

А. Г. ГРИГОРЬЕВ, В. А. ЖАМОЙДА, М. А. СПИРИДОНОВ,
А. Ю. ШАРАПОВА (ВСЕГЕИ), В. В. СИВКОВ (Ин-т океанологии РАН)

НОВЫЕ ДАННЫЕ ПО ИСТОРИИ РАЗВИТИЯ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ ОТ ПОЗДНЕЛЕДНИКОВЬЯ ДО СОВРЕМЕННОСТИ

Грунтовая колонка длиной 12,38 м отобрана в Гданьской впадине в рейсе НИС «Посейдон» в рамках российско-германского проекта ГИСЕБ. В состав комплекса исследований входило изотопное определение возраста по ^{14}C и ^{210}Pb , палинологический, фазовый рентгеноструктурный, гранулометрический и рентгенофлуоресцентный анализы. Получены новые детальные данные об изменении климата и развитии Гданьского бассейна от беллинга до субатлантики. Рассчитаны скорости осадконакопления от 0,37 до 1,62 мм/год. Для установления основных вариаций солёности вод бассейна, обусловленных палеогеографическими изменениями в позднем плейстоцене – голоцене, определялись концентрации брома в осадках. Было показано, что формирование Иольдиевого моря в пределах Гданьского бассейна не сопровождалось увеличением солёности вод. По полученным данным об изменении палеосолёности вод и возрастании придонной гидродинамической активности зафиксировано несколько трансгрессивно-регрессивных циклов литоринового времени.

Ключевые слова: *палеогеография, палео-Балтика, изотопное датирование, геохимия донных отложений.*

Core-section 12.38 m long was sampled in the Gdansk Basin within the cruise of r/v «Poseidon» in the frame of Russian-German Project GISEB. Down-core analysis of the sediment core includes ^{14}C and ^{210}Pb dating, X-ray diffraction, pollen, grain-size and geochemical analysis. A high-resolution record of climate and environment in the Gdansk Deep from the Belling to Subatlantic has been established. The fluctuations of the rate of sedimentation during Late Pleistocene – Holocene from 0.37 to 1.62 mm/yr have been specified. The main tendencies of relative salinity variations of the water during the Late Pleistocene – Holocene have been determined using analysis of bromine concentrations in the sediments. Formation of the Yoldia Sea did not follow to salinity increasing within the Gdansk Basin. Several stages of Litorina transgression-regression cycles were fixed, as well as episodes of increasing of near-bottom current activity in Gdansk Basin.

Key words: *paleo-geography, paleo-Baltic, ^{14}C and ^{210}Pb dating, geochemistry of sedimentation.*

С момента деградации последнего оледенения примерно 14 000 лет назад акватория современного Балтийского моря прошла несколько этапов развития, представляя собой то замкнутую пресноводную озерную систему, то морскую, связанную с океаном. Существование этих этапов стало результатом изменения климата, стадийной деградации последнего оледенения, эвстатического подъема уровня Мирового океана, гляцио-изостатического воздымания Балтийского щита, неотектонических движений и др. факторов. Глобальное потепление климата и современный подъем уровня Мирового океана, по-видимому, положили начало новой фазе развития Балтийского моря. Спрогнозировать изменения геологической среды на этом новом этапе возможно

лишь основываясь на палеогеографическом анализе развития бассейна. Один из оптимальных объектов для подобных исследований – отложения впадин Балтийского моря, так как они характеризуются практически непрерывным осадконакоплением и формированием «полных» разрезов.

Гданьская впадина – крупная котловина Юго-Восточной Балтики, отделенная от остальной части моря Готландско-Гданьским порогом и вытянутая в субмеридиональном направлении (рис. 1). Палеогеографические выводы, сделанные на основе изучения разрезов отложений Гданьской впадины в 1970–1980-х годах, наиболее полно представлены в работах АО ИО РАН [1, 19]. В южной части впадины изучен

ряд грунтовых колонок длиной до 15 м. Для определения относительного возраста отложений использовались лито-и хемотратиграфия. Палеосоленость вод Гданьской впадины изучалась методом «эквивалентного бора» [17]. Позднее в отделе морской геологии Польского геологического института были изучены колонки, стратиграфическое расчленение которых опиралось на данные спорово-пыльцевого анализа и на радиоуглеродные датировки [28, 29].

Методика исследований и фактический материал. Грунтовая колонка на станции POS303700 длиной 1238 см отобрана в рейсе научно-исследовательского судна «Посейдон» (Германия) в рамках российско-германского проекта ГИСЕБ «ГИС для моделирования пространственно-временного распределения осадков в зависимости от изменений окружающей среды в Балтийском море».

Станция расположена в юго-восточной части Гданьской впадины (54°49,34 с.ш., 19°11,1 в. д., глубина моря 105,4 м) (рис. 1). Пробоотбор осуществлялся с применением прямой гравитационной грунтовой трубки длиной 15 м с пластиковыми трубами-вкладышами. Для опробования приповерхностных донных осадков использовался пробоотборник-мультикорер.

Геологическое описание разреза проведено во ВСЕГЕИ при извлечении кернов из труб-вкладышей. Пробы на палинологический анализ и геохимические исследования отбирались по разрезу с шагом 8 см, на другие виды анализов – из характерных литостратиграфических слоев.

Геохимическими методами изучено 140 образцов. Пробы высушивались до воздушно-сухого состояния и истирались. Определение Вг, As, Pb, Zn, Cu, Ni, Fe, Mn, Сг проводилось на рентгеновском сканирующем кристалл-дифракционном

