

УДК 551.35(268.52)

ФАЦИАЛЬНАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ СОВРЕМЕННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ЗАЛИВА ХОРНСУНН, ЗАПАДНЫЙ ШПИЦБЕРГЕН

© 2005 г. М.В. Митяев, И.А. Погодина, М.В. Герасимова

Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН
183010 Мурманск, ул. Владимирская, 17; E-mail: mmbi@mmbi.info
Поступила в редакцию 22.12.2003 г.

Изучены донные отложения и взвешенное вещество в заливе Хорнсунн Западного Шпицбергена. Показано, что основная масса взвеси не выносится из внутренней области залива. По результатам гранулометрического, петрографо-минералогического анализов, физическим свойствам современных отложений и развитых в них сообществ бентосных фораминифер построена модель современной седиментации в заливе.

Залив Хорнсунн относится к типичным фиордам экзарационно-тектонического генезиса. В настоящее время в заливе сложились условия, во многом схожие с условиями раннего постледниковья Баренцева моря. Абляция ледниковых покровов сопровождается выносом в залив моренного материала и пресных ледниковых вод, а со стороны океана постоянно поступают атлантические воды. В заливе формируются различные гидрофронты и возникают многообразные эффекты, связанные с переносом и осаждением вещества. В этих экстремальных условиях функционируют сообщества бентосных фораминифер, которые не только приспособляются к быстро меняющимся условиям, но и постоянно осваивают пространство, высвобождающееся из-под ледников.

Исходя из этого, основная задача работы состояла в определении фациальных индикаторов среды седиментации залива Хорнсунн, на основе изучения песчано-гравийной фракции, водной взвеси и бентосных фораминифер, построении модели современного осадконакопления для ее последующего применения в палеогеографических реконструкциях позднего плейстоцена Баренцева моря.

ФАКТИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

С борта НИС «Дальние Зеленцы» летом 2001 и 2002 гг. в заливе Хорнсунн были собраны материалы, которые легли в основу данной работы. Схема станций опробования приведена на рис. 1. Геоморфологический анализ дна залива проводился по стандартной методике, а основой послужила государственная батиметрическая карта масштаба 1:200 000 [Ласточкин, 1978]. Пробы донных отложений отбирались из дночерпателя «ван-вин» с помощью пластиковой трубки, предварительно разрезанной вдоль

длинной оси. Литологическое описание осадков проводилось сразу после поднятия прибора на борт судна. Гранулометрический, минеральный состав и физические свойства донных отложений определялись в лабораторных условиях по стандартным методикам [Методы ..., 1957]. Для микропалеонтологических исследований отбирался верхний 1.5 см слой осадка в объеме 20 см³. Пробы заливались этиловым спиртом (90%) с бенгальским розовым красителем (1 г/л) и окрашивались в течение двух месяцев. В лабораторных условиях образцы промывались через сито с диаметром ячеек 63 мкм и просматривались под биноклем во влажном состоянии. Подсчет раковин велся до 300 экз., затем пересчитывался на 1 см³ осадка. Для каждого вида рассчитывалось содержание в процентах. Сообщества фораминифер выделялись и назывались по доминантным видам. Для изучения взвешенного вещества с нулевого и придонного горизонта отбирались пробы морской воды с помощью 3-литрового пластикового батометра в емкость объемом 2 л. Фильтрация морской воды проводилась через предварительно взвешенные ядерные фильтры с размером пор 0.45 мкм и диаметром рабочей поверхности 47 мм. Фильтры с взвесью промывались дистиллированной водой и высушивались при температуре +40-60°C до постоянного веса. В лабораторных условиях проводилось повторное взвешивание фильтров.

