

УДК 552.527:551.8 (261.24)

Е.М. Емельянов<sup>1</sup>, В.Л. Лукша<sup>2</sup>

## ГЛИНИСТЫЕ МИНЕРАЛЫ И ПАЛЕОГЕОГРАФИЯ ГОТЛАНДСКОГО БАССЕЙНА (по данным колонки Psd-303590)

При выходе придонных течений из Слупского желоба терригенная взвесь выпадает в осадок на юго-западном борту Готландской впадины, где формируется так называемая подводная дельта Слупской реки. В разрезе колонки Psd-590, отобранной в этой зоне, наблюдается смена однородных глин анцилового озера мощной пачкой средне-верхнеголоценовых морских илов, представленных смешанными, пелитово-алевритовыми типами осадков. В глинистом веществе осадков превалирует иллитовый материал при подчиненном содержании хлорита и каолинита. Кварц, полевые шпаты и иллит составляют осадкообразующую ассоциацию минералов голоценовых отложений, формирующихся за счет выветривания гранитогнейсовых пород Балтийского щита и продуктов их переработки.

*Ключевые слова:* Слупский желоб, голоцен, литориновая трансгрессия, иллит, кварц.

At an exit of bottom currents from a Slupsky trench, the suspended matter drops out in a deposit on a southwest board Gotland Deep, where the so-called underwater delta of the «slupsky river» is formed. In a core Psd-590, raised in this zone, the homogeneous clays of the Ancylus Lake changes by a powerful pack of Middle-Upperholocene deposits of sea, presented by mixed, by pelitic-silt sediments. In clay complex dominated illit with chlorite and kaolinite impurity. Quartz — feldspars — illit is the main minerals association of the Holocene deposits, which are forming under the influence of aeration of granit-gneisses of Baltic Shield and products of their reworking.

*Key words:* Slupsky trench, Holocene, Litorina transgression, illit, quartz.

**Введение.** Значительная часть Балтийского моря окружена водосборной площадью, где распространены и дренируются породы сравнительно одинакового петрографического состава — гранитогнейсы. Поэтому в конечном водоеме стока, где накапливаются сугубо терригенные типы осадков, не всегда можно выделить литолого-минеральные индикаторы, которые могли бы указать конкретные источники и пути поступления осадочного материала во впадины. Восточная часть водосбора выполнена преимущественно палеозойско-мезозойскими карбонатными и песчаными породами, сверху залегают четвертичные моренные отложения. Последние тоже в основном состоят из продуктов экзарации гранитогнейсового фундамента. Поэтому при изучении процессов седиментогенеза в Балтийском море в качестве индикаторов источников и путей поступления осадочного материала, помимо изучения состава обломочного материала, целесообразно использовать минеральный состав глинистых компонентов тонкопелитовой фракции (<0,001 или <0,002 мм). Состав и распределение глинистых минералов в поверхностном слое современных осадков ранее изучали А.И. Блажчишин с соавторами [1977], а в разрезе колонок — в работах [Gingele, Leipe, 1997; Емельянов и др., 2002], а также авторы статьи [Лукша, Емельянов, 2007].

Одна из задач работы заключалась в изучении особенностей минерального состава глинистого комплекса осадков так называемой авандельты подводной Слупской реки — осадочного тела, формирующегося за счет взвеси из придонного потока морских вод, берущего начало в Северном море и протекающего через Арконскую, Борнхольмскую впадины, Слупский желоб и разгружающегося в юго-западной части Готландской впадины [Emelyanov, 2007; Емельянов и др., 2011].

**Материалы и методы исследований.** Объектом для наших исследований послужила колонка морских осадков Psd-303590<sup>3</sup> длиной 947 см, отобранная в зоне разгрузки подводной Слупской реки, в ходе международной экспедиции по проекту GISEB на германском научно-исследовательском судне «Посейдон» (Psd) в 2009 г. под руководством проф. Я. Харффа [Harff et al., 2010] (рис. 1). Глубина моря на станции составляет 124 м. Полевое описание колонки осадков выполнено на борту судна Я. Харффом и представлено в опубликованной ранее работе [Емельянов и др., 2011].

Основная часть аналитических исследований выполнена в лаборатории геологии Атлантики Атлантического отделения ИО РАН (г. Калининград). Интерпретация результатов гранулометрического анализа в виде гистограмм и вычисленных по кумулятивным кривым значений статистических коэффициентов

<sup>1</sup> Институт океанологии имени П.П. Ширшова РАН, Атлантическое отделение, гл. науч. с.; e-mail: abio@atlas.baltnet.ru

<sup>2</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра литологии и морской геологии, науч. с.; e-mail: lukshav@inbox.ru

<sup>3</sup> Для краткости в дальнейшем она называется Psd-590.

отражена на рис. 2 и в табл. 1. С.М. Исаченко проведена оценка распределения компонентного состава фракции 0,1–0,05 мм по разрезу колонки. В соответствии с применяемой в литологических исследованиях практикой к алевритовым фракциям отнесены частицы размером 0,05–0,005 мм, а к пелитовым — частицы размером <0,005 мм.

На геологическом факультете МГУ пробы изучали методами рентгеновской дифрактометрии (лаборатория морской геологии) и электронной микроскопии (лаборатория локальных методов исследования вещества, оператор А.Н. Гусева). Состав и кристаллохимические характеристики глинистых минералов, особенности их распространения по разрезу изучали во фракции <0,002 мм с использованием текстурированных и неориентированных препаратов. На основе анализа рентгенограмм порошковых препаратов исходных проб определяли набор осадкообразующих обломочных минералов и рассчитывали соотношение кварц: полевые шпаты. Стратиграфическое расчленение рассматриваемой колонки осадков выполнено на основании литологических данных и результатов диатомового анализа [Емельянов и др., 2011].