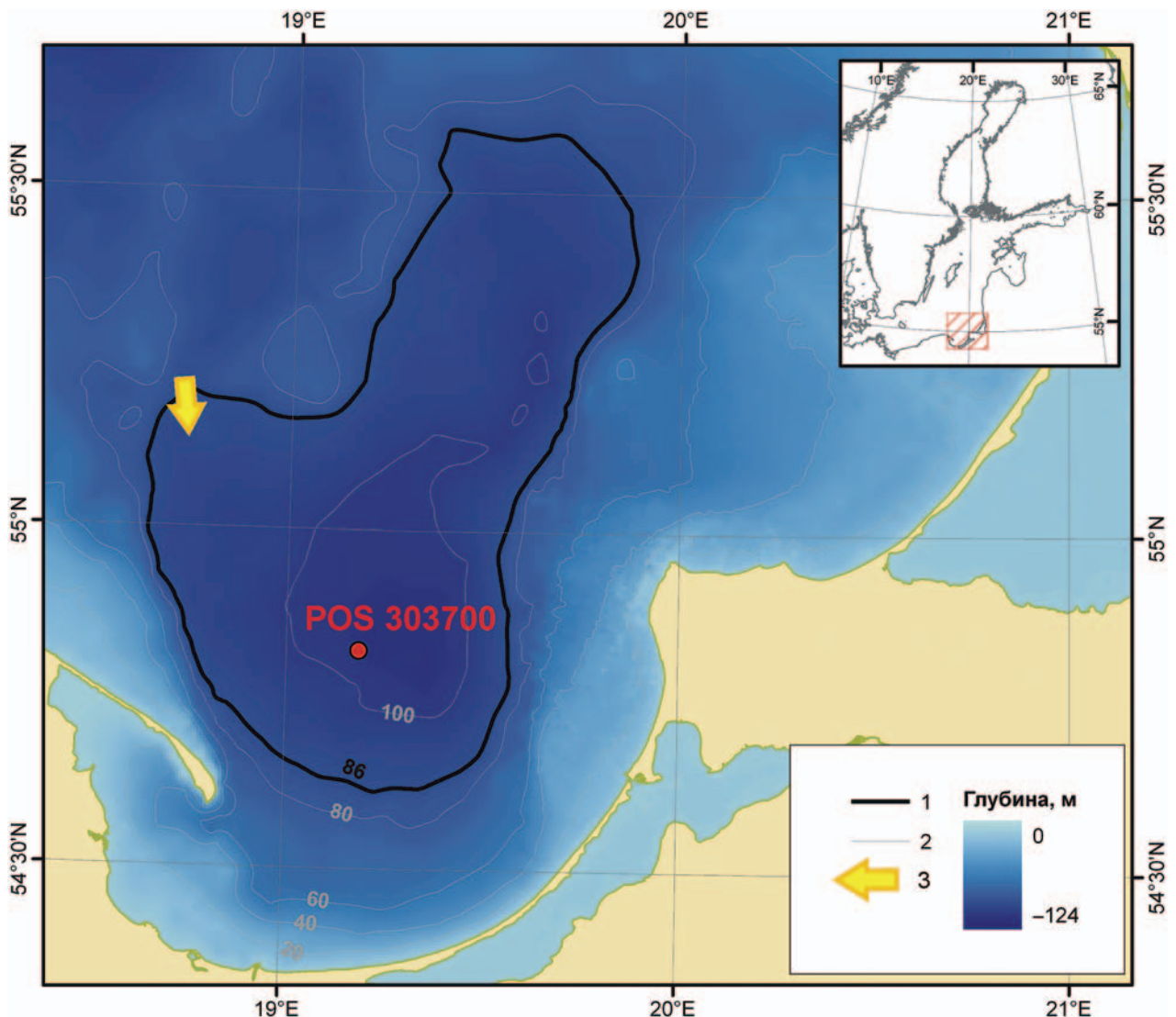


Рис. 1. Положение станции пробоотбора POS 303700

1 – граница Гданьской впадины; 2 – изобаты (м); 3 – зона поступления североморских вод в Гданьскую впадину

спектрометре СРЕКТРОСКАН-005 в отделе региональной геоэкологии и морской геологии ВСЕГЕИ.

Палинологический анализ выполнялся также в отделе региональной геоэкологии и морской геологии ВСЕГЕИ. Изучено 140 образцов при навеске пробы 25 г влажного осадка. Первичная обработка проводилась по методике В. П. Гричука [4]. Образцы просматривались на микроскопе JENAVAL при увеличении в 500 раз. При высокой концентрации спор и пыли подсчитывалось не менее 500 зерен пыли четвертичных древесных растений, одновременно с этим считалась пыльца травянистых, споры и переотложенные формы. При низкой концентрации палиноморфы подсчитывались во всей пробе.

Концентрация спор и пыли в осадке определялась по формуле

$$C = an/0,02bm,$$

где C – количество пыли в 1 г навески; a – объем суспензии в миллилитрах; n – количество подсчитанных зерен; b – количество капель, просмотренных при анализе; 0,02 – объем одной капли в 1 мл; m – навеска породы в граммах.

При построении спорово-пыльцевой диаграммы использовались программы TILIA и TILIA-GRAPH [20]. Процентное содержание таксонов высчитывалось от общего количества четвертичных палиноморф. При интерпретации данных использовался палеоэкологический метод с определением палинокомплексов, отражающих холодные и теплые интервалы. Полученные результаты сопоставлялись с разрезами верхнечетвертичных отложений Балтийского моря и прилегающей суши [6, 8, 12, 14, 19, 26, 28, 29].

Изотопное датирование отложений проводилось в Центре изотопных исследований ВСЕГЕИ по ^{14}C (7 проб) и ^{210}Pb с помощью жидкостно-сцинтилляционного альфа-бета-спектрометра «Quantulus 1220». При радиоуглеродном датировании для перехода к возрасту в календарных годах с помощью программы Calib 5.0 (calib.qub.ac.uk/calib) проведена калибровка по кривой Marine04 [21]. Для определения ^{210}Pb отобраны образцы с интервалов 0–5, 5–10, 15–20, 90–95 и 174–178 см. Последние два образца анализировались для определения фонового равновесного ^{210}Pb .

Гранулометрический анализ производился в лаборатории геоэкологии АО ИО РАН. Для удаления органического вещества проба обрабатывалась перекисью водорода. Содержание фракций от 0,3 до 50 мкм определялось на лазерном анализаторе частиц «Анализетте 22 Компакт». Для диспергирования частиц использовались триполифосфат натрия и обработка суспензии в ультразвуковой ванне «Лаборетте 17». Ситовый анализ (влажный рассев) проводился на вибрационном грохоте «Анализетте 3» (сита с ячейками размером 250, 100, 50 мкм). Результаты лазерного и ситового анализа объединялись с помощью

компьютерной программы Analyzette 22 32Bit Program.

Состав глинистых минералов (< 0,001 мм) определялся для 11 проб в Центральной аналитической лаборатории ВСЕГЕИ с помощью рентгеновского дифрактометра ДРОН-6.

Методика определения солености вод по брому. Для определения солености поровых вод донных отложений впервые был использован элемент группы галогенов – бром. Соотношение $\text{Cl}/\text{Br} = 293$ для иловых вод поверхностных осадков Мирового океана практически одинаково и не отличается от нормального в океанической воде. Для Балтийского моря отношение Cl/Br в поверхностных осадках составляет 230 [13]. Расчетным путем может быть получено содержание Cl по разрезу отложений. Во многих работах, в частности В. А. Снежинского [11], приводится эмпирическая формула для пересчета содержания хлора на общую соленость океанических вод: $S \text{‰} = 0,03 + 1,805\text{Cl} \text{‰}$. Для Балтийского моря коэффициенты, входящие в эту формулу, были уточнены: $S \text{‰} = 0,115 + 1,80655\text{Cl} \text{‰}$ [7]. Использование этой формулы возможно при условии, что коэффициенты принципиально не менялись на протяжении изучаемого геологического времени, что применимо для морских условий седиментации. Для пресноводных систем это не совсем корректно. Экспериментальным путем оценена вероятная погрешность формулы для осадков бассейнов с малой соленостью. С этой целью определялась концентрация Br в современных осадках российской части Куршского залива, где соленость вод не превышает 1 ‰. Рассчитанная соленость оказалась сопоставимой с данными по солености вод этой части залива [9]. Предлагаемая методика может быть использована и для относительно пресноводных условий.

При расчете минерализации вод палеобассейнов по Br учитывалось, что его концентрации в донных отложениях обусловлены не только соленостью вод. Источники осадочного материала, формирующего отложения изучаемого разреза, разнообразны по составу, поэтому использование кларковых содержаний Br для учета его исходного содержания в отложениях едва ли применимо. Более оправданно в качестве фоновой использовать концентрацию Br в отложениях длительно существующего пресноводного бассейна, находящегося в сходных с Балтийским морем геолого-геоморфологических и природных условиях. Для этого было выбрано Ладожское озеро, фоновая концентрация Br для алевропелитовых осадков которого составляет 0,00046 ‰, что близко к его кларку для средних (0,00045 ‰) и осадочных (0,0006 ‰) пород. Вычитая фоновые значения Br из содержаний, полученных при анализе проб, можно предположить, что оставшийся Br обусловлен изменением минерализации вод морского бассейна. Все расчетные значения солености указаны с учетом поправки на фоновую концентрацию Br .

Результаты исследований. При обобщении литологического описания данных гранулометрического, спорово-пыльцевого и радиоуглеродного анализов выполнено стратиграфическое расчленение колонки.

Литостратиграфия. Первичное описание разреза донных отложений с учетом ранее выделенных в Гданьской впадине литокомплексов [1] позволило по характерным внешним вещественным признакам выделить четыре основных литостратиграфических горизонта, соотносимых со стадиями развития Балтийского моря.

В нижней части разреза (11,35–12,38 м) отложения представлены уплотненными серыми глинами с включениями микролинз глинисто-алевритового состава и отдельных алевропесчаных зерен. Этот горизонт, очевидно, формировался на стадии развития Балтийского ледникового

озера (БЛО). Ледник находился уже на значительном расстоянии от Гданьского бассейна, о чем свидетельствует отсутствие слоистости ленточного типа.