УСЛОВИЯ СОВРЕМЕННОЙ СЕДИМЕНТАЦИИ

Залив Хорнсунн характеризуется быстрой сменой условий современной седиментации вдоль длинной оси фиорда. Одной из основных особенностей его строения является четкое разделение на две области - внешнюю и внутреннюю. Между областями наблюдаются резкие

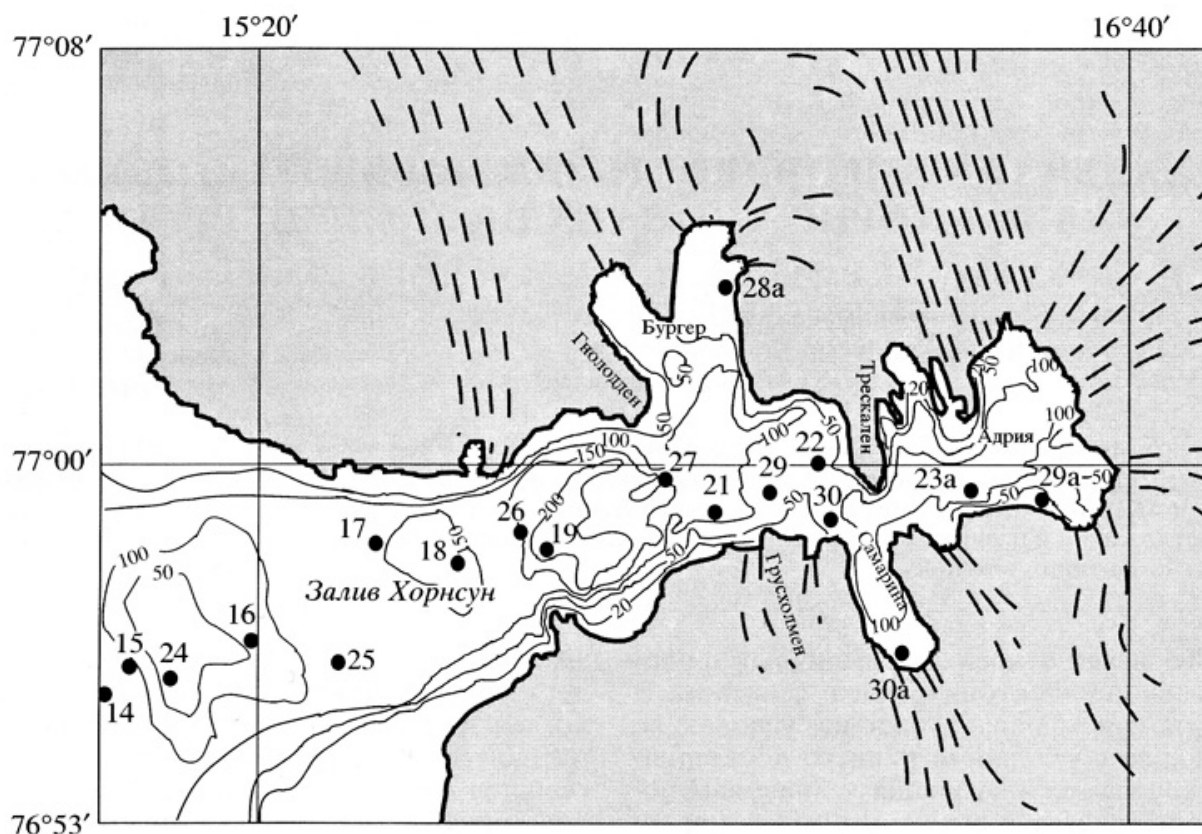


Рис. 1. Схема расположения станций в заливе Хорнсунн.

различия как в рельефе дна и гидрологическом режиме, так и в воздействии современных ледников.

Воздействие современных ледников на внешнюю область залива незначительно. Характерные элементы рельефа дна - две впадины и два ригеля. В наиболее общем виде в летний период водную толщу сверху вниз можно подразделить на три части: поверхностную воду ($S < 33.25 \text{ ‰}$, $T > 0^\circ\text{C}$), трансформированную атлантическую (34.7 ‰ , $35.0 \text{ ‰} < S < 35.0 \text{ ‰}$, $T > 1^\circ\text{C}$) и придонную ($S > 35.0 \text{ ‰}$, $T < 1^\circ\text{C}$). Главный пикноклин расположен на глубинах 10-20 м [Gorlich et al., 1987]. Динамическая структура водной массы определяется циклоническим переносом атлантических вод, которые поступают в залив будучи уже опресненными и охлажденными.

