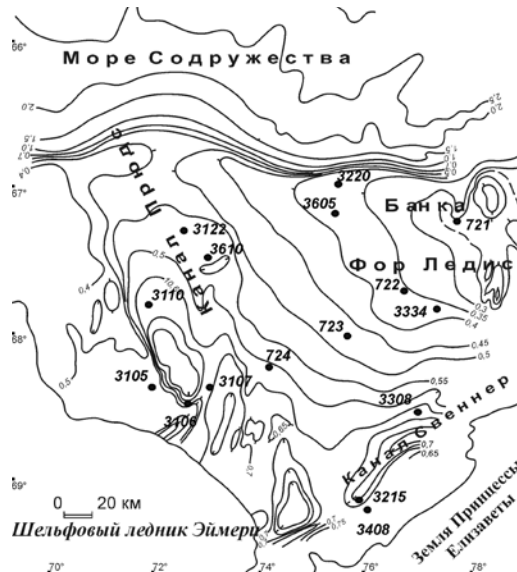


Рис. 1. Карта-схема расположения станций отбора в заливе Прюдс

Географическое положение исследованных колонок

№ станции	Координаты		Глубина моря, м	Длина колонки, см
	широта, ю.ш.	долгота, в.д.		
3105	68°41'	72°00'	460	90
3106	68°22'	73°31'	711	116
3107	68°22'	73°00'	732	154
3110	67°48'	71°55'	678	207
3122	67°18'	72°28'	570	98
3215	69°07'	75°51'	647	203
3220	66°56'	75°28'	357	63
3308	68°30'	76°47'	655	196
3334	67°50'	77°16'	385	157
3408	69°11'	76°04'	507	100
3605	67°12'	75°25'	385	80
3610	67°33'	73°11'	612	200
721	67°13'	77°33'	250	118
722	67°39'	76°36'	345	27
723	68°00'	75°30'	480	111

тарктика) (табл. 1, рис. 1), изучались одновременно по нескольким параметрам: гранулометрический и геохимический состав, характер и распространение фораминифер и диатомовых водорослей.

Акватория залива Прюдс заключена между мысом Дарнли и о. Пингвин. Более 50 % площади залива перекрывает шельфовый ледник Эймери. Морфология дна залива типична для ледниковых шельфовых окраин. Шельф залива Прюдс характеризуется значительной шириной (до 300 км в открытой акватории и более 500 км, включая его продолжение под ледником Эймери) и разнообразием рельефа донной поверхности. Среди наиболее крупных морфоструктур морского ложа здесь выделяются два относительно мелководных участка (глубины моря до 150–200 м): банка Фор Ледис на северо-востоке и банка Фрам на северо-западе, разделенные широким (100–120 км) U-образным каналом глубиной 550–750 м, известным как канал Прюдс, пересекающим шельф в северо-восточном направлении. На внутренней части шельфа наблюдается серия вытянутых субмеридиональных депрессий с глубинами моря до 800–1000 м. В южной части залива параллельно ледовому берегу материка находится глубокий канал Свеннер [21].

Изученные донные осадки подразделяются на две части: в нижней (диамиктон) отсутствуют микрофоссилии, в верхней (преимущественно алеврит голоценового возраста) преобладают кремнистые микрофоссилии (диатомеи) над карбонатными (фораминиферы). Исследование донных отложений методами диатомового и фораминиферного анализов позволило произвести стратиграфическое расчленение изучаемых колонок и определить палеоэкологические условия их формирования.

**Методика исследований.** Отбор колонок на шельфе проводился в ходе летних сезонных работ Советских/Российских антарктических экспедиций с судна гравитационными, колонковыми трубами разной длины, диаметра и веса.

Образцы для изучения диатомовых водорослей и фораминифер из колонок залива Прюдс поинтервально отбирались через 10 см. Величина навесок составляла 5–10 г сухого осадка. Образцы для исследований были подготовлены по стандартной методике обработки донных осадков в целях изучения диатомей, разработанной в Институте океанологии АН СССР [3].