Выше по разрезу (8,35–11,35 м) отложения представлены светло-серыми довольно монотонными алевроглинами с включениями микролинз и тонких прослоев, обогащенных алевритовым и песчаным материалом. Максимальное обогащение алевропесчаным материалом, по данным гранулометрического анализа, отмечено на интервале 9,35–11,35 м (рис. 2). В средней части пачки (горизонт 10,07–10,08 м) выделяется прослой алевропеска. Аналогичная пачка мощностью 40 см ранее описана как дренажная лента в основании колонки АК-2682 [1]. Ее происхождение предположительно связывалось с дренажем (спуском) БЛО в начале аллереда. По современным представлениям, спуск БЛО проявился в Юго-Восточной Балтике дважды: в конце аллереда и в конце позднего дриаса [27]. На интервале 7,93–8,35 м выделен переходный слой.

Для вышележащего горизонта (6,44–7,93 м), отложения которого представлены серыми, иногда почти черными алевроглинами (глинами), характерной чертой является присутствие стяжений аморфных сульфидов (гидротроилита). Размеры стяжений обычно не превышают одного миллиметра. Распределение их по разрезу неравномерно, иногда хаотично, часто они концентрируются в виде линзоватых прослоев мощностью от 2 до 20 мм. Наличие стяжений гидротроилита в разрезе обычно служит диагностическим признаком, характерным для отложений Анцилового озера и Иольдиевого моря. На интервале 6,15–6,44 м выделен переходный слой, представленный оливково-серыми алевроглинами с редкими линзоватыми полосами шириной 1–5 мм темного цвета и черными микростяжениями.

В верхней части разреза от отметки 6,15 м и до приповерхностного слоя отложения представлены оливково-серыми алевроглинистыми илами. Осадки характеризуются ритмичной полосчатостью (слоистостью), местами они пористые, газонасыщенные и содержат остатки раковин. Отмечается запах сероводорода. Отложения здесь накапливались в позднем голоцене в условиях литоринового и постлиториновых морских бассейнов.

Инертность изменения процессов седиментации в условиях консерватизма среды глубоководных впадин Балтийского моря, вероятно, объясняет некоторое «отставание» смены внешних литологических признаков отложений в разрезе от фактической смены палеогеографических условий. Аналитические исследования позволили уточнить положение границ между горизонтами, формировавшимися на различных стадиях развития Балтики.

Радиоизотопное датирование. Пробы отложений, отобранные с глубины более 650 см, характеризуются низким содержанием углерод-

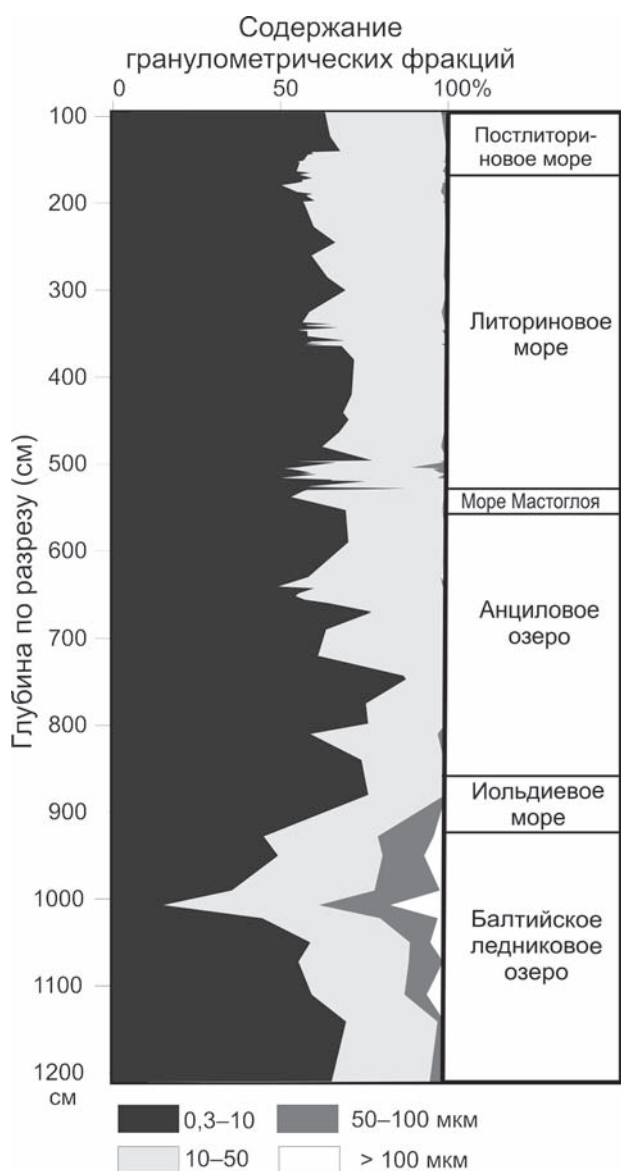


Рис. 2. Распределение гранулометрического состава по разрезу POS 303700-7

Таблица 1
Результаты радиоуглеродного датирования

Интервал по разрезу (см)	Радиоуглеродный возраст (BP)	Календарный возраст (BP)
200–205	4710 ± 130	5136–4814
258–270	5080 ± 130	5574–5297
298–310	5750 ± 120	6277–6013
377–390	6450 ± 150	7135–6779
480–495	7110 ± 200	7785–7417
620–635	8520 ± 130	9318–8993
1040–1060	11 800 ± 500	13 839–12 826

содержащего вещества (менее 1 вес. %). Наиболее достоверными могут считаться датировки, выполненные для отложений, залегающих выше этой отметки (табл. 1). Средняя скорость накопления отложений в позднем плейстоцене – голоцене, рассчитанная по результатам датировок, составляет 0,84 мм/год, изменяясь от 0,37 до 1,62 мм/год. В расположенной в 7,5 км к северу колонке 2EL96 [29] скорости накопления отложений, также по результатам радиоуглеродного датирования, находятся в пределах 0,5–0,7 мм/год. Современная скорость седиментации, по данным определения Pb^{210} для поверхностного слоя осадков, 4 ± 2 мм/год (табл. 2), что связано с разуплотненностью поверхностных осадков по сравнению с нижележащими горизонтами.

Палинологический анализ и биостратиграфия. Спорово-пыльцевой спектр поверхностной пробы (0–5 см) характеризуется преобладанием пыльцы древесных растений (93% от общего состава определенных форм), среди которых больше всего пыльцы *Pinus sylvestris* Linnaeus (61%), количество пыльцы *Betula* sect. *Albae* Regel составляет 19, *Alnus* sp. – 7, *Picea abies* (Linnaeus) H. Karst – 4%, пыльца родов *Salix*, *Corylus*, *Tilia*, *Ulmus*, *Fagus*, *Quercus* встречается в единичных экземплярах. В группе травянистых (5% от общего состава) преобладают Poaceae, Chenopodiaceae, *Artemisia* sp. Среди спор (2% от общего состава) доминирует Polypodiaceae. Основной занос спор и пыльцы в исследуемый район происходит из двух физико-географических зон – смешанных (хвойно-широколиственных) и широколиственных лесов.

Анализ распределения четвертичных спор и пыльцы позволил выделить в разрезе десять палинологических зон, сопоставляемых с климатическими периодами Блитта – Сернандера (рис. 3, табл. 3). Абсолютный возраст границ между периодами принят по Я. Мангеруду [24]. На границе между 5- и 6-й палинозонами резко увеличивается концентрация четвертичных спор и пыльцы от 23–51 до 218–1080 зерен/г. Помимо четвертичных палиноморф, обнаружены переотложенные позднемеловая – палеогеновая и неогеновая пыльца родов *Gleichenia*, *Taxodium*, *Ilex*, *Rhus* и группы *Normapolles*, а также хвойных и покрытосеменных растений. Максимальное их содержание отмечается в низах разреза (до 13%).