Внутренняя область подвержена интенсивному воздействию современных ледников и по праву может называться перигляциальной. Характерные элементы рельефа дна - три впадины и относительно приподнятое подводное плато. В водной толще, так же как и во внешней области, сверху вниз выделяются три части: поверхностная ($S < 32.5 \text{ ‰}$, $T > 0^\circ\text{C}$), промежуточная ($33.25 \text{ ‰} < S < 34.7 \text{ ‰}$, $T > 1^\circ\text{C}$) и придонная ($S > 34.7 \text{ ‰}$, $T < -1^\circ\text{C}$). Главный пикноклин расположен на глубинах 5-10 м [Gorlich et al., 1987]. Динамическая структура

водной массы определяется поступлением талых ледниковых вод.

ВЗВЕШЕННОЕ ВЕЩЕСТВО

Максимальные концентрации водной взвеси выявлены в поверхностном слое водного столба, которые по мере удаления от края ледниковых обрывов уменьшаются примерно в логарифмическом масштабе. Так, на нулевом горизонте в бухте Адрия у ледника Менделеева содержание взвеси составляет 19.5 мг/л, в бухте Бургер у одноименного ледника - 13.89 мг/л и в бухте Самарина - 12.12 мг/л. В районе центрального плато содержание взвеси в поверхностном слое воды уменьшается до 7.13 мг/л, а во внешней области залива до 0.84 мг/л. Подобное распределение взвешенного вещества в поверхностном слое воды залива Хорнсунн было выявлено в 1987 г. польскими исследователями [Gorlich et al., 1987]. В придонном (2 м) слое воды содержание взвеси по всему заливу менее 1 мг/л (от 0.2 до 0.69 мг/л).

Живые компоненты взвешенного вещества во внешней части залива представлены организмами фитопланктона, в составе которых преобладает одноклеточная водоросль - *Phaeocystis pouchetii* диаметром 3-12 мкм (до 95-97% от содержания всего сообщества), в небольших количествах постоянно присутствуют

диатомовые водоросли и динофлагелляты. Во внутренней части залива фитопланктон состоит исключительно из нано-водорослей с диаметром клеток около 10 мкм. Видовой состав в прикромочных областях различных ледников варьирует.

Содержание планктоногенного сестона невысокое и изменяется от 10 до 2500 мкг/л, от массы взвеси это составляет в среднем около 8% (от 1% до 21%). Максимальное содержание фитопланктона наблюдалось у ледника Бургер, где он представлен одним видом - одноклеточной жгутиковой водорослью с пузырьчатой цитоплазмой.

ФАЦИАЛЬНАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ СОВРЕМЕННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

В современных поверхностных отложениях залива Хорнсунн выделяются два слоя, разделенные четким контактом. Верхний слой мощностью 5-7 см представлен нейтральными или слабо восстановленными зеленовато-серыми, оливково-серыми, мягкими, непластичными и/или слабопластичными алевроглинистыми осадками. Во внешней части залива и в открытой акватории моря осадок верхнего слоя непластичный, пронизан ожелезненными трубками полихет. Здесь преобладают текстуры биотурбации. Во внутренней части залива осадки пластичные. Преобладают однородные и слоистые текстуры.

Нижний восстановленный слой, вскрытая мощность которого 10-13 см, представлен темно-серой плотной, вязкой, пластичной глиной. Среди текстур преобладают пятнисто-диагенетические, с развитием характерных черных примазок гидротроилита. Содержание песка и алевролита в нижнем слое увеличивается от входа в залив к подводному плато. Во внутренней части залива гравийно-галечный материал присутствует как в нижнем слое, так и на контакте верхнего и нижнего слоев.

У ледникового обрыва (ст. 28а) современные осадки представлены темно-серой плотной, вязкой, пластичной глиной с массивной текстурой и незначительным содержанием песка и гравия. На вершинной поверхности ригеля, отделяющего залив от открытой акватории моря (ст. 24), морское дно выстлано валунным материалом.

Гранулометрический состав верхнего 1.5 см слоя на всех станциях имеет несомненное сходство. Слой состоит из тонкого мелкоалеврито-пелитового осадка с максимальным содержанием песчаной и крупноалевритовой фракции 9% и гравийной - 2.5%. Незначительные отличия наблюдаются в осадках внешней

области залива, где песчаная и крупноалевритовая фракции в среднем составляют 7.5%, гравийная - 1.5%. В мористой и внутренней частях залива содержание тех же фракций - 5% и менее 1%, соответственно.