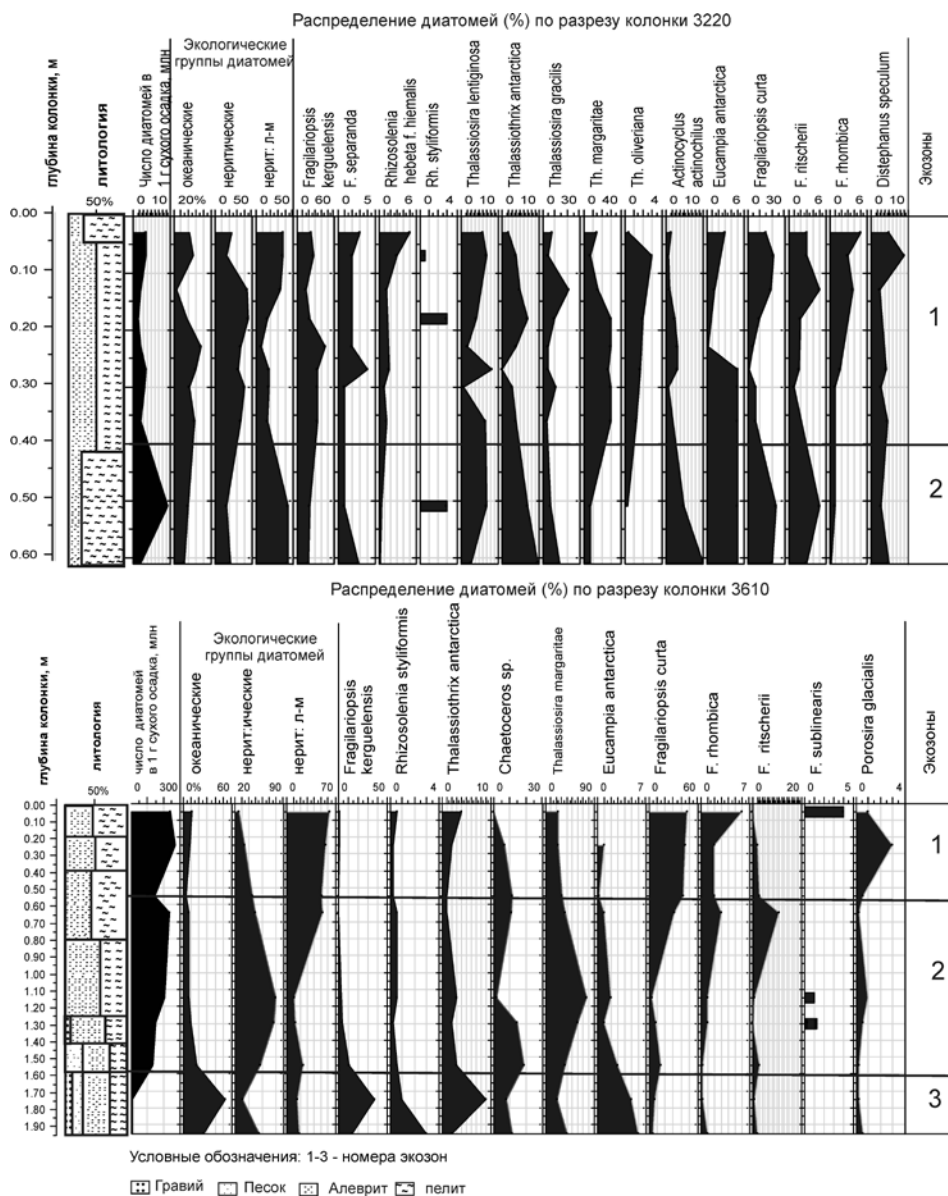


Рис. 2. Распределение диатомей по разрезам колонок 3220 и 3610

На основании изучения гранулометрического состава, данных по геохимии, результатов диатомового и фораминиферового анализов проведена корреляция верхнечетвертичных голоценовых осадков залива Прюдс. Возрастное расчленение изученных нами донных осадков сделано на основе количественного и видового распределения диатомовых водорослей по разрезам, по радиоуглеродным датировкам и на основании сравнения с данными других авторов [13, 14, 15, 18, 22].

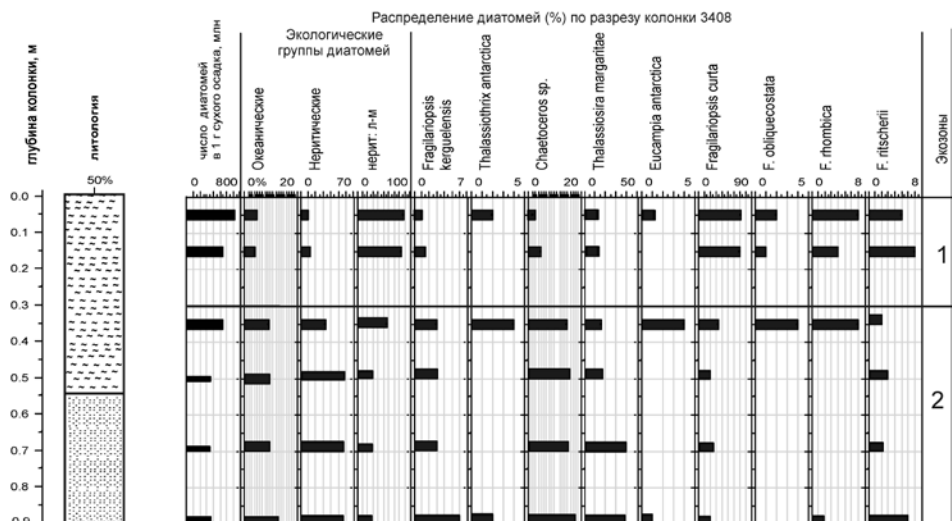
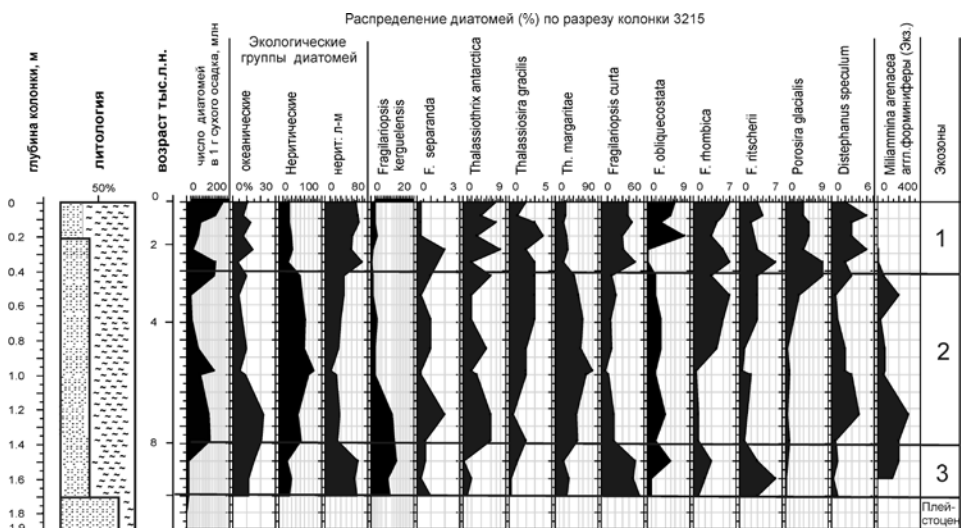


Рис. 3. Распределение диатомей по разрезам колонок 3215 и 3408  
Условные обозначения см. на рис. 2

Для анализа распределения количественного и видового составов диатомей была использована компьютерная графическая программа PanPlot, разработанная в Институте Альфреда Вегенера (Бременхафен, Германия). На построенных графиках показано распределение доминирующих, показательных видов и экологических групп диатомей в % (рис. 2–4) по разрезам колонок.

Осадки колонок содержат богатые комплексы диатомей, определяющие высокую биологическую продуктивность биоценозов во время их развития. Изменения в количественном и доминантном составе комплексов диатомей, которые имеют различную экологическую характеристику, позволили выделить в осадках ряд экзон (нумерация экзон сверху вниз по разрезу), характеризующихся определенными температурными и гидродинамическими условиями.