Таблица 2
Возраст приповерхностных отложений по ^{210}Pb

Интервал опробования, см	Возраст
2,5 (0–5)	0 ± 6
7,5 (5–10)	29 ± 10
17,5 (15–20)	32 ± 13

Начиная с 6-й палинозоны и выше по разрезу переотложенные палиноморфы встречаются единично и не во всех пробах.

Палинозона 1 отражает перигляциально-тундровую и тундровую растительность с доминированием древовидных и кустарниковых видов берез, полыней, верескоцветных и злаковых. Климат в то время был холодный и сухой. Растительность потепления беллинга (13 000–12 000 лет ^{14}C BP) и похолодания среднего дриаса (12 000–11 800 лет ^{14}C BP) в приледниковых областях отображается в похожих спорово-пыльцевых комплексах. Палинозона 2 свидетельствует о потеплении и смене перигляциально-тундровых растительных формаций тундровыми, а дальше к югу лесотундровыми, ценозами. Похолодание позднего дриаса (палинозона 3) вновь привело к появлению перигляциально-тундровой растительности. Пыльца сосен, обнаруженная в этой палинозоне, отличается меньшими размерами, часто плохой сохранности, что свидетельствует о дальнем заносе этой пыльцы. В пребореальном периоде произошло потепление, обусловившее постепенное развитие лесных ландшафтов (палинозоны 4 и 5). Дальнейшее потепление в бореале (палинозона 6) вызвало широкое распространение сосновых лесов. Климатический оптимум голоцена зафиксирован спорово-пыльцевыми спектрами в первой половине атлантического периода (палинозона 7). Палинокомплекс этого времени свидетельствует о максимальном развитии широколиственных лесов со значительной примесью дуба, вяза, липы и орешника, которые занимали большую площадь, чем в настоящее время, граница их ареала была смещена к северу. Во второй половине атлантического периода (палинозона 8) в связи с увеличением сухости климата площадь широколиственных лесов сократилась, а сосновых увеличилась. О наиболее благоприятных климатических условиях во время формирования палинозон 7 и 8 свидетельствует также максимальная концентрация спор и пыльцы. В суббореальном периоде (палинозона 9) площадь распространения широколиственных лесов сокращалась. Тем не менее, судя по большему, чем в поверхностной пробе, содержанию пыльцы дуба и липы, было теплее, чем в настоящее время. В субатлантический период (палинозона 10) произошло похолодание, о чем свидетельствует уменьшение количества пыльцы широколиственных деревьев.

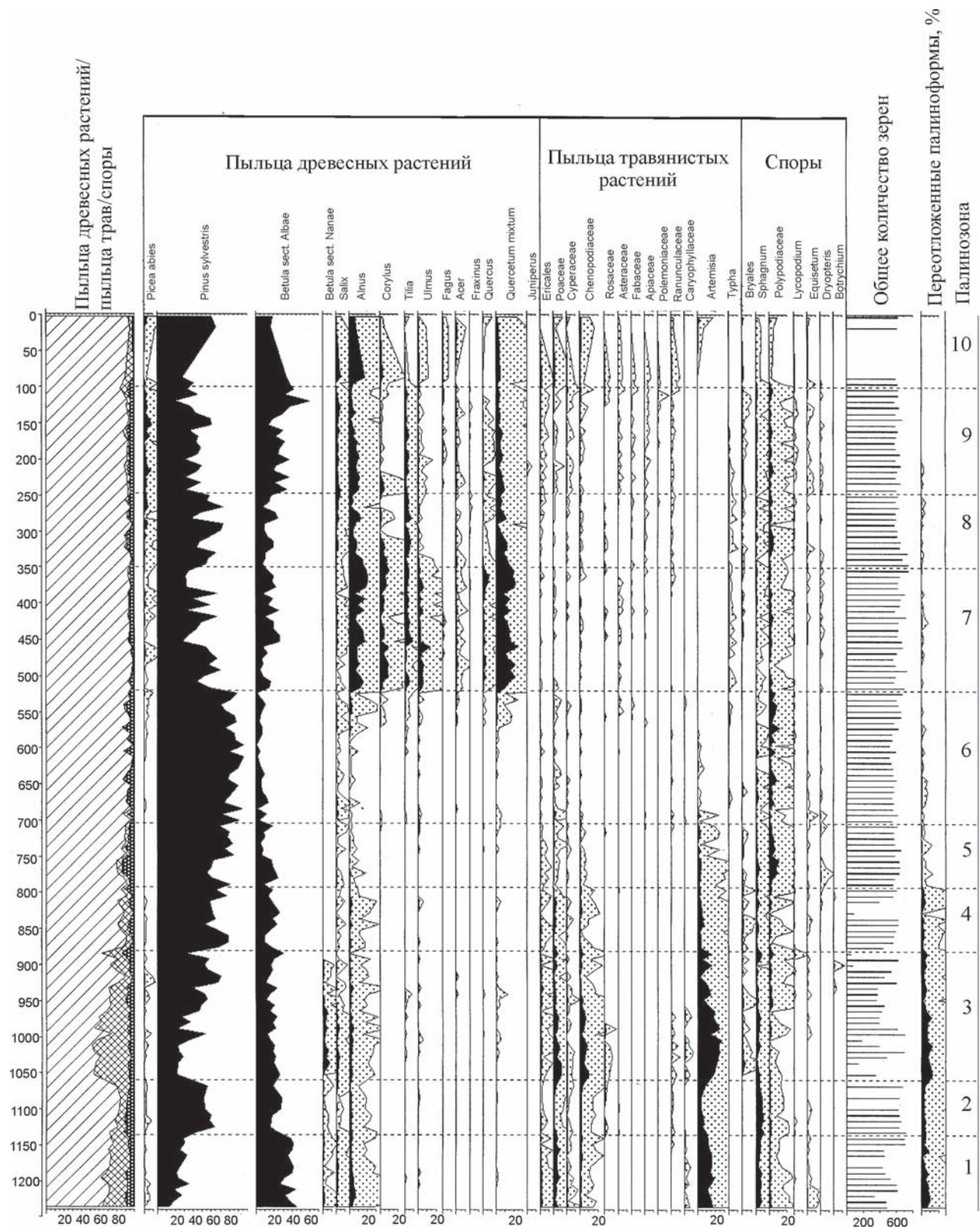


Рис. 3. Спорво-пыльцевая диаграмма разреза POS 303700-7

**СОПОСТАВЛЕНИЕ ПАЛИНОЛОГИЧЕСКИХ ЗОН И КЛИМАТИЧЕСКИХ ПЕРИОДОВ
БЛИТТА – СЕРНАНДЕРА**

Палино-зона	Интервал по разрезу (см)	Руководящие палиноформы	Климатические периоды [24]
10	99–0	<i>Pinus – Fagus</i>	Субатлантика (SA)
9	246–99	<i>Pinus – Betula sect. Albae – Picea</i>	Суббореал (SB)
8	350–246	<i>Pinus – Quercetum mixtum</i>	Поздний атлантический период (AT ₃)
7	520–350	<i>Pinus – Alnus – Quercetum mixtum</i>	Ранний атлантический период (AT ₁₋₂)
6	704–520	<i>Pinus</i>	Бореал (BO)
5	793–704	<i>Pinus – Polypodiaceae</i>	Поздний пребореал (PB ₂)
4	880–793	<i>Pinus – Betula sect. Albae</i>	Ранний пребореал (PB ₁)
3	1060–880	<i>Betula sect. Nanae – Artemisia</i>	Поздний дриас (DR ₃)
2	1135–1065	<i>Pinus – Betula sect. Albae – Sphagnum</i>	Аллеред (AL)
1	1236–1135	<i>Betula sect. Albae – Betula sect. Nanae – Artemisia</i>	Беллинг – средний дриас (BÖ–DR ₂)