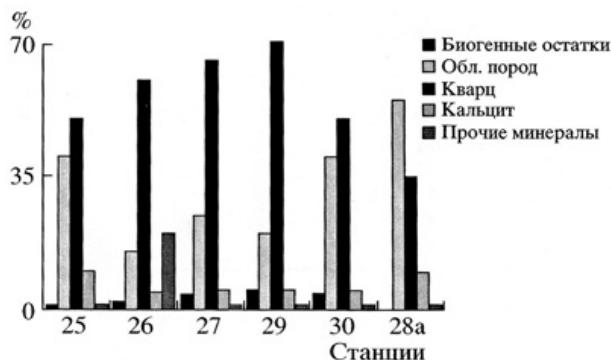


Рис. 2. Вещественный состав фракции более 0.063 мм верхнего 1.5 см слоя осадков залива Хорнсунн.

В исследованных осадках выход фракции более 63 мкм из верхнего 1.5 см слоя не превышает 10%. Фракция сложена угловатыми зернами кварца и обломками горных пород. Биогенные остатки, зерна кальцита, цветных и рудных минералов играют второстепенную роль (рис. 2). Содержание биогенных остатков составляет около 5%. Они представлены раковинами бентосных секреторных и агглютинирующих фораминифер, хитиновыми трубками полихет, растительным детритом и раковинами моллюсков.

Содержание кластической части - не менее 95% от выхода фракций. Среди обломков горных пород присутствуют каменные угли, углифицированные сланцы, мелкозернистые песчаники, часто гематитизированные, алевролиты, кварциты и кварц-сланцевые сланцы, последние нередко ожелезнены. Доминируют угли и углифицированные сланцы, содержание которых в среднем составляет 10-35%, и гематитизированные мелкозернистые песчаники - до 5% (на ст. 28а - около 30%). Остальные породы представлены единичными знаками.

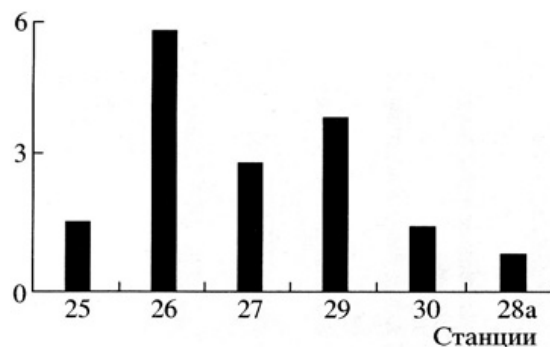


Рис. 3. Отношение содержания минеральных зерен к обломкам пород в верхнем 1.5 см слое осадков залива Хорнсунн.

Физические свойства донных отложений залива Хорнсунн

Физические свойства	Части залива Хорнсунн			
	мористая	внешняя	внутренняя	кромка ледника
Плотность, г/см ³ :				
удельная	1.81	2.15	1.92	1.84
объемная	1.26	1.36	1.35	1.74
скелета осадка	0.41	0.51	0.49	1.21
Влажность, %:				
естественная	67.8	62.6	63.9	30.7
влагоемкость	77.9	72.5	69.6	32.6
относительная	87.1	86.4	92.1	94.2
Пористость:				
общая %	77.4	75.8	74.6	34.3
коэффициент	3.42	3.14	2.98	0.52
Усадка, %:				
линейная	22.2	18.4	28.1	2.5
объемная	75.9	76.0	74.7	25.9
Теплопроводность, кал/см с °С	0.005	0.009	0.009	0.139

В минеральной части доминируют зерна кварца, содержание которого составляет 35-70%. Вторым по распространенности минералом является кальцит - 5-10%. Остальные минералы - роговая обманка, гранат, циркон, плагиоклаз, кианит, слюды, хлорит и пирит представлены единичными зернами. На станции 26 темно-бурые микроконкреции гидрогетита составляют 20% фракции более 63 мкм.