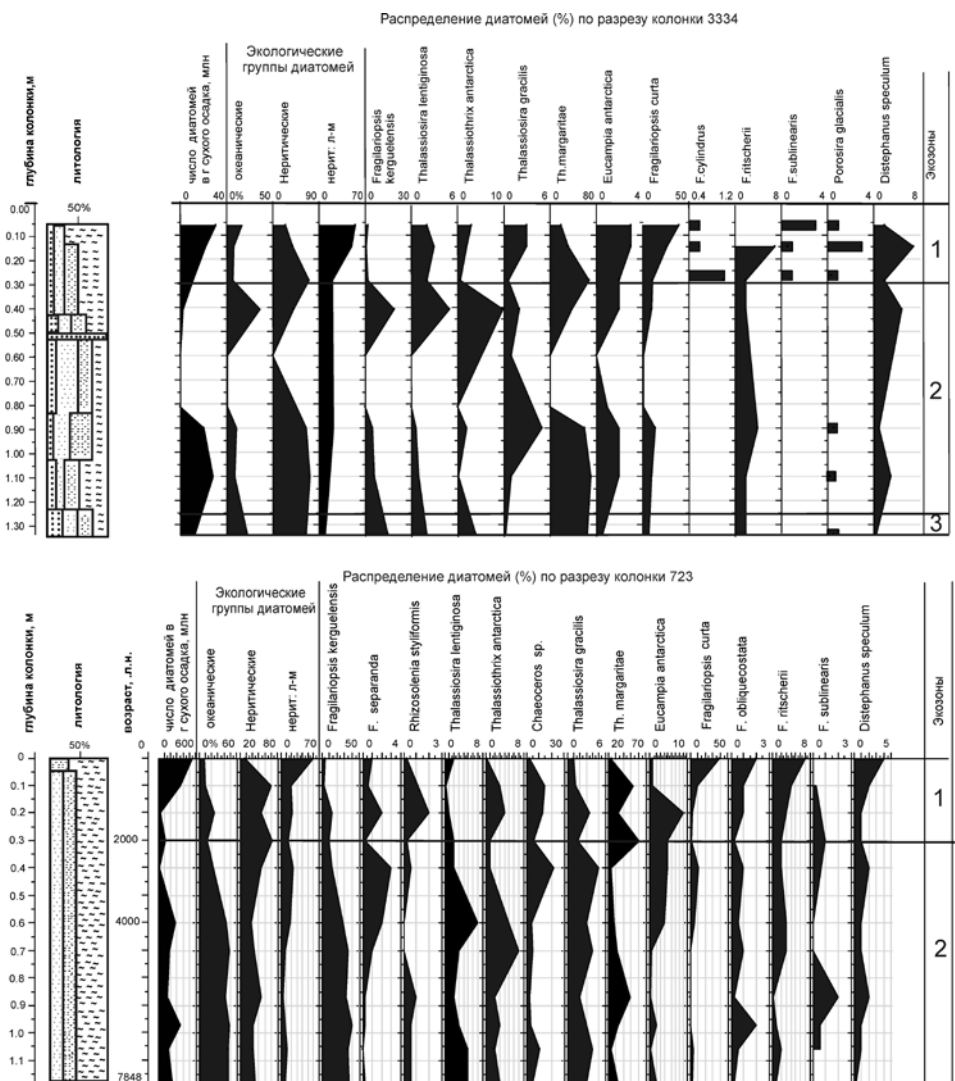


Рис. 4. Распределение диатомей по разрезам колонок 3334 и 723

Условные обозначения см. на рис. 2

### ДОННЫЕ ОСАДКИ ЗАЛИВА ПРЮДС И ПАЛЕОКЛИМАТИЧЕСКИЕ РЕКОНСТРУКЦИИ

В донных осадках залива Прюдс установлено 74 вида и разновидностей диатомовых водорослей и 1 вид силикофлагеллат (*Distephanus speculum*). Флористический состав диатомей и численность их в антарктических водах определяются в первую очередь ледовыми условиями.

Работа А.П.Жузе, Г.С.Королевой и Г.А.Нагаевой «Стратиграфические и палеогеографические исследования в Индийском секторе Антарктики» (1963) [2] была первым опытом биостратиграфического расчленения позднечетвертичных донных осадков Антарктики, основанным на использовании установленных видов-индексов

различных водных антарктических масс. Эта методика используется до сих пор, испытав только ряд уточнений экологических параметров диатомей в соответствии с отдельными региональными особенностями.

**Экостратиграфия голоценовых осадков в районе континентального склона залива Прюдс.** На бровке шельфа залива отобраны небольшие по длине колонки, самая информативная на станции 3220 (табл. 1, рис. 2). Положение станции обуславливает две особенности формирования диатомовых комплексов в осадках: 1) высокий процент встречаемости океанических видов, особенно грубопанцирного *Fragilariopsis kerguelensis* (до 60 %) и 2) низкое количественное содержание створок диатомей (100–320 экз. в препарате). Это связано с поступлением океанических вод, а также повышенной гидродинамикой, в результате которой тонкопанцирные виды сносятся течениями, а грубопанцирные преобладают. В этом районе, по нашим данным [5, 12] и данным Д. Франклина [15], в поверхностном слое осадков установлен комплекс диатомей с доминированием *F. kerguelensis*.

В осадках этой колонки выделяются две экозоны (рис. 2). Экозона 2 установлена в интервале глубин 40–63 см, время формирования соответствующих ей глинистых осадков происходило в среднем голоцене. Диатомовые ассоциации из этих осадков характеризуются самой высокой численностью диатомей (до 10 млн створок/г) по разрезу колонки. В комплексе диатомей преобладают неритические ледово-морские виды *F. curta*, *Actinocyclus actinochilus*, *Eucampia antarctica*. Из океанических видов наиболее заметны *Fragilariopsis kerguelensis* и *Thalassiothrix antarctica*. Комплексы диатомей из вышележащих осадков, датированных поздним голоценом (с 2,5 тыс.л.н. – до сегодняшнего дня), соответствующие экозоне 1 (инт. 18–40 см), отличаются преобладанием неритических открыто-морских видов с доминированием *Thalassiosira margaritae*. В комплексах этой экозоны установлено максимальное количество океанических видов *Fragilariopsis kerguelensis* (до 60 % в инт. 20–25 см) и *F. separanda* (до 5 %). В осадках в инт. 5–18 см характерно преобладание неритических ледово-морских видов с доминантой *F. curta* и сопутствующими силикофлагеллятой *Distephanus speculum* и ледово-морским диатомовым видом *Fragilariopsis rhombica*, океанических видов также много с преобладанием *F. kerguelensis*. В этой экозоне отмечается максимальное количество океанического вида *Rhizosolenia hebetata f. hiemalis*, характерного для зон апвеллинга.