Концентрация брома и соленость. График распределения Br наглядно показывает высокую степень дифференциации содержания Br по разрезу (рис. 4). Исходя из предпосылки о том, что подавляющая часть Br в осадках обусловлена его нахождением в поровых водах, все же была определена возможная связь его концентраций в пробах с содержанием глинистых минералов, обладающих значительной сорбционной способ-

ностью. По данным рентгеноструктурного анализа, более 45% глинистой фракции отложений представлено иллитом, равномерно распределенным по разрезу. Аналогичное распределение по разрезу имеют смектит (0–4%) и хлорит (15–20%). Наибольшая неоднородность распределения по разрезу характерна для каолинита (рис. 4). Корреляционный анализ показал, что значимая зависимость между содержанием Br и

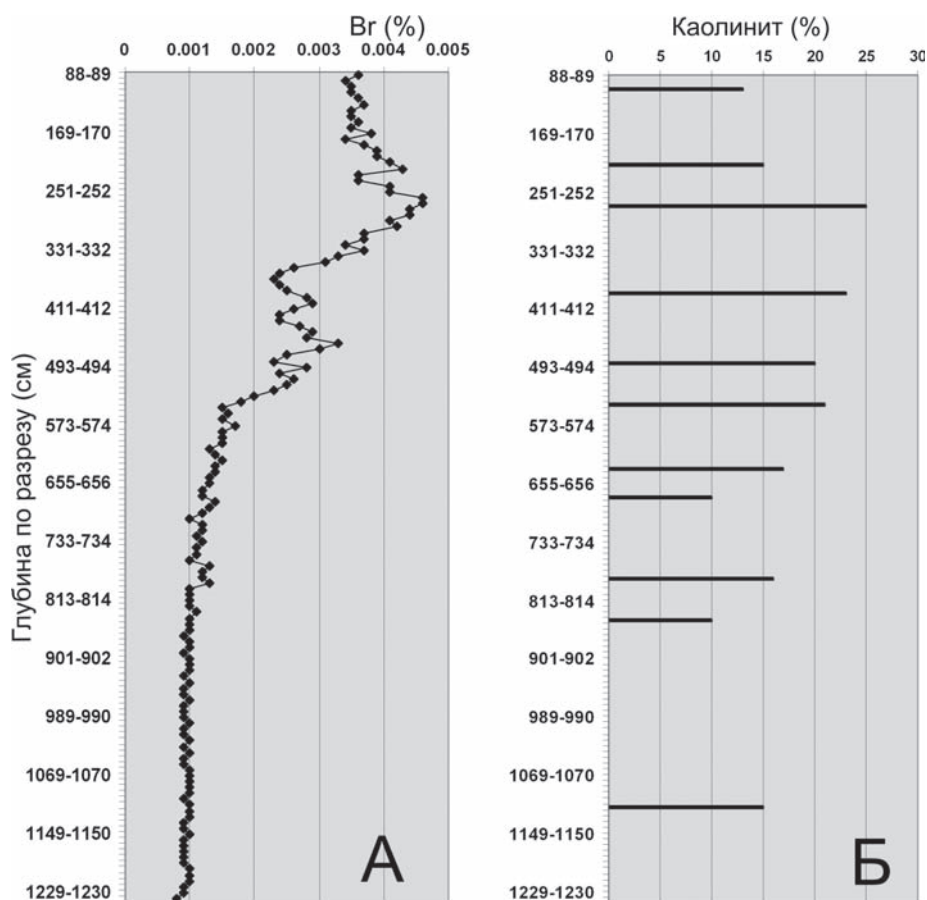


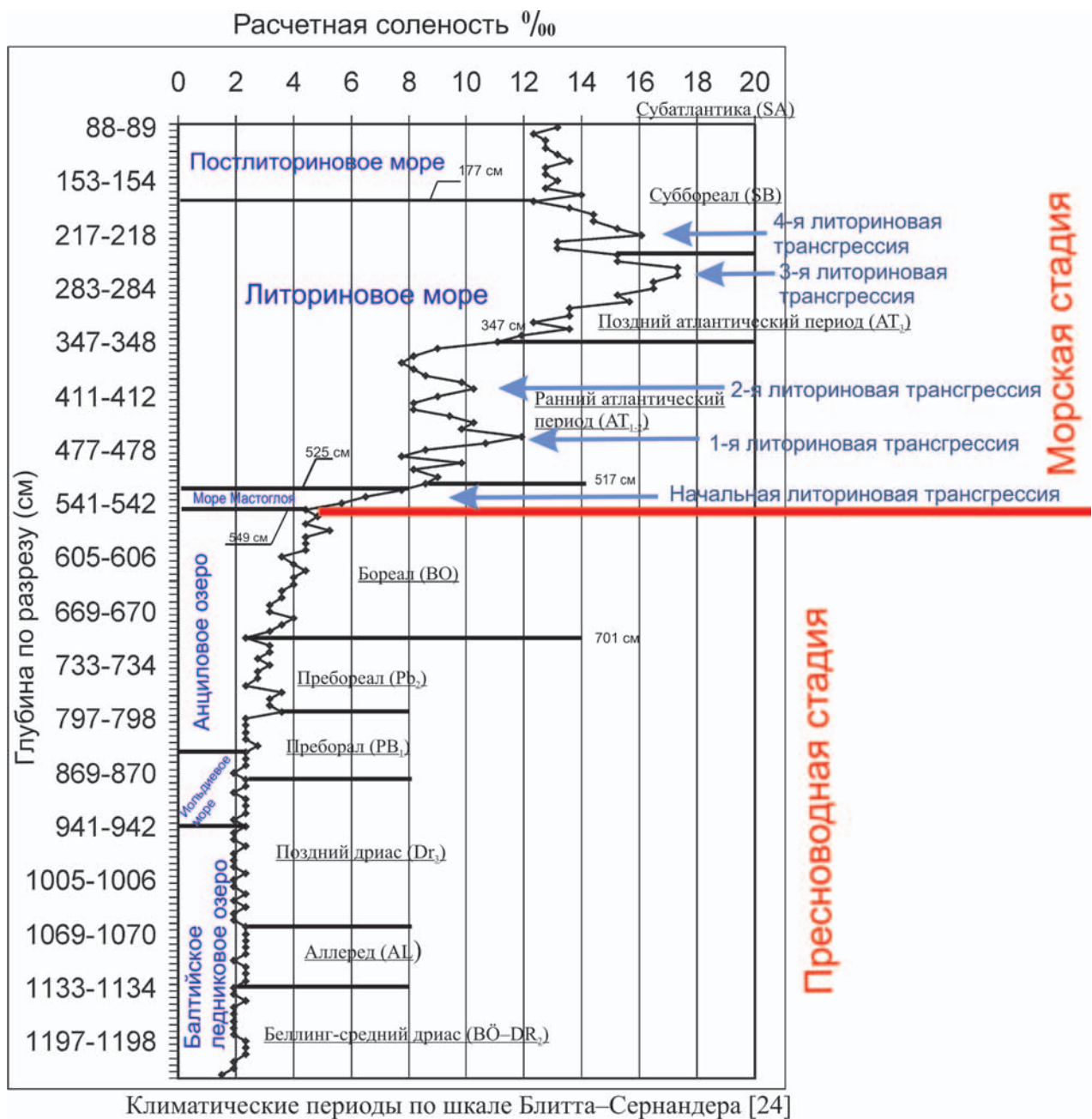
Рис. 4. Распределение по разрезу содержаний (%): брома в отложениях (А); каолинита в глинистой фракции < 0,001 мм (Б)

глинистых минералов отсутствует. Органическое вещество также способно накапливать Вг. В верхней части исследуемого разреза (0–80 см) содержание органического углерода ($C_{орг}$) достигает 1–3%, и естественно, что при этом происходит накопление Вг. Ниже содержание $C_{орг}$ варьирует от 0,02 до 0,22%, и, как показал корреляционный анализ, не имеет заметного влияния на накопление Вг, т. е. определяющим параметром накопления Вг служит соленость водоема во время осадконакопления, а не сорбционная способность донных отложений.