Соотношение минеральных зерен к обломкам горных пород в среднем по заливу составляет 2.7, в целом увеличиваясь по мере удаления от края ледниковых обрывов (рис. 3). Таким образом, поблизости от источников терригенного материала (в исследуемом заливе это современные ледники) доминируют обломки горных пород. Их роль заметно уменьшается по мере удаления от источников сноса. Понижение данного соотношения в осадках внутри залива, вероятно, связано с дополнительным источником поставки материала или эрозией дна. В открытой акватории моря основным источником осадочного вещества является береговая линия, а не ледники, здесь также появляются дополнительные факторы перераспределения материала (контурные течения, эрозия дна и др.), поэтому данное соотношение может значительно отличаться от того, которое наблюдается в заливе.

Физические свойства верхнего 1.5 см слоя донных отложений залива Хорнсунн представлены в таблице. Как видно из таблицы, донные отложения в мористой части залива существенно отличаются по физическим параметрам от аналогичных отложений в остальных его частях. Они характеризуются более низкой плотностью и теплопроводностью, более высокой влажностью и пористостью. Донные отложения внешней и внутренней частей залива имеют

близкие физические свойства и существенно различаются только по удельному весу и линейной усадке. Аномальные физические свойства выявлены у донных отложений, формирующихся в непосредственной близости от кромки современных ледников. Отложения характеризуются наибольшей плотностью и теплопроводностью, наименьшей усадкой и малой влажностью.

В целом по заливу физические свойства современных отложений изменяются от ледников в сторону открытой акватории моря следующим образом: уменьшаются объемная плотность и теплопроводность, увеличиваются удельный вес, естественная влажность, пористость и объемная усадка (см. таблицу).

БЕНТОСНЫЕ ФОРАМИНИФЕРЫ

Изучение распределения бентосных фораминифер показало следующее (рис. 4). Обнаружено 46 видов, при наибольшем фаунистическом разнообразии (39 видов в пробе) у входа в залив, где атлантические воды оказывают наибольшее влияние на биоту. В целом содержание фораминифер в осадках залива высокое, за исключением приледниковой зоны и впадин внешней части залива.

В отложениях внешней части залива среди секреторных известковых фораминифер преобладают: *Elphidium excavatum* f. *clavata* (18-30%), *Nonionellina labradorica* (10-20%) и *Cibicides lobatulus* (5-12%), среди агглютинирующих: *Recurvoides turbinatus* (3-10%), *Hyperammia subnodosa* (3-10%). Другие характерные виды: *Islandiella norcrossi*, *Astrononion gallowayi*, *Buccella frigida*. В мористой части