**Экостратиграфия верхнеплейстоценовых-голоценовых осадков в канале Прюдс.** Для наиболее глубоководного района залива в канале Прюдс (колонки 3105, 3106, 3107, 3122, 3610) характерны 2 типа осадков: нижний слой – терригенные осадки (верхний плейстоцен) и верхний – голоценовый, представленный алевро-песчаной глиной и глиной.

В низах одной из самых глубоководных колонок 3107 (табл. 1, рис. 1) в терригенных осадках морского генезиса, датированных верхним плейстоценом, диатомеи представлены единичными створками, а фораминиферы встречены в большом количестве – более 2 тыс. экз. на 100 г. осадка. На границе терригенных (верхнеплейстоценовых) и алевро-песчаных (голоценовых) осадков диатомеи по-прежнему редки. В комплекс фораминифер входят планктонные и бентосные карбонатные виды. Ниже по разрезу (инт. 125–154 см) обнаружен комплекс антарктических неритических диатомей с доминантой *Eucampia antarctica* (до 80 %), который характеризует экозону 3. Осадки этого периода датируются ранним голоценом. Эти грубопанцирные виды доминируют в поверхностном слое осадков моря Росса, где есть система сильных донных течений [20]. При значительном сносе тонкопанцирных видов грубопанцирные диатомовые виды, такие как *E. antarctica*, составляющие в современном планктоне от 0,9 до 0,1 % от общего состава комплекса [19], в подобных условиях становятся доминантными. Л.Баркл [8, 9], Л.Баркл и Д.Кук [7] используют этот вид в своих палеогеографических построениях, считая

его показателем ледниковых эпох. Присутствие же океанического вида *Fragilariopsis kerguelensis* в качестве субдоминанты свидетельствует о значительном поступлении океанических водных масс, поскольку в современных биоценозах залива Прюдс океанические диатомеи *Fragilariopsis kerguelensis* составляют не более 4 % [19].

В комплексе диатомей, установленном в осадках раннего голоцена (экозона 3) станции 3610 (инт. 160–205 см), доминируют океанические виды диатомей, достигая до 60 % от общего состава комплекса (*Fragilariopsis kerguelensis* – до 32 %, *Thalassiothrix antarctica* – до 15 %, *Thalassiosira lentiginosa* – до 4 %) (табл. 1, рис. 1–2). Неритический открыто-морской вид *Th. margaritae* составляет 25 %. Из неритических ледово-морских видов отмечены *Eucampia antarctica* и *Fragilariopsis curta* до 5 %. На основании изучения диатомовых комплексов можно предположить, что формирование палеокомплексов и вмещающих их осадков, представленных алевритами с глиной, песком и галькой, происходило в неритических условиях со значительным проникновением океанических водных масс.

Среднеголоценовые комплексы диатомей (экозона 2) станций 3107 (инт. 200–125) и 3610 (инт. 55–160 см) характеризуются смешанным составом неритических ледово-морских и открыто-морских видов, а также снижением количества океанических, что свидетельствует об ослаблении влияния океанического вторжения и установлении более стабильных гидрологических условий, чем при формировании нижележащего слоя осадков. Литологический состав осадков представлен преимущественно алевритом, отмечено повышенное количество песчаной фракции в нижних горизонтах осадков этой экозоны. В комплексах диатомей доминирует открыто-морской вид *Thalassiosira margaritae* (до 80 %). Океанические виды немногочисленны в количественном отношении и составляют до 10 % (*Th. lentiginosa*, *Azpeïssa tabularis*, *Rhizosolenia hebetata f. bidens*, *Rh. styliformis*, *Fragilariopsis kerguelensis*).

В позднеголоценовых комплексах диатомей (экозона 1), установленных в алевритистых глинах этого района, доминирует неритический ледово-морской вид *Fragilariopsis curta* (до 60 %). Другой неритический ледово-морской вид *Fragilariopsis rhombica* достигает своего максимального количества – 7 %. Комплексы диатомей отражают близкие современным холодноводные неритические условия осадконакопления со спокойным гидрологическим режимом.

В расположенной южнее колонке 3106 (табл. 1, рис. 1) установлено следующее распределение створок диатомей. Практически по разрезу всей колонки 20–70 см встречаются редкие панцири диатомей (*Thalassiosira margaritae*, *Fragilariopsis curta*), в основании колонки 70–105 см створки диатомей отсутствуют. Только в самом верхнем горизонте 0–20 см, представленным песчанистым алевритом, обнаружен богатый комплекс диатомей, в котором доминируют *Thalassiosira margaritae*, *Thalassiothrix antarctica*, *Fragilariopsis curta*, *F. obliquecostata*. В субдоминантную группу входят *Thalassiosira gracilis*, *T. lentiginosa*, *Actinocyclus actinochilus*, *Eucampia antarctica*, *Fragilariopsis rhombica*, *F. separanda*, *F. kerguelensis* и силикофлагеллата *Distephanus speculum*.

Для всего разреза самой южной колонки 3105, расположенной у самой бровки ледового покрова, характерны антарктические неритические диатомеи. В осадках нижнего горизонта (инт. 70–80 см) – **экозона 3** – доминирует грубопанцирный вид *Eucampia antarctica* (35 %). Комплекс диатомей этого горизонта определяет условия, когда в свободном ото льда морском бассейне происходит развитие нескольких видов в растаявших водах (*Eucampia antarctica* и др.) или в морском льду (*Actinocyclus actinochilus*, *Fragilariopsis curta* и др.). Этот комплекс диатомей отражает палеообстановку с длительным ледовым покровом морского бассейна [1, 2].

Осадки вышележащего горизонта (инт. 50–60 см) – **экозона 2** – содержат комплекс диатомей, где доминирует неритический открыто-морской вид *Thalassiosira margaritae* с субдоминантной – ледово-морским видом *Fragilariopsis curta*. Содержание диатомового вида *Eucampia antarctica* в комплексах диатомей этой экозоны снизилось до 15 %.

В верхнем горизонте осадков (инт. 0–9 см) доминирует неритический ледово-морской вид *Fragilariopsis curta*, преобладающий в современном планктоне и в поверхностных осадках залива Прюдс (**экозона 1**) [5, 11, 12, 23].