**Морфолитодинамические особенности изучаемого района.** Авандельта подводной Слупской реки — аккумулятивное тело, выполненное пачкой литориновых илов (рис. 3), накопившихся в Центральной Балтике за период существования Балтийского моря — за 7800 лет,

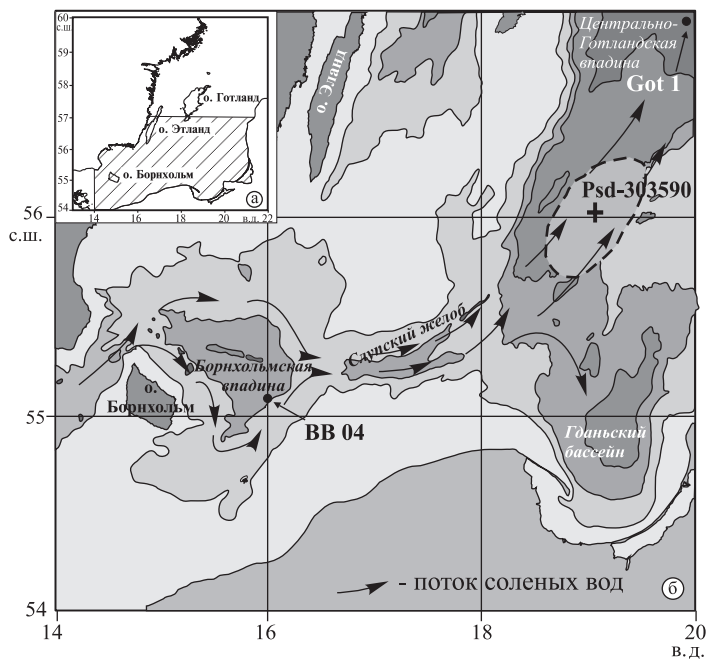


Рис. 1. Схема расположения станции Psd-303590 (Psd-590), потока соленых североморских вод (стрелки) и положения авандельты «Слупской подводной реки» (крап). ВВ04 и Got1 — расположение колонки, изученных в работе [Gingele, Leipe, 1997]

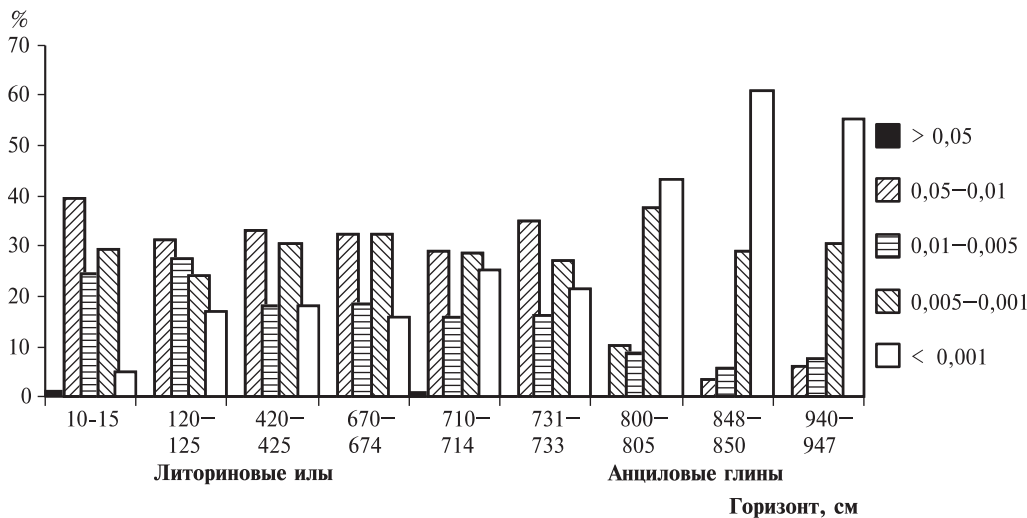


Рис. 2. Гистограммы гранулометрического состава донных осадков колонки Psd-303590

Таблица 1

Степень сортированности (So) и медианный диаметр (Md) проб осадков из колонки Psd-303590

Показатель	Литориновые и постлиториновые илы						Анциловые глины		
	Горизонт, см								
	10–15	120–125	420–425	670–675	710–714	731–733	800–805	848–850	940–947
So	2,2	2,8	3,0	3,0	3,6	3,0	2,0	1,8	1,8
Md	0,008	0,007	0,005	0,005	0,004	0,005	0,001	0,0008	0,001



Рис. 3. Клиноформа «авандельты Слупской реки», по Блажчишину и др. [1990]: 1 — моренный фундамент, 2 — газовый кратер, 3 — иловое тело «авандельты», 4 — долина придонной Слупской реки, 5 — придонное течение на север. Сверху показано примерное положение места отбора колонки Psd-590

т.е. после того, как этот бассейн в результате эвстатических колебаний соединился через датские проливы с Северным морем. Уникальность исследованной структуры определяется ее сопряжением со Слупским желобом (рис. 1) — важным морфоструктурным элементом субширотного простирания, соединяющим Борнхольмскую и Готландскую впадины и выполняющим роль транзитной артерии для глубинных течений (долины Слупской подводной реки), поставляющих соленые североморские воды и взвесь из юго-западных участков Балтики в ее восточные и центральные районы (рис. 1). Глубина желоба 70–80 м, высота его склонов составляет 20–30 м. Склоны выполнены мореными отложениями, перекрытыми песками, которые местами размывы придонными течениями, на этих участках морена обнажается на дне желоба [Емельянов, 2007]. В восточной части Слупского желоба выявлено наличие двух русел, по которым придонные потоки проникают в Готландскую впадину [Пака, 1996].

При выходе насыщенного взвесью потока на выполаживающийся борт впадины его скорость снижается, происходит разгрузка несомого им осадочного материала. Это способствует формированию у подножия южного склона впадины своеобразного конуса выноса — «авандельты» — с повышенной мощностью голоценовых (литориновых) осадков (рис. 3). Наглядной иллюстрацией этого явления служит строение рассматриваемого разреза голоценовых отложений.

Во вскрытом разрезе выделяются нижнеголоценовые (анциловые), среднеголоценовые (литориновые) и верхнеголоценовые (постлиториновые) отложения, накопившиеся за последние ~9000 лет. При этом на долю морских голоценовых осадков (литориновых и постлиториновых) приходится более 700 см, это максимальная величина для Готландской впадины, в 2–3 раза превышающая мощность одновозрастных отложений в центральной части впадины. Вскрытая мощность нижележащих озерных (анциловых) глин

составляет около 200 см. Средняя рассчитанная скорость осадконакопления на данном локальном участке доходила до 90 см за 1000 лет.