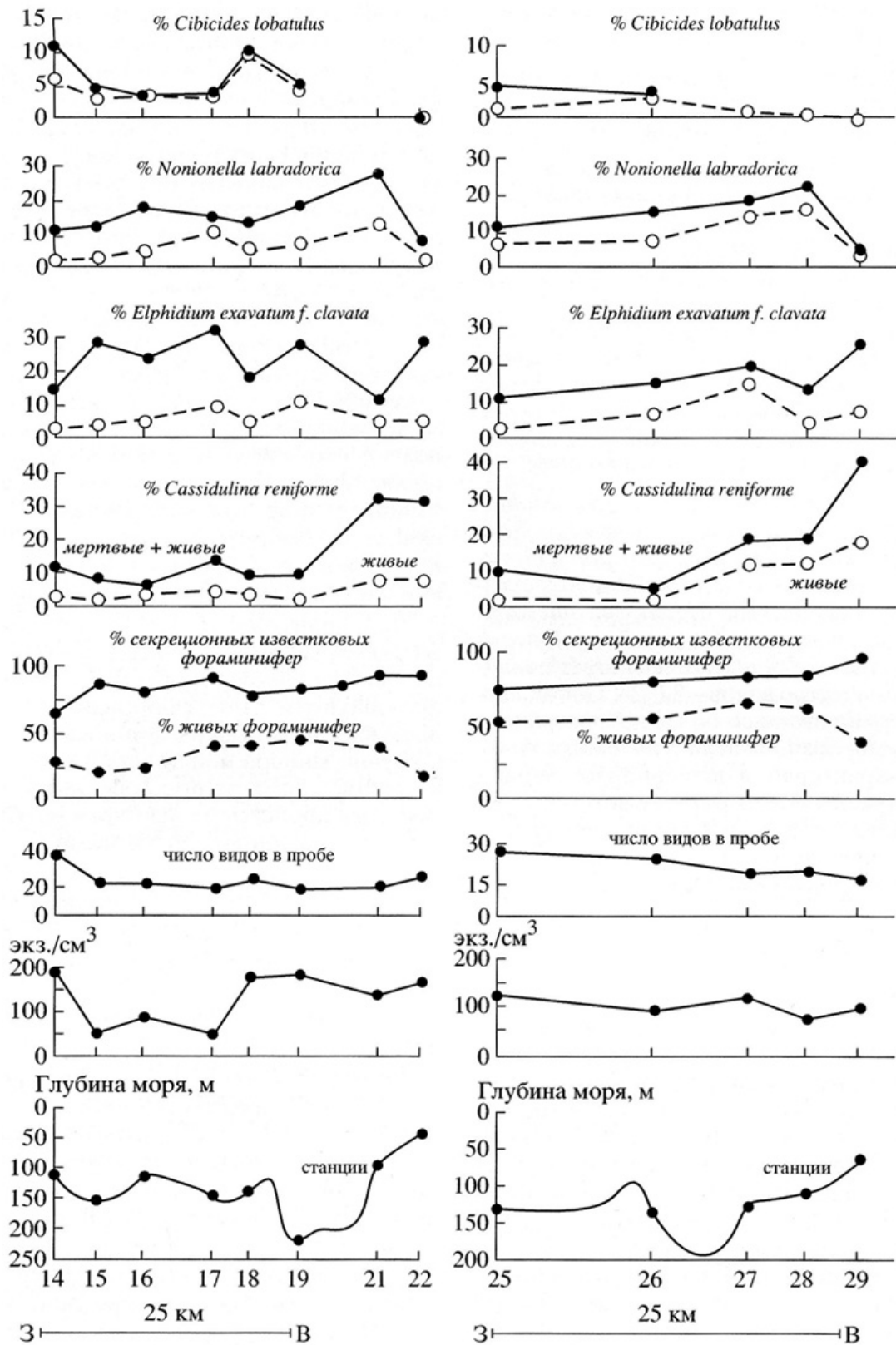


Рис. 4. Распределение сообществ бентосных фораминифер в заливе Хорсунн.

встречены разнообразные лагены, фиссурины, оолины (до 1%), *Trifarina fluens* (2%).

Во внутренней части залива преобладают: *Cassidulina reniforme* (20-80%) и *Elphidium excavatum* f. *clavata* (15-30%), среди агглютинирующих - *Spiroplectammina biformis* (10%) и *Alveolophragmium crassimargo* (5-10%).

Нами выделены три сообщества фораминифер, последовательно сменяющие друг друга по мере удаления от кромки ледников.

1. Сообщество *Cassidulina reniforme* - *Elphidium excavatum* f. *clavata*: доминирующие виды *Cassidulina reniforme* и *Elphidium excavatum* f. *clavata*, сопутствующие - *Alveolophragmium crassimargo* и *Spiroplectammina biformis*. Количество видов - 22-26, у кромки ледников оно уменьшается более чем в 2 раза. Сообщество занимает внутреннюю часть залива с холодными опресненными водами, насыщенными минеральной взвесью, что характерно и для других фиордов Шпицбергена [*Hald, Korsun, 1997, Korsun, Hald, 2000*], Новой Земли [*Korsun et al, 1995*] и канадской Арктики [*Schafer, Cole, 1986*].

2. Сообщество *Nonionellina labradorica* - *Elphidium excavatum* f. *clavata*: доминирующие виды *Nonionellina labradorica* и *Elphidium excavatum* f. *clavata*. Сопутствующие виды во внутренней области - *Cassidulina reniforme*, *Buccella frigida*, *Spiroplectammina biformis*; во внешней - *Astronion gallowayi*, *Recurvoides turbinatus*, *Islandiella helenae*, *Islandiella norcrossi*. Количество видов - 22-28. Сообщество расположено во внешней области, которая занята трансформированной атлантической водной массой, что характерно и для фиордов Новой Земли [*Korsun et al, 1995*]. В Баренцевом море вид *Nonionellina labradorica* связан с полярным фронтом, который характеризуется высокой сезонной биологической продуктивностью и значительным поступлением органического вещества в осадки [*Polyak, Mikhailov, 1996*].