Совершенно нетипичная картина распределения и состава комплексов диатомей обнаружена в глинистых осадках колонки 3110 (рис. 1, табл. 1). Неоднократные попытки датировать осадки этой колонки не увенчались успехом – на глубине 50 см по разрезу их возраст превышает 30 тыс. лет. Это обусловлено, прежде всего, положением этой станции на самом борту канала Прюдс, где постоянно происходит обрушение осадков с достаточно обрывистых склонов.

В самом низу колонки (141–178 см) диатомей нет, единичные створки и обломки панцирей обнаружены в инт. 8–141 см (*Thalassiothrix antarctica*, *Thalassiosira margarita*). В осадках инт. 47–50 см встречены единичные тепловодные субтропические виды *Stephanopyxis turris var. cylindrus*, *Cestodiscus robustus*, не характерные даже для комплексов диатомей, установленных южнее зоны Антарктической конвергенции.

Характерно, что только в осадках этого района обнаружены богатые комплексы карбонатных фораминифер (определения Н.И.Дружининой). В осадках колонки 3110 (инт. 30–120 см) и 3107 (инт. 100–120 см) содержится значительное количество планктонных (75 %) и бентосных фораминифер (25 %), количественно около 5 тыс. экз. в 100 г сухого осадка в осадках колонки 3110 (30 видов) и 600 экз. в осадках колонки 3107 (16 видов). Все виды имеют секреторную раковину, агглютинирующие формы отсутствуют. Среди планктонных фораминифер преобладают *Neogloboquadrina pachyderma*, *Cassidulina teretis*, *Triloculina trigonula*, *Ehrenbergina glabra*, *Cibicides refulgens*. Выше по разрезу в колонке 3110 (инт. 15–20 см) и в колонке 3107 (80–100 см) наблюдается обеднение состава комплексов и численности раковин фораминифер (до 3 видов) при численности 50 экз. в 100 г сухого осадка.

**Экостратиграфия верхнеплейстоценовых-голоценовых осадков в канале Свеннер.** Донные осадки канала Свеннер (колонки 3215, 3308, 3408 (табл. 1, рис. 1)) исследованы достаточно детально, изучен их вещественный состав, также имеются данные по фораминиферам. Особенности накопления осадков, взятых в этом желобе, обусловлены, главным образом, близостью к ледовому берегу материка (колонка 3408 – одна из самых южных станций, которые мы изучали) и глубиной желоба – более 500 м. К сожалению, отсутствуют наши данные абсолютного возраста, что прежде всего объясняется отсутствием карбонатных раковин фораминифер, служащих одним из источников определения возраста радиоуглеродным методом. В сопоставлении с данными Ю.Домака и др. [13, 14] и Д.Франклина [15], которые располагали абсолютными датировками осадков в колонках, также поднятых в канале Свеннер вблизи наших, граница голоцена и плейстоцена проводится около 10000 лет назад, моренная часть осадков в низах колонок датируется верхнеплейстоценовым возрастом.

По данным диатомового анализа и гранулометрии толща донных осадков подразделяется на две части: нижнюю – моренную, где обнаружены единичные створки антарктических видов диатомей, и верхнюю, представленную алевроитоглинистыми осадками, насыщенную ископаемыми диатомеями.

По разрезу колонок доминируют антарктические неритические ледово-морские и открыто-морские виды, которые количественно преобладают над океаническими.

Наиболее древняя **экозона 3** (ранний голоцен), выделенная в алевроитах нижней части колонок 3215, 3308 (рис. 3), включает комплексы диатомей, в которых доминируют неритические ледово-морские виды (до 63 %), указывающие на высокую ледовитость бассейна, с преобладанием антарктического ледово-морского вида *Fragilariopsis curta* (до 20 %); неритические открыто-морские составляли до 57 % и среди них открыто-морской вид *Thalassiosira margaritae* (до 50 %). В этом



комплексе установлен самый высокий процент встречаемости субантарктических океанических диатомей по сравнению с комплексами диатомей в вышележащих осадках — до 30 % с преобладанием субантарктического океанического вида *Fragilariopsis kerguelensis* (до 20 %). Бентосные (сублиторальные) виды диатомей составляют до 1 %, что объясняется большими глубинами морского бассейна. Количество створок диатомей на г составляет ~10 млн створок. Обнаружение океанической флоры диатомей дает основание предполагать проникновение океанических водных масс в достаточно холодноводный залив Свеннер в период формирования диатомовых ассоциаций **экозоны 3**.

Постепенное возрастание численности панцирей диатомовых водорослей в осадках, снижение количества океанических видов и увеличение неритических выше по разрезу колонки являются основанием для выделения **экозоны 2** (среднеголоценовой), а также свидетельствуют об изменениях гидрологического режима, который все больше становится похож на современный. Количество створок диатомей составляет 34—160 млн на г осадка. Комплекс диатомей отражает антарктические неритические условия и состоит из доминирующих диатомовых видов *Thalassiosira margaritae* (до 50 %, в отдельных интервалах до 70 %) и *Fragilariopsis curta* (до 30 %). Численность ледово-морских диатомей остается высокой — до 55 % на ст. 3408, расположенной в самой южной части этого района. Океанические виды (до 11 %) представлены *Fragilariopsis kerguelensis*, *F. separanda*, *Thalassiosira lentiginosa*.

В позднем голоцене произошло снижение продуктивности фитоценозов, исчезновение океанических видов в комплексах диатомей, увеличение содержания ледово-морских видов, связанное, вероятно, с большей ледовитостью морского бассейна (**экозона 1**). В комплекс диатомей входят ледово-морские антарктические виды (до 40 %) *Fragilariopsis curta*, *F. cylindrus*, *F. sublinearis*, *Actinocyclus actinochilus*, и неритические открыто-морские с преобладанием неритического открыто-морского вида *Thalassiosira margaritae*, количество которого достигает в отдельных интервалах до 40 %. Комплекс диатомей отражает современные экологические условия в заливе Прюдс.