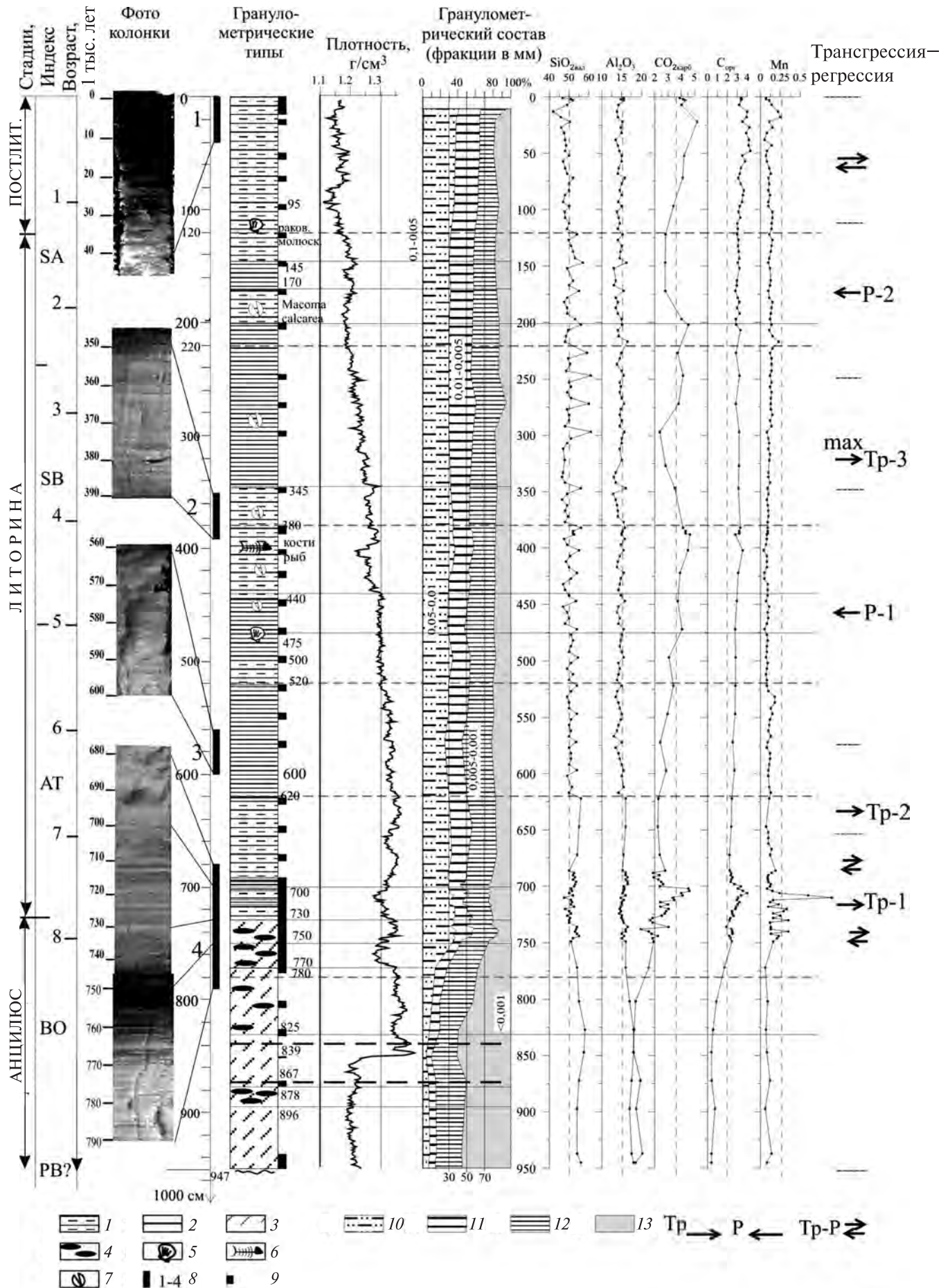
**Характеристика голоценовых осадков колонки.** К особенностям донных осадков колонки Psd-590 относятся их тонкозернистость. Среди них преобладают пелитово-алевритовые, алевритово-пелитовые и пелитовые илы. На долю песчаных фракций (>0,05 мм) в большинстве проб приходится <1%; содержание карбонатного вещества в осадках составляет не более 5% (рис. 4). Илы «дельты» заметно насыщены органическим веществом (содержание  $C_{орг}$  до 3–4%).

**Анциловые глины** (интервал 740–947 см) представлены преимущественно серыми, светло-серыми однородными разностями. В основании колонки вскрыты глины, сохранившие розоватый оттенок, что можно интерпретировать как показатель окислительных условий осадконакопления, существовавших ранее. Местами однородность глин нарушается появлением черных стяжений сульфидов железа (рис. 4). В интервалах 740–770 и 783–786 см глина приобретает темно-серый цвет и полосчато-слоистую текстуру за счет разной степени обогащения мелкими черными включениями сульфидов.

Хорошо отмученные анциловые глины характеризуются высокой степенью сортировки (табл. 1, коэффициент сортированности  $S_o = 1,8 \div 2,0$ ) и наибольшей дисперсностью среди вскрытых отложений. Содержание пелитовых фракций (<0,005 мм) достигает в них 85–90%, причем доля тонкопелитовых частиц (<0,001 мм) превышает 50%, а медианный диаметр зерен имеет значения <0,001 мм. Подобной ситуации, по-видимому, благоприятствовали спокойные гидродинамические условия в центральной зоне анцилового озерного водоема, которую занимал Готландский бассейн.

Глинистый комплекс голоценовых осадков состоит преимущественно из частиц слюистой, хлоритовой

Рис. 4. Литологический и гранулометрический состав илов колонки Psd-590 (Готландская впадина, Балтийское море): I — фотографическое отображение разреза вдоль влажной колонки; II — гранулометрические типы осадков по данным гранулометрического анализа: 1 — илы пелитово-алевритовые, серые (литориновые); 2 — илы алевритово-пелитовые, серые (литориновые); 3 — серые озерные (анциловые) глины; 4 — гидротроилит; 5 — раковины моллюсков; 6 — кости рыб; 7 — остатки раковин; 8 — местоположение фотографий фракции 0,1–0,05 мм (рис. 5 и 7); 9 — фотографическое отображение разреза вдоль влажной колонки; 10 — положение изученных проб; III — распределение гранулометрических фракций в осадках колонки: 1–3 — фракции (в мм): 11 — 0,05–0,01; 12 — 0,01–0,005; 13 — 0,005–0,001; 14 — <0,001 мм. Содержание фракций >0,05 мм <1%; плотность осадков — г/см<sup>3</sup>. Тр — трансгрессия, Р — регрессия, Тр-Р — трансгрессия-регрессия; max — максимальная трансгрессия, по [Емельянов и др., 2011]



и каолининовой групп слоистых силикатов. Группа разбухающих минералов представлена в минимальном количестве. Пакеты смектитового типа проявляются главным образом в качестве компонентов смешанослойных образований (слюда-смектит), которые составляют незначительную примесь в ассоциации глинистых минералов (<5%) (табл. 2).