3. Сообщество *Cibicides lobatulus*: доминирующие виды *Elphidium excavatum* f. *clavata*, *Cibicides lobatulus*, сопутствующие - *Islandiella helenae*, *Islandiella norcrossi*, *Buccella frigida* и *Astronion gallowayi*. Количество видов - 28-39. Сообщество типично для зон высокой гидродинамической активности с низкой скоростью осадконакопления и имеет широкое распространение в Баренцевом море [*Корсун и др., 1994, Корсун, Поляк, 1989, Hald, Steinsund, 1992, Ostby, Nagy, 1982, Schafer, Cole, 1986*]. В заливе сообщество обнаружено в мористой части, в зоне воздействия трансформированной атлантической водной массы. «Мертвые» экземпляры сообщества в заливе составляют око-

ло 50%, в отличие от аналогичного сообщества открытой акватории моря и других фиордов архипелага, где процент «мертвых» экземпляров значительно выше (до 90%).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Основное количество взвешенного вещества в летний период поступает с тальми ледниковыми водами, концентрируется в поверхностной водной массе (0-5 м) и практически не выносится за пределы внутренней области залива.

2. Фациальные изменения поверхностного слоя донных отложений залива Хорнсунн происходят по мере удаления от современных ледников. Впадины внутренней области залива являются первыми седиментационными ловушками, в которых отлагается основная масса моренного материала, поступающего в результате абляции ледников. Это зона ледниковой седиментации, где роль морской среды незначительна; здесь формируются плотные, вязкие глинистые осадки массивной текстуры, в кластической части которых доминируют обломки горных пород. Часть поступающего моренного материала переходит во взвешенное состояние и выносится в район подводного плато, где переходит в осадок. Это проксимальная зона ледниково-морской седиментации, где формируются слабо вязкие алеврито-глинистые осадки пониженной плотности, со слоистой, реже гомогенной текстурой. В кластической части осадков доминируют зерна минералов.

Лишь ничтожная часть взвешенного вещества достигает внешней области залива - это дистальная зона ледниково-морской седиментации. Здесь формируются биотурбированные алеврито-глинистые осадки повышенной плотности, где соотношение минеральных зерен к обломкам пород возрастает по мере продвижения к входу в залив. Здесь же происходит основная разгрузка материала, захваченного айсбергами и припайными льдами.

На выходе из залива условия седиментации меняются с ледниково-морских на ледово-морские. Здесь формируются тонкие глинистые осадки низкой плотности, а в кластической части наблюдается примерное равенство минералов и обломков пород.

Можно выделить также зону нулевой седиментации или зону размыва, приуроченную к ригелю, отделяющему залив от открытой акватории моря.

Таким образом, в настоящее время в заливе происходит смена основных условий седиментации с ледово-морских через ледниково-морские к ледниковым.

3. Залив Хорнсунн охарактеризован тремя сообществами бентосных фораминифер: *Cassidulina reniforme* - *Elphidium excavatum* f. *clavata*, *Nonionellina labradorica* - *Elphidium excavatum* f. *clavata* и *Cibicides lobatulus*, последовательно сменяющимися друг друга по мере удаления от современных ледников. Каждое сообщество связано с определенными водными массами и является индикатором условий осадконакопления.

Содержание «живых» фораминифер в заливе около 50%. Максимальный процент «живых» особей отмечен у кромки ледников, где резко снижается общая численность фораминифер, что, по мнению М. Хальда и С. Корсуна [Hald, Korsun, 1997], связано с быстрым погребением раковин. Действительно, во внутренней области залива происходит основная разгрузка моренного материала и скорость осадконакопления высокая [Gorlich et al., 1987], а доминирующий здесь вид (*Cassidulina reniforme*) обитает в поверхностном слое осадка [Корсун и др., 1994]. В этой области скорость осадконакопления - главный фактор, определяющий структуру сообществ фораминифер. С другой стороны, такое соотношение между «живыми» и «мертвыми» фораминиферами