**Экостратиграфия верхнеплейстоценовых-голоценовых осадков в районе банки Фор Ледис.** Этот район характеризуется наименьшими глубинами моря (до 400 м) и близостью к ледовому берегу. Донные осадки банки исследованы достаточно детально (станции 3334, 3605, 721, 722 и 723) (рис. 1, табл. 1), изучен их вещественный состав, имеются данные по фораминиферам. В нижней части осадки колонки 723 в интервале 114—118 см имеют датировку по C14 (KROCK 723) 7848 ± 85 лет назад. Диатомовые тафоценозы, как и ассоциации диатомей из поверхностного слоя осадков данного района [5, 16, 22], характеризуются высокой численностью диатомовых водорослей (до 60 млн створок/г), преобладанием неритических антарктических ледово-морских видов и неритических (42 таксона), в составе которых доминируют (до 70 %) *Thalassiosira margaritae* и *Fragilariopsis curta*. Постоянно присутствуют в осадках субантарктические океанические диатомей (до 20 %) *F. kerguelensis*, *Thalassiosira lentiginosa*, *Thalassiothrix antarctica*.

Раннеголоценовый комплекс диатомей, определяющий **экозону 3** (рис. 4), обнаружен только в диамиктоне колонки 3334 на глубине 125—135 см. В вещественном составе осадков этого горизонта много гравия. Численность створок диатомей составляет 13 млн створок/г. Монодоминантный комплекс диатомей представлен антарктическими неритическими видами — 77 % с доминированием неритического открыто-морского вида *Thalassiosira margaritae* (до 70 %), ледово-морских видов немного — до 10 %. Количество субантарктических океанических диатомей достаточно высоко — до 18 %, из них 15 % приходится на долю *Fragilariopsis kerguelensis*. Значительное количество океанической флоры диатомей дает основания предполагать интенсивное влияние океанических водных масс в исследуемой части залива Прюдс в этот период.

Снижение количества океанических видов диатомей и увеличение количества неритических открыто-морских выше по разрезу, свидетельствующие об изменениях гидрологического и температурного режима воды, характерны для **экозоны 2**. Среднеголоценовый возраст осадков (**экозона 2**) установлен по данным радиоуглеродного анализа 7884 лет назад на глубине 114–118 см в колонке 723. Скорость осадконакопления в исследованном районе, по нашим данным, достигает 15 см в 1000 лет. Численность створок диатомей составляет 5 млн створок/г. В комплексах диатомей доминирует неритический открыто-морской вид *Thalassiosira margaritae* – до 50 %; ледово-морские виды составляют 12–33 %: *Fragilariopsis curta* – до 20 %, *F. cylindrus* и силикофлагеллата *Dictyocha speculum* – до 2 %. В состав комплекса наряду с антарктическими видами входят субантарктические океанические *Fragilariopsis kerguelensis* (до 22 %), *F. separanda* (2 %), *Thalassiosira lentiginosa* (до 5 %), *Azpeitia tabularis* (до 2 %).

В отложениях, поднятых в районе банки Фор Ледис (станции 3334, 3605), установленный верхний позднеголоценовый комплекс диатомей отражает низкотемпературные условия, близкие современным в заливе Прюдс (**экозона 1**). В комплексе доминирует криофил *Fragilariopsis curta* (до 30 %), в группе субдоминант выделяется неритический открыто-морской вид *Thalassiosira margaritae* (до 15 %). Океанических видов достаточно, они составляют до 35 %. Для верхнего слоя осадков (до 15 см) характерен комплекс фораминифер с преобладанием карбонатного планктонного вида *Neogloboquadrina pachyderma* с достаточно разнообразными карбонатными и агглютинирующими бентосными фораминиферами.

## ДИСКУССИЯ

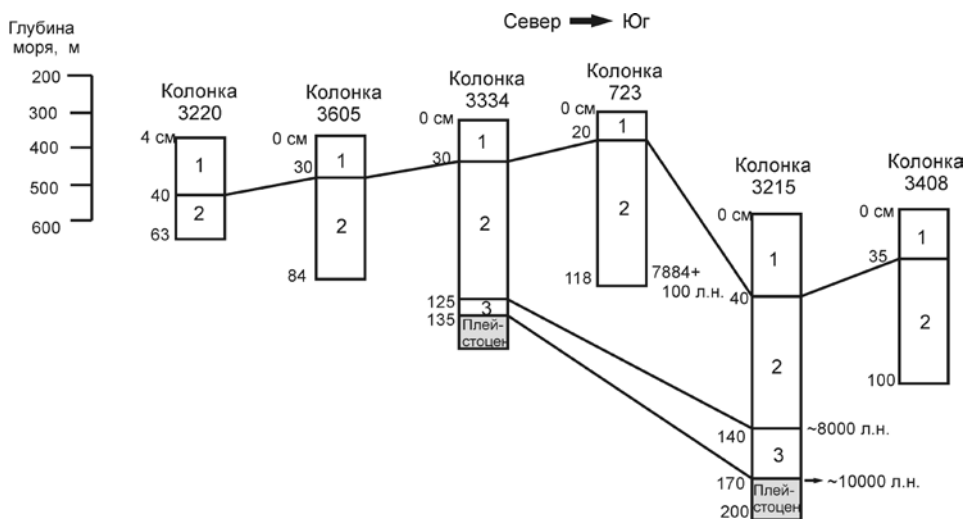
Несмотря на различное местоположение изученных колонок, близость к ледовым берегам, батиметрию, особенности диатомовых ассоциаций и количественное и видовое распределение диатомей по разрезам, выявляется сходство в формировании даже очень удаленных друг от друга колонок, что позволяет сделать вывод о том, что вся исследованная акватория залива формировалась в не сильно отличающихся условиях голоцена, и построить корреляционную биостратиграфическую схему всего исследованного района (рис. 5).

Полученные нами результаты хорошо сопоставимы с данными других исследователей. К аналогичным выводам о биостратиграфии и палеоэкологии залива Прюдс в голоцене приходят Ф.Тэйлор и Э.Левентер [22], исследовавшие донные колонки длиной до 3 м (рейс NDPOI-01) в западной части залива Прюдс. Установленные этими авторами в осадках верхнего плейстоцена (SMO-2 – кремнистые илы) диатомовые комплексы дополняют уже построенную нами биостратиграфическую схему голоцена данными о формировании осадков в последнее четвертичное межледниковье. В осадках этого периода сохранились грубопанцирные створки рода *Eucampia*, криофил *Fragilariopsis curta* и переотложенные плиоценовые диатомовые водоросли *Rouxia spp.* и *Thalassiosira torokina*. Ими также выделяются три периода осадконакопления в голоцене: раннеголоценовый (открыто-морской с интенсивным поступлением растаявших ледниковых вод и поступлением океанических вод), среднеголоценовый (время климатического оптимума) и холодноводный позднеголоценовый.