Распределение брома по вертикальному разрезу и соответствующее изменение расчетной соле-

ности донных осадков (рис. 5), с учетом данных по абсолютному возрасту, позволяют выделить несколько временных интервалов, обусловленных палеогеографическими изменениями в процессе развития бассейна Балтийского моря.

В нижней части разреза (беллинг) отмечается слабая тенденция повышения концентрации Вг и расчетной солености. Однако в целом в отложениях, накопившихся до завершения раннего пребореала, т. е. во время существования Балтийского ледникового озера (БЛО) и до начальной стадии Анцилового озера, распределение концентрации Вг имеет однородный характер, расчетная соленость остается незначительной и



Климатические периоды по шкале Блитта–Сернандера [24]

Рис. 5. Распределение расчетной солености поровых вод по разрезу грунтовой колонки POS 303700-7

практически не меняется, составляя около 2‰. Неизменность концентрации Вг в отложениях, сопоставимых по возрасту со временем существования Иольдиевого моря, по отношению к отложениям БЛО и начальной фазы Анцилового озера дает возможность утверждать, что в Гданьской котловине иольдиевая стадия развития Балтики практически не проявилась. Это подтверждают данные, полученные по результатам диатомового анализа грунтовых колонок о том, что соленость вод Иольдиевого моря в пределах Гданьской впадины была незначительной [2, 5]. Лишь на границе между ранним и средним пребореалом, что приблизительно соответствует возрасту 9200 лет (¹⁴С ВР), отмечено повышение солености до 4‰ (рис. 5). Продолжительность этого периода повышенной солености немногим более 200 лет.

Во второй половине анциловой стадии, начиная с границы между поздним пребореалом и бореалом, вплоть до отметки 549 см отмечается плавное повышение концентрации Вг до 0,0015‰ и солености до 4‰. Последнее говорит о постепенном расширении связи с океаном, что совпадает с данными А. И. Блажчишина [1] о том, что в позднюю фазу развития Анцилового озера было солоноватым.

От отметки 549 см, примерно соответствующей возрасту 7700 лет ¹⁴С ВР, наблюдается скачкообразный рост солености осадков от 2 до 9‰. Происходит коренная смена пресноводных озерных условий морскими солоноватоводными. В работе «Геология Балтийского моря» [3] приводятся данные о том, что примерно 8000 лет назад, благодаря эвстатическому подъему уровня океана, воды Северного моря стали интенсивно поступать через Датские проливы в Балтику. Дата этого события у различных авторов колеблется от 8000 до 8500 календарных лет ВР [15, 16, 22]. Учítывая, что процесс поступления соленых океанических вод растянут во времени и пространстве, эта дата согласуется с полученными нами результатами, определяющими начало морского периода, или первой литориновой трансгрессии, по резкому росту солености, примерно 7700 лет ¹⁴С ВР. Некоторые авторы выделяют этот период как море Мастоглоя [18]. Завершение этой фазы, очевидно, приходится на отметку 509 см (около 7340 лет ¹⁴С ВР), выше которой градиент изменения солености принимает знакопеременный характер, и в целом соленость стабилизируется. Этот возраст можно считать началом развития собственно Литоринового моря. В работе Ш. Усиновича [27] дата начала литориновой фазы 7500 лет ¹⁴С ВР.

Собственно Литориновое море характеризуется четырьмя пиками максимумов солености, вероятно, обусловленных периодами максимального водообмена с океаном, т. е. морскими трансгрессиями. Три пика приходятся на атлантический период. Два пика, расположенные на отметках 461–462 см (приблизительно 6700 лет

¹⁴С ВР, 0,0033‰ Вг, соленость 12‰) и 403–404 см (приблизительно 6475 лет ¹⁴С ВР, 0,0029‰ Вг, соленость 10‰), приходятся на АТ₁₋₂. Самый значительный пик с максимумом в интервале 259–268 см (5080 лет ¹⁴С ВР) с концентрацией Вг 0,0046‰ и соленостью до 17‰, достигнутый во время климатического оптимума послеледниковья, приходится на АТ₂. Последний, четвертый пик максимума солености 16‰, расположенный на отметке 217 см, относится к раннему суббореалу (около 4640 лет ¹⁴С ВР).

Предположение о связи максимумов солености Литоринового моря с процессами трансгрессии согласуется с данными других исследователей, выделяющих несколько трансгрессивно-регрессивных циклов, хотя количество этих циклов разнится у разных авторов. В Швеции разные авторы выделяют следы четырех – шести трансгрессий [15], в Литве трех [16]. На берегах Германии [23] обнаружены следы четырёх трансгрессий литоринового времени. Первая из них произошла в начале, вторая в середине, а третья в конце атлантического периода. Четвертую трансгрессию относят к суббореальному времени.

Завершающий этап развития Литоринового моря отмечается заметным падением его солености. Это объясняется прежде всего тектоническим поднятием земной коры в районе Датских проливов, что привело к снижению притока соленых вод [1]. Этот процесс сопровождался эвстатической регрессией Литоринового моря. Возрастная граница между литориновым и постлиториновым этапами по разным источникам находится в интервале от 4500 до 4000 лет ¹⁴С ВР. Это хорошо согласуется с нашими результатами, показывающими, что начиная с отметки 217 см наблюдается интенсивное и значительное по амплитуде падение концентрации Вг с локальным минимумом солености – 12‰ в районе отметки 177–178 см, соответствующей возрасту около 4200 лет ¹⁴С ВР. Выше по разрезу содержание брома в осадке и его соленость относительно стабилизируются. С этого времени Балтика практически принимает современный облик.

Математическая обработка данных. Целью статистической обработки данных о распределении химических элементов в разрезе, проведенной с использованием факторного анализа методом главных компонент, была попытка выяснения ассоциативных связей между элементами в процессе седиментогенеза на различных этапах развития Балтики. Рассматривались выборки, характеризующие распределение данных по интервалам разреза, связанным с двумя основными этапами – существенно пресноводным и морским.

Для морских условий анализ распределения факторных нагрузок позволяет выделить две ассоциации элементов (рис. 6, а). Первая ассоциация представлена Zn, Ni, Cu, Co, вторая – Fe₂O₃, MnO, As, Cr, Вг, как и Pb, не входит ни в одну из выделенных ассоциаций и является антагонистом