Ведущее место среди слоистых силикатов тонкопелитовой фракции занимают глинистые частицы слюдистой группы, составляющие в пробах анциловых осадков 75–77% от суммы глинистых минералов. Дифракционная картина слюдистых силикатов соответствует структурам диоктаэдрического типа ( $d_{060} = 1,499 \div 1,501 \text{ \AA}$ ). Положение пика первого базального отражения слюды претерпевает минимальное смещение после насыщения глицерином и прокаливания, т.е. присутствие разбухающих межслоев в слюдистых структурах относительно невелико (<10%). Соотношение интенсивности базальных рефлексов отражает преобладание атомов алюминия в составе катионов октаэдрических позиций, но часть из них изоморфно замещена атомами железа ( $I_{002}/I_{001} = 0,30 \div 0,35$ ). Предварительная оценка политипности слюд по данным рентгенограмм нетекстурированных препаратов позволяет говорить о преобладании структур двухслойной модификации ( $2M1 > 1M$ ). Таким образом, в соответствии с классификацией В.А. Дрица и А.Г. Коссовской [1991] выявленные кристаллохимические параметры дают возможность определить слюдистые

глинистые минералы анциловых отложений как железисто-алюминиевые иллиты. Небольшая часть слюдистых структур содержит до 10–20% смектитовых межслоев, эти минералы можно отнести к гидрослюдистым разновидностям (или к смешанослойным образованиям, согласно новой номенклатуре).

Следующий по содержанию компонент глинистого комплекса — хлорит (в среднем 12–14%). Дифракционные показатели хлорита, в первую очередь соотношения интенсивности его базальных отражений, отвечают триоктаэдрическому железисто-магнезиальному типу. Хлорит представлен хорошо кристаллизованными структурами, устойчивыми к нагреванию, что подчеркивается значением первого базального рефлекса после прокаливания ( $d_{001} = 13,9 \div 14,0 \text{ \AA}$ ). Постоянно входят в глинистую ассоциацию и частицы каолинита, их доля во фракции <0,002 мм варьирует от 8 до 12%. Примесь разбухающих минералов в тонкопелитовых пробах анциловых глин хотя и незначительна (4–6%), но максимальна среди всех проб рассматриваемого разреза. В вышележащих литориновых отложениях их доля уменьшается до следов. Среди разбухающих образований преобладают неупорядоченные смешанослойные структуры смектит-иллитового состава с содержанием смектитовых межслоев до 70–80%.

Выявлена относительная обогащенность проб так называемым рентгеноаморфным веществом (РАВ). В работе [Шлыков, 2006] установлено, что помимо

Таблица 2

Состав глинистого комплекса фракции &lt;2 мкм по разрезу осадков из колонки Psd-303590

Стадии	Горизонт, см	Иллит + гидрослюда	Хлорит	Каолинит	Смектит	Каолинит/Хлорит	Кварц/Полевые шпаты
Постлиторина	0–5	75–76	12–13	10–11	2–3	0,84	2,6
	50–55	77–78	11–12	9–10	1–2	0,83	2,5
Литорина	200–205	71–72	15–16	12–13	—	0,80	2,2
	295–300	75–76	13–14	10–11	1–2	0,77	2,6
	345–350	78–79	11–12	9–10	—	0,83	2,7
	400–405	74–75	13–14	11–12	1–2	0,85	2,3
	570–575	76–77	12–13	10–11	—	0,84	2,1
	670–675	79–80	11–12	8–9	1–2	0,74	2,6
Литорина—анциловая	694–696	80–81	10–11	7–8	1–2	0,71	2,1
	710–714	83–84	9–10	6–7	—	0,68	2,0
Анциловая	737–739	77–78	13–14	8–9	1–2	0,63	2,4
	770–775	79–80	12–13	8–9	1–2	0,68	1,9
	800–805	76–77	13–14	8–9	1–2	0,63	1,3
	850–855	74–75	13–14	9–10	3–4	0,70	1,2
	940–945	76–77	12–13	7–8	4–6	0,6	1,2

органического материала весомый вклад в РАВ вносят тонкодисперсные, скрытокристаллические формы осадкообразующих минералов, присутствующих в пробе, прежде всего слоистых силикатов. В данном случае, учитывая важную роль ледниковых образований в качестве поставщика глинистого материала (в основном «ледникового молока»), механизм формирования мельчайших кристаллитов может быть обусловлен разрушением (перетирированием) глинистых частиц при движении ледника. В результате часть минералов, имеющих наиболее несовершенные структуры, значительно уменьшает высоту однородных блоков по направлению нормали к базальным плоскостям, переходит в скрытокристаллическое состояние и пополняет массу РАВ.

Полнокристаллические глинистые частицы также не отличаются крупностью однородных микроблоков. В соответствии с величиной полуширины базальных отражений иллита толщина областей когерентного рассеяния (ОКР) оценивается для него в пределах 150–170 Å, т.е. содержит 15–17 элементарных слоев.

*Смена озерных глин литориновыми морскими илами* вверх по колонке происходит скачкообразно — через своеобразную переходную зону, занимающую несколько десятков сантиметров (ориентировочно интервал 740–700 см) и представленную чередованием слоев серого, темно-серого и зеленовато-серого ила, что обусловлено периодическим притоком соленых североморских вод и неоднородностью обогащения осадков органическим веществом и сульфидами железа (рис. 4). По нижней границе этой зоны наблюдается отчетливая смена гранулометрических типов осадков — однородные глинистые илы замещаются тонкослоистыми, смешанными пелитово-алевритовыми и алеврито-пелитовыми осадками, в которых величина содержания алевритовых и пелитовых фракций имеет близкие значения (46–54%). Неоднородный состав частиц отражается на гранулометрических показателях осадков — ухудшается степень сортированности (параметр  $S_o$  повышается до 3,0–3,6), медианный диаметр возрастает до 0,004–0,006 мм. При этом наиболее весомый вклад в вещественный состав вносят частицы двух фракций — крупноалевритовой (0,05–0,01) и крупнопелитовой (0,005–0,001). Соотношения между ними отражают разный уровень мобилизации терригенного материала, перенос его подводным потоком Слупского желоба и разгрузку взвешенного вещества на юго-западном борту Готландской впадины.