Д.Франклин [15] заключает, опираясь на данные радиоуглеродного возраста, что осадконакопление в голоцене в южной части канала Свеннер было непрерывным и началось около 10000 лет назад.

В оазисе Вестфольд, расположенном на восточном побережье залива Прюдс, прибрежные обнажения свободны ото льда последние 8000 лет [7, 17].

По данным Ю.Домака и других [13], в осадках скважины 740 (Проект глубоководного бурения ODP) в юго-восточной части залива Прюдс открыто-морские условия наступили около 10000 лет назад, моренная часть осадков в низах коло-



Условные обозначения:

- 1 - экозона 1 (поздний голоцен) в комплексах доминируют ледово-морские диатомеи (*Fragilariopsis curta*)
- 2 - экозона 2 (средний голоцен) в комплексах доминируют неритические диатомеи (*Thalassiosira margaritae*)
- 3 - экозона 3 (ранний голоцен) в комплексах установлено преобладание или заметное количество океанических диатомей (*Fragilariopsis kerguelensis*)

Рис. 5. Биостратиграфическая схема донных отложений залива Прюдс

нок датируется верхнеплейстоценовым возрастом. Ими фиксируется выдвигание ледового языка 7300–3800 лет назад. Авторы отмечают, что пока трудно установить механизмы этой подвижки. Возможными причинами могут быть неогляциальные изменения климата или разрушение динамического регулирования линейной береговой системы Ламберт-Эймери с относительным понижением уровня моря.

По нашим данным, выдвигание ледового языка имело место на банке Фо Ледис (район станции 3334) в среднем голоцене, где оно подтверждается и литологически (диамиктон, резкое увеличение грубого материала), и по данным диатомового анализа (единичные панцири диатомей), но оно имело локальное значение.

Раннеголоценовое проникновение океанических вод, установленное нами в заливе Прюдс, также определяется и в западной Антарктике, где Т.Келлогг и Р.Трузделл [20] в нижней части Unit A голоценовых осадков в море Росса определяют диатомовые комплексы с доминированием океанического вида *Fragilariopsis kerguelensis*, рассматриваемое авторами как показатель более открытых условий с менее мощным паковым сезонным льдом и возможного присутствия более теплых вод в море Росса, вероятно, только в летнее время. Выше по разрезу колонки в среднем и позднем голоцене в осадках моря Росса преобладает ледово-морской вид *F. curta*, в заливе Прюдс мы выделяем средний голоцен по доминированию неритического открыто-морского вида *Thalassiosira margaritae* и в позднем голоцене аналогичный комплексу из моря Росса комплекс с доминированием *Fragilariopsis curta* [24].

Л.Баркл [9] по данным изучения диатомей в донных отложениях Южной Атлантики (субантарктическая зона) выделяет холодный ранний голоцен, по преобладанию в диатомовых комплексах тепловодных океанических диатомей над холодноводными антарктическими – потепление и холодный поздний голоцен. Им установлены похолодания приблизительно 4600, 2800 и 1000 лет назад и значи-

тельное потепление около 7000–5500 лет назад. Также он отмечает хорошую сопоставимость своих биостратиграфических построений со спорово-пыльцевыми данными, полученными в Южном полушарии.

Относительное похолодание в позднем голоцене повсеместно в прибрежных районах Антарктики определяется преобладанием в комплексах ледово-морских диатомей [6, 8, 9, 20, 23].

### ВЫВОДЫ

Развитие диатомовой флоры характеризует установление открытоокеанических условий в заливе Прюдс, которые начались в раннем голоцене (10000–12000 лет назад) [6, 13, 14, 21]. В донных осадках залива преобладают антарктические диатомовые водоросли, типичные для антарктической зоны (южнее Южного полярного фронта) [4]. Основные палеоэкологические выводы были сделаны с использованием метода актуализма на базе диатомовых комплексов, установленных в поверхностном слое донных осадков залива Прюдс [5, 11, 12], и современных диатомовых комплексов, изученных в заливе Прюдс [19]. В целом можно выделить три экозоны, которые отлагались в различных палеообстановках трех голоценовых периодов – раннем, среднем и позднем.

В раннем голоцене в заливе стала развиваться диатомовая флора, образуя, как правило, монодоминантные комплексы, смена доминант в осадках характеризовала палеоэкологические изменения, определяющие три экозоны, которые соответствуют трем периодам голоцена – раннему, среднему и позднему. Начиная с раннего голоцена в донных осадках залива преобладают неритические диатомовые водоросли, типичные для антарктической зоны (южнее зоны антарктической конвергенции) [1, 3, 4, 12].

Комплексы диатомовых водорослей в раннем голоцене характеризуют холодноводные условия осадконакопления с интенсивным проникновением океанических вод, которое являлось одним из главных факторов, влияющих на их формирование. В раннем голоцене даже в осадках южной части залива установлено наибольшее количество океанических видов диатомей в изученных комплексах по сравнению с другими периодами голоцена. Севернее накопление осадков происходило в нестабильных гидродинамических обстановках, более теплопроводных, с меньшей продолжительностью ледового покрова, чем в южных районах, что подтверждается присутствием, а иногда и доминированием океанических видов диатомей.

Оптимальные условия в развитии и сохранении диатомовой флоры установлены в среднем голоцене, который был менее холодноводным по сравнению с ранним и поздним. В среднем голоцене влияние океанических вод снижается. Характерны неритические открыто-морские обстановки, в комплексах диатомей доминирует неритический открыто-морской вид *Thalassiosira margaritae*. Возможно, это время климатического оптимума, когда длительность ледового покрова сокращалась, происходили ледниковые подвижки с увеличением таяния ледников; за счет поступления терригенного материала возрастали скорости седиментации.

В позднем голоцене в осадках установлены комплексы диатомей с доминированием ледово-морских видов *Fragilariopsis curta* и др. во внутренних и прибрежных районах залива и с доминированием океанического вида *Fragilariopsis kerguelensis* – в районе континентального склона. Эти комплексы отражают палеоэкологические условия, подобные современным в заливе Прюдс.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жузе А.П., Королева Г.С., Нагаева Г.А. Диатомовые водоросли в поверхностном слое осадков Индийского сектора Антарктики // Труды Ин-та океанологии АН СССР. Т. 61. 1962. С. 19–92.