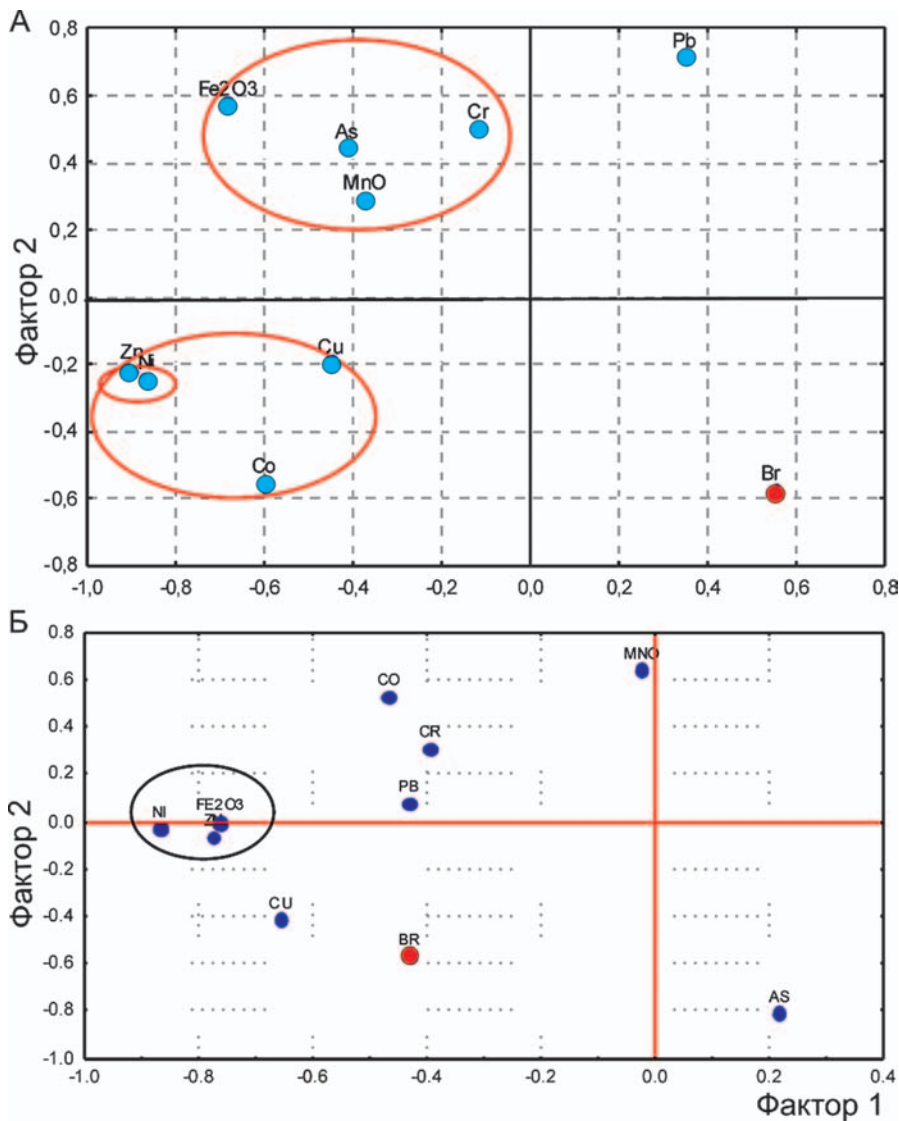


Рис. 6. Диаграммы факторных нагрузок по выборкам, характеризующим литориновую-постлиториновую морскую стадию (А) и пресноводную фазу Анцилового озера (Б)

по отношению к другим элементам. Антагонизм Br говорит о том, что он мало связан с исходным терригенным материалом донных отложений и не вовлечен в процессы аутигенного минералообразования, а его аккумуляция в отложениях имеет наложенный характер и зависит в первую очередь от минерализации придонных и поровых вод.

Результаты факторного анализа данных по выборке, характеризующей озерные, существенно пресноводные условия, показали, что Br не проявляет антагонистических свойств по отношению к другим элементам. К примеру, в условиях пресноводной анциловой стадии он входит в обширную группу элементов, имеющих значимую связь с первым фактором (рис. 6, б). Следовательно, в пресноводных условиях содержание Br в отложениях обусловлено не минерализацией вод, а преимущественно его входением в терригенные и аутигенные минералы.

Течения. Глубинная циркуляция в Балтийском море определяется североморскими водами, ко-

торые в придонном слое медленно перетекают из впадины во впадину. В глубинных слоях средняя скорость переноса составляет всего несколько сантиметров в секунду. Вместе с тем, при больших заточках североморских вод (события «major inflows») и их перетоках через пороги между впадинами могут возникать быстрые (струйные) течения, которые препятствуют седиментации и способны эродировать поверхность дна [10]. В процессе седиментации в движущейся среде происходит сепарация осадочных частиц по гидравлической крупности. Для рассматриваемых условий гранулометрическая фракция 10–20 мкм [25] наиболее чувствительна к колебаниям средней скорости придонного течения. Очевидно, что оценка скорости палеотечений по гранулометрическому составу осадков возможна только при однородности условий поступления осадочного материала. Относительный консерватизм условий седиментации в Гданьской впадине позволяет проследить изменения активности придонных течений в позднем голоцене. Поскольку точка

отбора колонки POS 303700-7 находится вблизи седловины Гданьско-Готландского порога, через который осуществляется водообмен с западными бассейнами Балтики (рис. 1), можно предположить, что седиментация здесь подвержена влиянию североморских вод, а большая глубина моря исключает влияние ветровых течений.

По изменению параметров гранулометрического состава отложений выявлены четыре периода усиления придонных течений (рис. 7). Первый приходится на завершающий этап анциловой стадии, на протяжении которого многие исследователи отмечают трансгрессию солоноватого водоема с увеличением солености на 2 ‰. Второй интервал практически совпадает с фазой Мастоглоя. Он представляет собой переход от озерных к морским условиям с лавинообразным ростом солености до 9 ‰. Третий период можно отождествить с фазой активизации литориновой трансгрессии во второй половине атлантического времени и ростом солености до 12 ‰. Четвертый период приурочен к завершению литориновой стадии, регрессии моря и переходу к стадии пост-Литоринового моря. В данном случае повышению гидродинамической активности соответствует падение солености от 16 до 13 ‰, что свидетельствует о возможном изменении режима затоков соленых североморских вод, которые напрямую уже не достигали Гданьской впадины. Сюда в виде придонных течений попадали менее соленые воды, вытесняемые при затоках из западных впадин Балтики.

Выводы

1. Палинологический анализ позволил выделить в разрезе 10 палинозон, сопоставимых с климатическими периодами Блитта–Сернандера и отражающих этапы развития палеоклимата региона на протяжении последних 13 000 лет. В совокупности с данными изотопного датирования это позволило уточнить положение литостратиграфических границ и рассчитать скорости осадконакопления, изменяющиеся от 0,37 до 1,62 мм/год.

2. Впервые показано, что элемент группы галогенов Vg может служить индикатором палеосолености поровых вод донных отложений и соответственно палеосолености бассейна.

3. Со времени существования Балтийского ледникового озера и до завершающих стадий развития Анцилового озера распределение концентрации брома имеет однородный характер с расчетной соленостью около 2 ‰, что подтверждает пресноводность Гданьской котловины в иольдиевую стадию.

4. Начальный этап развития Литоринового моря (море Мастоглоя) – переход от относительно пресноводных озерных условий к морским – характеризуется резким повышением концентрации брома и расчетной солености до 9 ‰.

5. Собственно Литориновое море характеризуется четырьмя пиками максимумов солености,

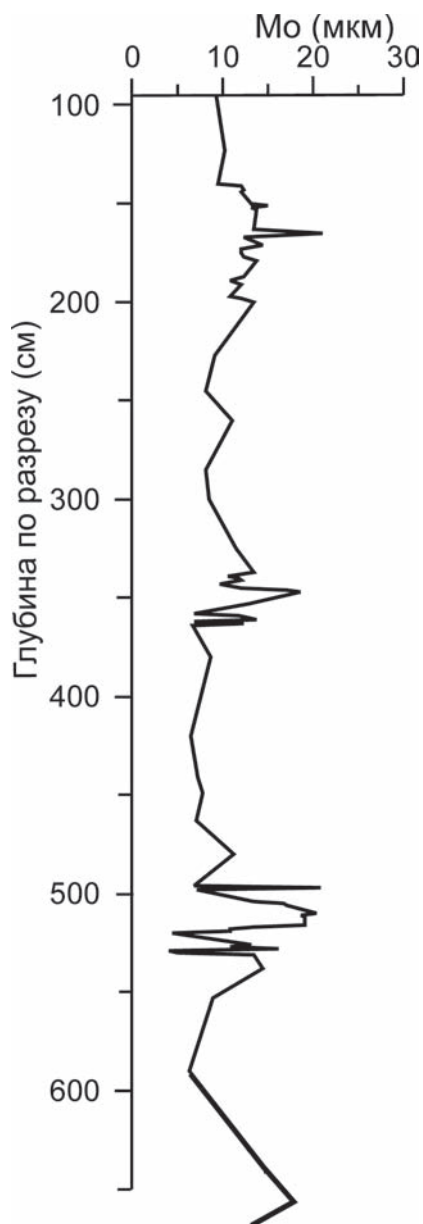


Рис. 7. Распределение модальной гранулометрической размерности (Mo) по разрезу POS 303700-7 в интервале 100–660 см

связанными с морскими трансгрессиями. Максимальные значения солености (до 17 ‰) приходятся на вторую половину атлантического периода.