В минеральном комплексе слоистых силикатов доля глинистых частиц слюдяного ряда увеличивается до 82–83% от суммы слоистых силикатов. На фоне повышения разнообразия привносимого терригенного материала своеобразие слюдяных минералов проявляется в присутствии иллитовых частиц с разной степенью изоморфных замещений в октаэдрах катионов алюминия атомами железа ( $I_{002}/I_{001} = 0,25 \div 0,36$ ), что обусловлено возросшей разнородностью поступающего глинистого вещества. Это подчеркивается и

примесь в пробах более гидратированных слюдяных минералов.

Среди кластогенных компонентов осадков ведущее место занимают частицы кварца. Так, в пробе фракции 0,1–0,05 мм его доля возрастает до 70–74% (табл. 3). В исходных пробах отношение кварц : полевые шпаты составляет 1,9–2,0 при максимуме 2,4 в наиболее крупнозернистой пробе из интервала 737–739 см. Среди полевых шпатов наблюдается незначительное превалирование плагиоклазов над калиевыми полевыми шпатами — соотношения между ними близки к единице (1,1–1,2).

В петрографических шлифах подавляющая масса зерен кварца и полевых шпатов представлена неокатанными, остроугольными частицами алевритовой размерности (преобладают зерна размером 0,01–0,02 мм); кроме них присутствуют частицы слюд (мусковита и биотита), отдельные дисперсные зерна глауконита, циркона, ильменита, рутила.

Для переходного горизонта характерно активное проявление в осадках процессов аутигенного минералообразования. Наглядным выражением этого явления служат сульфиды железа, карбонат марганца. Во фракции 0,1–0,05 мм в пробах «базальных интервалов» (737–741 см) сульфиды представлены многочисленными сростками черных глобул и микроконкрециями (табл. 3; рис. 5, а). В петрографических шлифах четко выраженные сферолиты пирита наблюдаются как в рассеянном виде, так и в концентрированной форме. На снимках под сканирующим электронным микроскопом среди подобных шарообразных тел преобладают фрамбоиды диаметром 5–20 мкм, которые выполнены мелкими, хорошо ограненными кристалликами пирита размером 0,5–1 мкм (рис. 6). Процесс новообразования сульфидов в восстановительных условиях согласуется с началом литориновой трансгрессии. Приток североморских вод обеспечивает поступление в бассейн дополнительных порций железа и питательных элементов для бассейновых микроорганизмов, что приводит к повышенному содержанию органического вещества в донных осадках и стимулирует интенсивность диагенетических преобразований. В пробах из переходной зоны содержание  $S_{орг}$  превышает средние значения для анциловых глин в несколько раз и варьирует от 2,5 до 3,5%, достигая максимума (4,0%) в верхних гидротроилитовых прослоях (704–706 см) (рис. 4).

*Нижняя половина литориновых отложений* (ориентировочно горизонт 700–400 см) представлена гомогенными зеленовато-серыми илами, накопившимися большей частью в условиях атлантического этапа морского голоцена [Емельянов и др., 2011]. Продолжается накопление тонкослоистых алевритово-пелитовых и пелитово-алевритовых типов осадков с граничными значениями медианного диаметра зерен ( $Md = 0,005$  мм) и пониженной степени их сортированности ( $S_o = 3,0 \div 3,1$ ), свойственной отложениям смешанного состава.

Таблица 3

**Распределение глинистых агрегатов, микроконкреций аутигенных образований и обломочных минералов во фракции 0,1–0,05 мм  
(и  $MnCO_3$  в валовой пробе) осадков колонки Psd-590**

Стадии	Агрегаты, минералы									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Постлиторина	10–15	0,3	0,0	0,0	0,5	0,0	8,5		1,5	0,0
	20–25	0,2	0,0	0,0	2,6	13,9	79,6	3,5	0,4	0,0
	50–55	<0,21	3,1	0,0	1,6	0,0	85,0	6,7	1,0	2,6
	95–100	0,2	0,0	0,0	1,0	78,1	19,3	1,6	0,0	0,0
Литорина	145–150	0,2	6,1	0,0	2,3	55,7	16,8	12,2	3,1	3,8
	200–205	0,3	15,3	0,0	1,5	64,4	10,7	6,1	0,0	2,0
	245–250	0,3	10,4	8,0	0,0	75,2	0,0	2,7	2,9	0,8
	295–300	<0,21	14,3	0,0	15,4	40,8	20,3	7,6	0,5	1,1
	345–350	<0,21	1,5	3,7	0,7	0,0	79,3	11,9	0,7	2,2
	400–405	<0,21	1,6	0,0	1,0	78,2	10,9	7,3	0,5	0,5
	445–450	<0,21	5,5	0,0	2,1	49,7	26,9	8,3	1,4	6,1
	470–475	<0,21	2,2	0,0	22,8	65,2	2,2	6,6	0,5	0,5
	520–525	<0,21	3,1	0,0	23,6	62,2	4,3	6,2	0,0	0,6
	570–575	<0,21	3,5	0,0	4,0	43,0	44,0	5,5	0,0	0,0
	620–625	0,2	2,0	0,0	0,0	18,3	76,2	3,5	0,0	0,0
	670–675	0,3	0,0	0,0	6,3	53,8	36,0	2,3	0,0	1,6
	694–696	0,2	2,9	0,0	0,0	63,2	20,4	13,2	0,3	0,0
	698–700	0,3	0,9	0,0	1,8	28,8	27,0	38,5	0,0	3,0
Переходная (литорина–анциловая)	702–704	<0,21	0,8	0,0	7,2	4,9	12,7	70,1	3,1	1,2
	706–710	1,3	0,0	0,0	8,6	14,2	0,0	74,9	1,6	0,0
	710–714	0,3	3,6	0,0	5,3	6,2	8,3	69,2	5,3	1,5
	716–720	0,7	0,0	0,0	23,0	36,3	20,6	17,6	0,0	2,5
	725–727	0,5	0,0	0,0	7,5	19,7	59,9	10,2	0,0	2,7
	729–731	0,7	0,0	0,0	4,8	53,0	34,5	4,8	0,0	2,9
	733–735	0,3	0,0	0,0	21,9	25,6	43,0	8,3	0,0	1,2
	737–739	0,3	14,3	0,0	0,0	70,9	9,5	3,2	0,0	0,0
Анциловая	739–741	0,7	88,2	0,0	0,0	0,0	11,0	0,0	0,8	0,0
	745–750	0,4	0,0	0,0	3,5	66,3	24,5	5,7	0,0	0,0
	770–775	0,1	0,0	0,0	9,7	48,9	6,9	32,8	1,2	0,5
	800–805	0,2	0,0	0,0	4,0	5,9	16,8	70,3	3,0	0,0

Примечания. 1 — горизонт, см; 2 — содержание  $MnCO_3$ , % в валовой пробе осадков колонки; 3–10 — распределение агрегатов, аутигенных образований и обломочных минералов во фракции 0,1–0,05 мм: 3 — микроконкреции черные, 4 — микроконкреции бурые, 5 — сульфиды Fe, 6 — глинистые агрегаты серые, 7 — глинистые агрегаты бурые, 8 — кварц, полевые шпаты, 9 — аксессуарные минералы (гранат, эпидот, турмалин, циркон, амфибол, глауконит), 10 — растительный детрит.