2. Жузе А.П., Королева Г.С., Нагаева Г.А. Стратиграфические и палеогеографические исследования в Индийском секторе Антарктики // Океанологические исследования. № 8. 1963. С. 137–161.
3. Жузе А.П., Мухина В.В., Козлова О.Г. Диатомей и силикофлагелляты в поверхностном слое донных осадков Тихого океана // Микрофлора и микрофауна в современных осадках Тихого океана. М.: Наука, 1969. С. 7–47.
4. Козлова О.Г. Диатомовые водоросли Индийского и Тихоокеанского секторов Антарктики. М.: Наука, 1964. 167 с.
5. Пушина З.В. Распределение панцирей диатомовых водорослей в поверхностном слое осадков залива Прюдс, Восточная Антарктика // Биостратиграфия мезозоя и кайнозоя некоторых районов Арктики и Мирового океана. СПб.: ВНИИОкеангеология, 2001. С. 71–80.
6. Пушина З.В. Экостратиграфия позднечетвертичных осадков в заливе Прюдс // Материалы по фаунорозу полярных областей и центральной части Срединно-Атлантического хребта. Фауна, флора и биостратиграфия. Мин. природ. рес. РФ. СПб.: ВНИИОкеангеология, 2007. С. 162–172.
7. Adamson D.A., Pickard J. Cenozoic history of the Vestfold Hill // Antarctic oasis: Terrestrial environments and history of the Vestfold Hills. Sydney: Academic Press, 1986. P. 63–98.
8. Bjorck S., Hakansson H., Olsson S., Barnekow L., Janssens J. Paleoclimatic studies in South Shetland Islands, Antarctica, based on numerous stratigraphic variables in lake sediments // Journal of Paleolimnology. 1993. № 8. P. 223–272.
9. Burckle L.H. Diatom evidence, bearing on the Holocene in the South Atlantic // Quaternary Research. 1972. Vol. 2. P. 323–326.
10. Burckle L.H., Cooke D.W. Late Pleistocene *Eucampia antarctica* abundance stratigraphy in the Atlantic sector of the Southern Ocean // Micropaleontology. 1983. Vol. 29. № 1. P. 6–10.
11. Burckle L.H. Ecology and paleoecology of the marine diatom *Eucampia antarctica* (Castracane) Manguine // Marine Micropaleontology. 1984. Vol. 9. P. 77–86.
12. Burckle L.H. Diatom distribution and paleoceanographic reconstruction in the Southern Ocean – present and Last glacial maximum // Marine Micropaleontology. 1984. Vol. 9. P. 241–261.
13. Domack E.W., Jull A.J.T., Donahue D.J. Holocene chronology for the unconsolidated sediments at Hole 740A: Prydz Bay, East Antarctica // Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results, 1991. Vol. 119. P. 747–750.
14. Domack E.W., O'Brien P., Harris P., Taylor F., Quilty P.G., De Santis L., Raker B. Late Quaternary sediment facies in Prydz Bay, East Antarctica and their relationship to glacial advance onto the continental shelf // Antarctic Science. 1998. Vol. 10 (3). P. 236–246.
15. Franklin D.C. Recent diatom and foraminiferal assemblages in surficial sediments of Prydz Bay, Antarctica // Anare research notes 90. Antarctic division. Australia, 1993. 28 p.
16. Harris P.T., Taylor F., Pushina Z., Leitchenkov G., O'Brien, Smirnov V. Lithofacies distribution in relation to the geomorphic provinces of Prydz Bay, East Antarctica // Antarctic Science. 1998. Vol. 10 (3). P. 227–235.
17. Hirvas H., Nenonen K., Quilty P. Till stratigraphy and glacial history of the Vestfold Hills area, East Antarctica // Quat. Int. 1993. Vol. 18. P. 81–95.
18. Ingolfsson O., Hjort H., Berkman P., Bjork S., Colhoun E., Goodwin I., Hall B., Hiraoka K., Melles M., Moller P., Priestice M. Antarctic glacial history since the Last Glacial Maximum: an overview of the record on land // Antarctic Science. 1998. Vol. 10 (3). P. 326–344.
19. Kang S.-H., Fryxell G.A. Most abundant diatom species in water column assemblages from five Leg 119 Sites in Prydz Bay, Antarctica: distributional patterns // Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results, 1991. Vol. 119. P. 645–666.
20. Kellogg T.B., Truesdale R.S. Late Quaternary paleoecology and paleoclimatology of the Ross Sea: diatom record // Marine micropaleontology. 1976. Vol. 4. № 2. P. 137–159.
21. Leitchenkov G., Stagg H., Gandjukhin V., Cooper A.K., Tanahashi M., O'Brien P. Cenozoic seismic stratigraphy of Prydz Bay (Antarctica) // Terra Antarctica. 1 (2). Special issue. 1994. P. 395–397.
22. Taylor F., Leventer A. Late Quaternary palaeoenvironments in Prydz Bay, East Antarctica: interpretations from marine diatoms // Antarctic Science. 2003. Vol. 15 (4). P. 512–521.

23. Taylor, F., McMinn, A. and Franklin, D. Distribution of diatoms in surficial sediments of Prydz Bay, East Antarctica // Marine Micropaleontology. 1997. Vol. 32. P. 231–248.
24. Truesdale R.S. and Kellogg T.B. Ross Sea diatoms: modern assemblage distribution and their relationship to ecologic, oceanographic and sedimentary conditions // Marine micropaleontology. Vol. 4. № P. 13–31.

Z.V.PUSHINA

**DIATOM ASSEMBLAGES IN THE LATE QUATERNARY SEDIMENTS OF  
THE PRYDZ BAY (EAST ANTARCTICA) AND THEIR BIOSTRATIGRAPHICAL  
SIGNIFICANCE**

*Results of the diatom distribution in sediment cores from the Prydz Bay (East Antarctica) are described. Ecostratigraphical approach to subdivision of Holocene sediments on three diatom zones, which were formed during early, middle and late Holocene was developed.*

*Keywords:* Prydz Bay, diatoms, Holocene.