6. Анализ распределения гранулометрического состава отложений голоцена позволил выделить по разрезу четыре интервала, когда отложения накапливались в условиях относительно повышенной придонной гидродинамической активности, связанной с проявлением трансгрессивно-регрессивных фаз развития Балтики, установленных по резким изменениям градиента солености.

Исследования выполнены в рамках госконтракта № К-41.25.04.05.004. Часть аналитической

обработки осуществлена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант РФФИ-BONUS 08-05-92420). Авторы выражают глубокую благодарность Е. В. Валигурас, К. А. Груздову, Д. В. Дорохову, Е. В. Зыкиной и В. Ф. Сапеге, принимавшим участие в проведении аналитических работ, а также Я. Харфу и Е. М. Емельянову — организаторам проекта ГИСЕБ.

1. Блажчишин А. И. Палеогеография и эволюция позднечетвертичного осадконакопления в Балтийском море. — Калининград: Янтарный сказ, 1998. — 160 с.
2. Блажчишин А. И., Давыдова Н. Н., Квасов В. В., Хомутова В. И. Спорово-пыльцевой и диатомовый анализ 4-х колонок донных отложений южной и центральной Балтики // *Baltica*. 1974. Т. 3. — С. 119–126.
3. Геология Балтийского моря / Ред. В. К. Гуделис, Е. М. Емельянов. — Вильнюс: Моклас, 1976. — 370 с.
4. Гричук В. П., Заклинская Е. Д. Анализ ископаемых пыльцы и спор и его применение в палеогеографии. — М.: Географгиз, 1948. — 222 с.
5. Кессл Х. Я., Давыдова Н. Н., Блажчишин А. И. Пыльца и диатомовые из колонок глубоководных впадин Балтики // Изв. АН Эстонской ССР. Сер. химия, геология. 1973. № 4. — С. 345–353.
6. Клейменова Г. И., Хомутова В. И., Вишневская Е. М. Палинологический и диатомовый анализ донных отложений Балтийского моря // Позднеледниковая история и седиментогенез окраинных и внутренних морей. — М.: Наука, 1979. — С. 40–46.
7. Ляхин Ю. И. Современное экологическое состояние морей СНГ: Учебное пособие. — СПб.: Гидрометеиздат, 1994. — 55 с.
8. Малясова Е. С., Спиридонова Е. А. О некоторых вопросах методики спорово-пыльцевого анализа четвертичных отложений Северо-Запада // Палинология в геологических исследованиях Прибалтики и Балтийского моря. Рига: Зинатне, 1983. С. 9–13.
9. Рыбохозяйственный кадастр трансграничных водоемов России (Калининградская область) и Литвы / Отв. ред. С. В. Шабаев, М. М. Хлопников, А. В. Соколов. — Калининград: Изд-во «ИП Мишуткина», 2008. — 197 с.
10. Сивков В. В., Свиридов Н. И. О связи эрозионно-аккумулятивных форм донного рельефа и придонных течений в Борнхольмской впадине Балтийского моря // *Океанология*. 1994. Т. 34. 2. — С. 294–298.
11. Снежинский В. А. Практическая океанография (работы в открытом море). — Л.: Гидрометеиздат, 1951. — 559 с.
12. Стелле В. Я., Авдеева-Федосеева И. Я., Ефимов А. Н., Савваитов А. С. Палиностратиграфия донных осадков юго-восточной части Балтийского моря // Палинология в континентальных и морских геологических исследованиях. — Рига: Зинатне, 1976. — С. 102–118.

13. Шишкина О. В. Геохимия галогенов в морских и океанических осадках и иловых водах. — М.: Наука, 1969. — 118 с.
14. Якубовская И. Я., Стелле В. Я., Неймане М. К. Корреляция позднеледниковых спорово-пыльцевых спектров Западной Прибалтики и Балтийского моря // Палинология в геологических исследованиях Прибалтики и Балтийского моря. — Рига: Зинатне, 1983. — С. 58–60.
15. Berglund B. E. The postglacial shore displacement in Eastern Blekinge, Southeastern Sweden // *Sveriges Geol. Undersökning*. 1964. Series C599. — 47 p.
16. Bitinas A., Damusyte A. Littorina sea at the Lithuanian maritime region // *Polish Geol. Inst. Spec. Pap.* 2004. Vol. 11. — P. 37–46.
17. Blazhchishin A. I. New data on the Baltic Paleohydrology during Late Pleistocene // *Baltica*. 1982. Vol. 7. — P. 173–178.
18. Eronen M. Late Weichselian and Holocene shore displacement in Finland // *Shorelines and isostasy*. Inst. of British Geographers, Spec. Publ. 16. 1983. — P. 183–207.
19. Geology of the Gdansk Basin. Baltic Sea / Ed. E. M. Emelyanov. Kaliningrad: Yantarnyj skaz, 2002. — 496 p.
20. Grimm E. C. TILIA and TILIA-GRAF. PC spreadsheet and graphics software for pollen data // INQUA Working Group on Data-Handling Methods. 1990. Newsletter 4. — P. 5–7.
21. Hughen K. A., Baillie M. G. L., Bard E. et al. Marine04 Marine Radiocarbon Age Calibration, 0–26 Cal Kyr BP // *Radiocarbon*. 2004. 46. P. 1059–1086.
22. Krog H. The Quaternary history of the Baltic, Denmark // *The Quaternary history of the Baltic*. Uppsala, 1979. P. 207–217.
23. Lampe R., Janke W. The Holocene sea level rise in the Southern Baltic as reflected in coastal peat sequences // *Polish Geol. Inst. Spec. Pap.* 2004. Vol. 11. P. 19–30.
24. Mangerud J., Andersen S. T., Berglund B. E., Donner J. J. Quaternary stratigraphy of Norden, a proposal for terminology and classification // *Boreas*. 1974. N 3. P. 109–128.
25. McCave I. N. Sedimentology and stratigraphy of box cores from the HEBBLE site on the Nova Scotian continental rise // *Marine Geology*. 1985. 66. P. 56–89.
26. Nilsson T. Standartpollendiagramme und ¹⁴C Datierungen aus dem Agerud Mosse in Mittleren Schonen // *Lunds Univ. Drsskrift*. 1964. Avd. 2. Bd. 59 (7). 54 p.
27. Uscinowicz S. Relative sea level changes, glacio-isostatic rebound and shoreline displacement in the Southern Baltic // *Polish Geol. Inst. Spec. Pap.* 2003. Vol. 10. 79 p.
28. Zachowicz J. Quaternary geological profiles (II). Pl. XVIII // *Geological atlas of the Southern Baltic*, 1: 500 000 (Ed. J. E. Mojski et al.). Warszawa: Panstw. Inst. Geol., 1995.
29. Zachowicz J., Miotk-Szpiganowicz G., Kramarska R. et al. A critical review and reinterpretation of bio-, litho- and seismostratigraphic data of the Southern Baltic deposits // *Polish Geol. Inst. Spec. Pap.* 2008. Vol. 23. P. 117–138.

Григорьев Андрей Глебович — ст. науч. сотрудник ВСЕГЕИ. <Andrey_Grigiryev@vsegei.ru>.

Жамойда Владимир Александрович — вед. науч. сотрудник ВСЕГЕИ. <Vladimir_Zhamoida@vsegei.ru>.

Спиридонов Михаил Александрович — зав. отделом ВСЕГЕИ. <Michail_Spiridonov@vsegei.ru>.

Шарапова Алла Юрьевна — ст. науч. сотрудник ВСЕГЕИ.

Сивков Вадим Валерьевич — директор Атлантического отделения ИО РАН. <sivkov@kaliningrad.ru>.