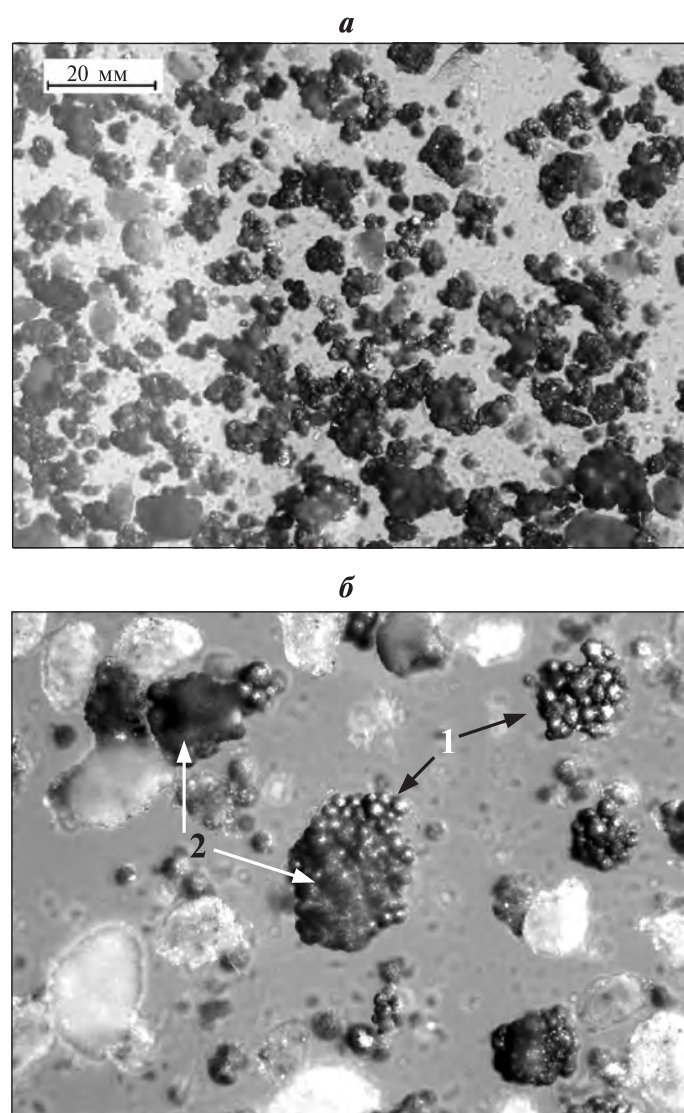


Рис. 5. Аутигенные образования сульфидов во фракции 0,1–0,05: *a* — черные, железо-сульфидные микроконкреции переходного (литторина–анцилового) горизонта; *б* — сrostки сферул (1) и черных микроконкреций (2) из литторинового ила

Для этих илов отмечена обильная насыщенность газом, благодаря чему осадок приобретает комковатую, местами ячеистую текстуру.

По результатам рентгеновского анализа состав слоистых силикатов фракции <0,002 мм нижнелитториновых илов можно обозначить как каолинит-хлорит-иллитовую ассоциацию при доминировании слабжелезистого алюминиевого иллита, составляющего 78–80% от суммы глинистых минералов. Пакеты с разбухающими межслоями присутствуют главным образом в структуре смешанослойных (иллит-сметит) образований, где доля смектитоподобных слоев не превышает 20%. В нижнелитториновых осадках наблюдается минимум содержания гидратированных и смешанослойных образований. По-видимому, условия климатического оптимума способствовали усилению эрозии кристаллических пород питающих провинций и выносу в бассейн «свежего», слабдеградировавшего глинистого материала.

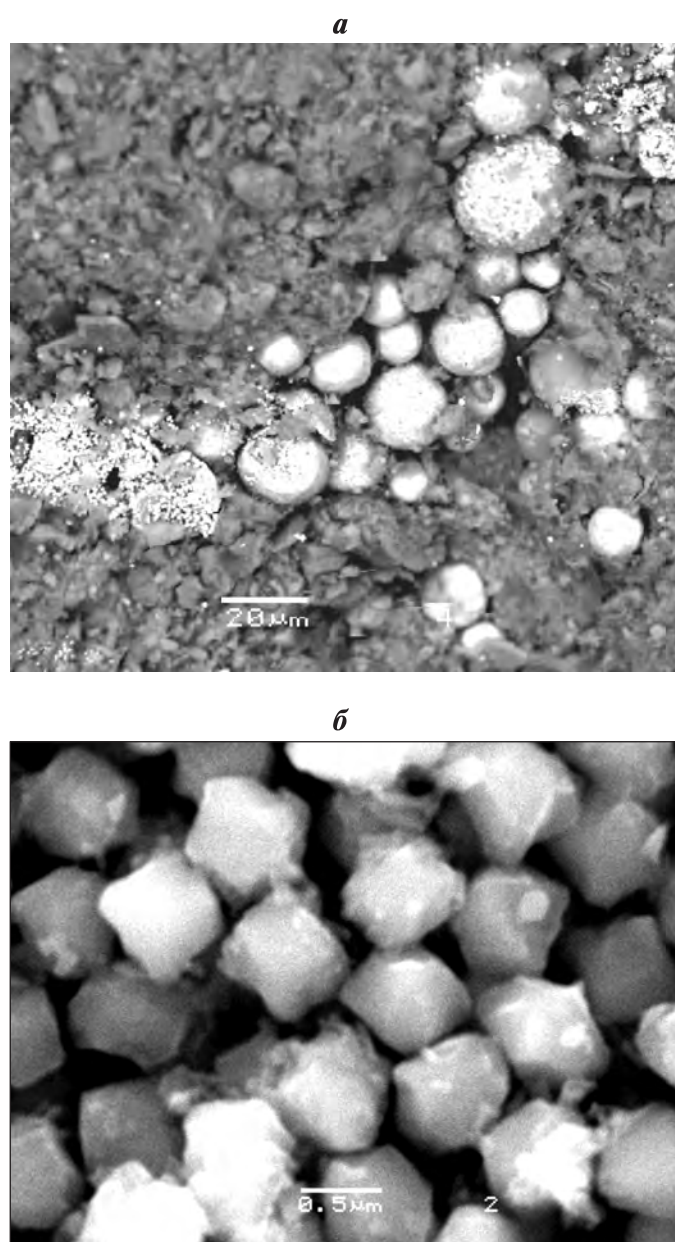


Рис. 6. Структурные формы аутигенного пирита из переходного горизонта, интервал 715–717 см: *a* — скопление фрамбоидальных образований; *б* — кристаллиты пирита, выполняющие фрамбоиды