может быть связано с растворением карбонатных раковин, что было показано норвежскими учеными [Steinsund, Hald, 1994]. Нами отмечен факт растворения раковин «живых» особей *Cassidulina reniforme* у ледникового уступа. На растворение раковин в заливе также указывает соотношение между «живыми» и «мертвыми» особями других видов: *Cibicides lobatulus* (содержание «живых» особей более 90% и лишь на входе в залив 50%), *Nonionellina labradorica* (до 75%). По всему заливу наблюдается растворение раковин «живых» особей у рода *Quinqueloquina* и только «живыми» найдены экземпляры *Pyrgo williamsoni*. Рядом исследователей отмечалось увеличение доли «живых» *Elphidium excavatum* f. *clavata* в кутовой части фиордов [Hald, Korsun, 1997, Hald et al., 1994]. Нами столь резкой тенденции не отмечено, более того, в центральной части внутренней области происходит увеличение численности «мертвых» особей этого вида.

Таким образом, высокий процент «живых» фораминифер в пробах у кромки ледников связан с двумя факторами: высокой скоростью седиментации и интенсивным растворением карбонатных раковин.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Корсун С.А., Погодина И.А., Тарасов Г.А., Матишов Г.Г. Фораминиферы Баренцева моря (гидробиология и четвертичная палеоэкология). Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 1994. 140 с.

Корсун С.А., Поляк Л.В. [Распределение морфогрупп бентосных фораминифер в Баренцевом море](#) // Океанология. 1989. Т. 29. Вып. 5. С. 838-844.

Ласточкин А.Н. Структурно-геоморфологические исследования на шельфе. Л.: Недра, 1978. 247 с.

Методы изучения осадочных пород. Т. 1. М.: Госгеолтехиздат, 1957. 612 с.

Gorlich K., Weslawski J.M., Zajaczkowski M. Suspension settling effect on macrobenthos biomass distribution in the Hornsund fjord, Spitsbergen // Polar Research. 1987. V. 5. P. 175-192.

Hald M., Korsun S. Distribution of modern benthic foraminifera from fjords of Svalbard, European Arctic // J. Foraminiferal Res. 1997. V. 27. № 2. P. 101-122.

Hald M., Steinsund P.I. Distribution of surface sediment benthic foraminifera in the Southwestern Barents Sea // J. Foraminiferal Res. 1992. V. 22. № 4. P. 347-362.

Hald M., Steinsund P.I., Dokken T. et al. Recent and Late Quaternary distribution of Elphidium

excavatum f. clavatum in Arctic Seas // Cushman Foundation Special Publication. 1994. № 32. P. 141-153.

Korsun S., Hald M. Seasonal dynamics of benthic foraminifera in a Glacially fed fjord of Svalbard, European Arctic // J. Foraminiferal Res. 2000. V. 30. № 4. P. 251-271.

Korsun S.A., Pogodina I.A., Forman S.L., Lubinski D.J. Recent foraminifera in glaciomarine sediments from three arctic fjords of Novaya Zemlja and Svalbard // Polar Research. 1995. V. 14. № 1. p. 15-31.

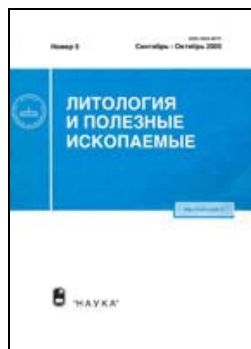
Ostby K.L., Nagy J. Foraminiferal distribution in the western Barents Sea, Recent and Quaternary // Polar Research. 1982. № 1. P. 55-95.

Polyak L., Mikhailov V. Post-glacial environments of the southeastern Barents Sea: foraminiferal evidence // Late Quaternary Paleooceanography of the North Atlantic Margins, Geological Society Special Publication. 1996. № 111. P. 323-337.

Schafer C.T., Cole F.E. Reconnaissance survey of benthic foraminifera from Baffin Fiord environments // Arctic. 1986. V. 39. P. 232-239.

Steinsund P.I., Hald M. Recent calcium carbonate dissolution in the Barents Sea, Paleooceanographic applications // Mar. Geol. 1994. V. 117. P. 303-316.

Ссылка на статью:



Митяев М.В., Погодина И.А., Герасимова М.В. Фациальная изменчивость современных отложений залива Хорнсунн, Западный Шпицберген // Литология и полезные ископаемые. 2005. № 5. С. 467-471.