Среди обломочных минералов сохраняется преобладание частиц кварца; их доля почти в 2 раза превышает содержание полевых шпатов (отношение кварц : полевые шпаты составляет 1,8–2,6). В группе полевых шпатов отношение плагиоклазы : щелочные полевые шпаты варьируют от 0,9 до 1,1, что отражает близкое содержание этих минералов. Акцессорные минералы представлены частицами роговой обманки, эпидота, циркона, доломита. Постоянными компонентами осадков становятся зерна пирита. В ряде горизонтов (520–525 и 470–475 см) в составе фракции 0,1–0,05 мм на долю сульфидов приходится до 22–24% (табл. 3; рис. 5, *б*). Содержание  $C_{орг}$  в илах сохраняется на уровне 2–3%.



*Верхняя часть литориновых илов* (приблизительно 400–120 см) выполнена преимущественно пелитово-алевритовым илом серого и зеленовато-серого цвета, местами пятнистым или неяснослоистым за счет линзовидных светло-серых прожилков. Вверх по разрезу колонки постепенно растет доля частиц алевритовой размерности (0,05–0,005 мм), улучшаются показатели сортированности осадков и увеличивается средний диаметр их зерен ( $Md = 0,005 \pm 0,006$ ). Минеральный состав верхнелиториновых осадков не претерпевает существенных изменений. В глинистом комплексе вверх по разрезу прослеживается некоторое увеличение доли каолинита, а для структуры иллита отмечается уменьшение содержания железа в октаэдрической позиции. Хлоритовые частицы имеют такую же устойчивую структуру железисто-магнезиального типа, как и в нижележащих отложениях. Среди обломочных зерен по-прежнему превалирует полевошпатовая ассоциация. При этом отношение кварца к полевым шпатам возрастает до 2,2–2,9, а доля плагиоклазов и щелочных полевых шпатов остается очень близкой, их соотношение составляет 0,9–1,2. Содержание  $C_{орг}$  остается относительно высоким (2,5–3,0%).

Венчает разрез колонки *горизонт постлиториновых верхнеголоценовых илов* (0–120 см). Поверхностный слой (0–20 см) представлен текучим пелитово-алевритовым илом черного цвета. Вниз по колонке осадок постепенно уплотняется (от 1,05 до 1,35 г/см<sup>3</sup>) (рис. 4), приобретает темно-серую окраску с линзовидными прослоями черного и серого цвета. Позднеголоценовые отложения характеризуются преобладанием в гранулометрическом составе зерен алевритовых фракций (62–64%), соответственно доля пелитовых частиц (<0,005 мм) снижается до 35–37%. При подобном дифференцировании зерен степень сортированности постлиториновых осадков приближается к хорошей, медианный диаметр увеличивается до 0,007–0,008 мм.

Ассоциация глинистых минералов в пробах молодых осадков наследует фазовый состав и количественные соотношения слоистых силикатов среднеголоценовых отложений. К качественным особенностям глинистого комплекса можно отнести более заметное присутствие частиц с неоднородной структурой и примесь неупорядоченных смешанослойных образований с преобладанием межслоев смектитового типа.

В постлиториновых осадках, как и в нижележащих отложениях, сохраняется существенное преобладание кварца среди неглинистых обломочных компонентов. Отношение его к полевым шпатам варьирует от 2,0 до 2,7. Содержание щелочных полевых шпатов все чаще превалирует над плагиоклазами (отношение плагиоклазы : щелочные полевые шпаты составляет 1,1–0,7). Помимо основных минералов в пробах отмечено присутствие зерен пирита, сидерита, амфиболов, рудных минералов. Для современных осадков характерно также относительно высокое содержание в них  $C_{орг}$  (максимально до 3,0–3,5%).

**Результаты исследований и их обсуждение.** Формирование донных отложений в рассматриваемой

зоне, расположенной в центральной части Балтийского моря, подчиняется закономерностям, отвечающим геологической и климатической ситуации этого бассейна. В первую очередь это выражается в накоплении исключительно терригенных типов осадков при подавлении процессов карбонатакопления.

Наиболее отчетливые изменения в типах осадков по разрезу вскрытых отложений прослеживаются на границе нижнего и среднего голоцена, когда возобновилась связь бассейна осадконакопления с Северным морем, а озерная обстановка раннеголоценового времени сменилась морской трансгрессией. После восстановления связи с океаном участились прорывы североморских вод, что привело к активизации придонной гидродинамики и в сочетании с усилением процессов денудации на суше и бурным расцветом фитопланктона в море отразилось на погребении поступающих терригенных продуктов сноса и повышении роли обломочных частиц алевритовой размерности, а также органического детрита в литориновых илах. Это привело к смене глинистых типов осадков тонкослоистыми, преимущественно алевритово-пелитовыми илами в нижней части литориновых отложений и пелитово-алевритовыми илами в верхнелиториновых и постлиториновых осадках.

В минеральном составе осадков наблюдаются некоторые изменения по разрезу колонки, но они носят постепенный характер, резких колебаний нет. В глинистом веществе осадков преобладает хлорит-иллитовый с примесью каолинита комплекс слоистых силикатов при абсолютном преобладании в нем иллитового компонента. Подобный состав слоистых силикатов определяется магматическими и метаморфическими породами Балтийского щита и уровнем развития процессов выветривания, отвечающих холодно-умеренной климатической зоне.

Качественные изменения в глинистом комплексе связаны в основном с проявлением неоднородностей в кристаллической структуре слоистых силикатов, что обусловлено степенью их переработки на разных участках водосборной области. Расширение ареала питающих провинций в голоценовое время, прежде всего за счет продуктов выветривания осадочных пород на юго-востоке и юго-западе водосборной территории, способствовало некоторому увеличению поступления в бассейн каолинита и деградированных глинистых компонентов, что и наблюдается в ряду иллит–упорядоченные смешанослойные (иллит-смектит)–неупорядоченные смешанослойные (смектит-иллит) образования. Показателем разнородности иллитового материала могут служить также колебания по разрезу колонки уровня изоморфных замещений в октаэдрах между атомами алюминия и железа.

Характеризуя пути поступления каолинита со стороны Борнхольмского бассейна, отметим данные работы [Gingele, Leire, 1997]. Согласно их результатам, отношение каолинит : хлорит в анциловых осадках мелководья Западной Балтики обычно <0,75, а в литориновых отложениях оно часто превышает 0,75.

В центральной же части Борнхольмской впадины (колонка ВВ04, рис. 1), наоборот, в литориновых илах отношение каолинит : хлорит меньше, чем в анциловых глинах. В колонках готландского бассейна (Psd-590 и Got 1) в анциловых глинах это отношение  $<0,70$ , а в литориновых илах  $>0,80$ . Это свидетельствует о том, что роль источника каолинита выросла в морскую стадию развития бассейна. Источником могла быть взвесь, приносимая потоком морских соленых вод из Северного моря [Gingele, Leipe, 1997]. Этот поток в Борнхольмской впадине (рис. 1) распространяется по ее окраинам, обходя местоположение колонки ВВ04, затем его ветви соединяются в Слупском желобе, далее единый поток распространяется до Центрально-Готландской впадины, освобождаясь по пути от несомой взвеси.

Среди неглинистого обломочного материала преимущественное распространение имеет полевошпатово-кварцевая ассоциация, что отвечает составу ледниковых отложений, возникших за счет переработки гранитогнейсовых пород Балтийского щита.

Рассчитанное по рентгеновским данным увеличение отношения кварц : полевые шпаты вверх по разрезу колонки подчеркивает вышеуказанную тенденцию к повышению в составе молодых осадков содержания «зрелых» компонентов переработки осадочных образований на суше.

Изменение озерных условий осадкообразования на морские повлияло и на увеличение содержания  $S_{орг}$  в средне- и верхнеголоценовых пробах, что обусловлено притоком с морскими водами биокомпонентов, способствующих развитию фитопланктона и некоторых бассейновых микроорганизмов. При этом основная масса органического детрита имеет размеры тонкопесчаных и алевритовых фракций [Блажчишин, Емельянов, 1977].

**Выводы.** 1. На этапе литориновой трансгрессии благодаря действию прерывистого подводного пото-

ка Слупской реки, обогащенного взвешенными минеральными частицами, накопление осадочного материала в юго-западной части Готландской впадины шло довольно высоким темпом, что привело к образованию крупной аккумулятивной формы — своеобразной авандельты подводной реки с максимальной мощностью морских голоценовых осадков.

2. По результатам анализа гранулометрических данных выявлены особенности вещественного состава изученных осадков, прежде всего более дифференцированно выполнена типизация осадков. Полученные результаты указывают на относительно невысокую степень сортированности литориновых осадков, что подчеркивает их смешанный тонкослоистый состав и коррелирует с близким содержанием частиц алевритовых и пелитовых фракций. Улучшение сортированности верхнеголоценовых отложений в свою очередь согласуется с преобладанием алевритового материала в пробах из верхней части колонки, что сопровождается повышением в компонентном составе осадков доли обломочных минералов, прежде всего кварца.

3. В литологических типах накопившихся осадков и их закономерных соотношениях отражены изменения палеогеографической обстановки в регионе после отступления ледника, а также состав пород питающих провинций. В качестве основного источника терригенного материала выступают гранитогнейсы Балтийского щита, а на более поздних этапах активизируется поступление продуктов переработки осадочных образований из локальных источников водосбора и размываемых в самом море моренных отложений.

4. Малая изменчивость состава глинистого комплекса обусловлена доминированием глинистых частиц слюдистого типа в тонкодисперсном осадочном материале, поступающем с суши, а также положением места отбора в центральной части бассейна, где, как правило, происходит усреднение компонентного состава пелитовых фракций.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Блажчишин А.И., Емельянов Е.М. Основные черты геохимии Балтийского моря // Геохимические исследования и поиски полезных ископаемых в Белоруссии и Прибалтике. Минск: Наука и техника, 1977. С. 60–156.

Блажчишин А.И., Бережной Б.Д., Ланге Д. и др. Геоакустические исследования четвертичной толщи в районах газопроявлений // Геоакустические исследования и газолитогеохимические исследования в Балтийском море. М., 1990. С. 16–33.

Блажчишин А.И., Ратеев М.А., Хеуров М.Б. Глинистые минералы и их локализация в верхнем слое современных осадков Балтийского моря // Baltica. 1977. № 6. С. 137–154.

Дриц В.А., Коссовская А.Г. Слоистые силикаты: слюды, хлориты. М.: Наука, 1991. С. 32–41 (Тр. ГИН; вып. 465).

Емельянов Е.М., Тримонис Э.С., Бустрем К. и др. Осадконакопление в Западно-Готландской впадине, Балтийское море (по данным колонки ПШ-2537) // Океанология. 2001. Т. 41, № 6. С. 910–923.

Емельянов Е.М., Тримонис Э.С., Вайкутене Г., Харфф Я. Опорная колонка осадков и палеогеография «авандельты» Слупской реки, Балтийское море // Океанология. 2011. Т. 51, № 5. С. 889–901.

Лукиа В.Л., Емельянов Е.М. Комплексы глинистых минералов в разрезах голоценовых осадков Балтийского моря // Геология морей и океанов: Мат-лы XVII Междунар. науч. конф. по морской геологии. Т. 2. М.: ГЕОС, 2007. С. 71–74.

Пака В.Т. Термохалинная структура вод на разрезах в Слупском желобе Балтийского моря весной 1993 г. // Океанология. 1996. Т. 36, № 2. С. 134–143.

Шлыков В.Г. Рентгеновский анализ минерального состава дисперсных грунтов. М.: ГЕОС, 2006. С. 102–126.

Emelyanov E.M. The geochemical and geocological situation of the Gotland basin in the Baltic Sea where chemical munition was dumped // Geologija. 2007. N 60. P. 10–26.

Gingele F.X., Leipe T. Clay mineral assemblages in the western Baltic Sea: recent distribution and relation to sedimentary units // Marine Geology. 1997. Vol. 140. P. 97–115.

Harff J., Endler, Emelyanov E. et al. Late Quaternary Climate Variations reflected in Baltic Sea sediments // Baltic Sea Basin. Berlin: Springer, 2010. P. 99–132.

Поступила в редакцию  
19.11.2013