

УДК 551.35:550.4:551.79

## ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПЛЕЙСТОЦЕНОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ АТЛАНТИЧЕСКОГО ОКЕАНА

© 2024 г. М. А. Левитан\*, Т. А. Антонова, Л. Г. Домарацкая, А. В. Кольцова

*Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН,  
ул. Косыгина, 19, Москва, 119991 Россия*

*\* e-mail: m-levitan@mail.ru*

Поступила в редакцию 05.10.2023 г.

После доработки 20.11.2023 г.

Принята к публикации 28.12.2023 г.

В настоящем геохимическом обзоре на материале отчетов по рейсам Международного проекта глубоководного бурения (фазы DSDP, ODP, IODP) и других литературных данных для основных типов плейстоценовых отложений Атлантики приводятся таблицы по среднему арифметическому химическому составу, средневзвешенному химическому составу, скоростям накопления и абсолютным массам химических компонентов. Эти таблицы можно использовать для сравнительного анализа с осадками этого же и других стратонов в иных океанических бассейнах, а также с отложениями палеоокеанов на континентах. Среди литогенного вещества выявлено доминирование терригенной матрицы. Методами математической статистики установлены основные геохимические ассоциации и главные факторы, определяющие химический состав изучаемых отложений. Подсчитаны массы оксидов петрогенных элементов и ряда редких элементов в осадках плейстоценового возраста. Получено представление о среднем химическом составе плейстоцена Атлантического океана.

**Ключевые слова:** Атлантический океан, плейстоцен, донные отложения, геохимия

**DOI:** 10.31857/S0024497X24030019, **EDN:** xwprut

Данный геохимический обзор входит в цикл публикаций о геохимических особенностях плейстоценовых отложений Мирового океана, начатый нашей статьей по Индийскому океану [Левитан и др., 2023]. Введение в учение о химическом составе земной коры представлений о средневзвешенном химическом составе различных ее составляющих [Ронов и др., 1990] позволяет существенно детализировать существующие взгляды на эту тему.

В книге [Левитан, 2021] удалось рассчитать средневзвешенный литологический состав осадков плейстоцена в Атлантическом океане. Такая информация необходима для получения эталонных данных (в табличном виде) о средневзвешенном химическом составе плейстоценовых отложений Атлантического океана и тесно связанных с этим параметром средних скоростях накопления и абсолютных масс химических компонентов. Это и является целью настоящей статьи. Для достижения указанной цели сначала необходимо решить две задачи: 1) создать базу данных и 2) рассчитать средний арифметический

химический состав для основных типов отложений плейстоцена в Атлантике.

Ранее в научной литературе такого рода цели и задачи не описывались. Их достижение требуется для создания основы сравнительного анализа внутри плейстоценового стратона Мирового океана, а также для балансовых расчетов в системе континенты–океаны. Кроме того, результаты расчета средних арифметических химических составов могут быть использованы, например, для сравнения с ними составов предполагаемых океанических осадочных пород в разрезах континентов, в частности в районе развития палеоокеана Мезотетис.

### ФАКТИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ

В качестве фактического материала для выполнения данной работы использована, главным образом, информация по химическому составу осадков плейстоцена Атлантики, содержащаяся в отчетах по рейсам Международного проекта глубоководного бурения (фазы DSDP, ODP,



Гемипелагические глины охарактеризованы анализами из статей [Дубинин, Римская-Корсакова, 2011; Дубинин, Розанов, 2001; Емельянов, 1982; Емельянов, Романкевич, 1979; Емельянов и др., 1975; Левитан, Дитрих, 1990; Левитан и др., 1990а, 1990б, 2008; Тримонис, 1995; Cunningham, Kroopnick, 1985; Debrabant et al., 1979; Donnelly, 1980; Emel'yanov, 1977; Emel'yanov et al., 1978; Hetzel et al., 2006; Lacasse et al., 1996; Latimer, Filippelli, 2001; Lu et al., 2000; Matsumoto, 1983; Murdmaa et al., 1978; Pickering, Stow, 1986; Wang et al., 1990].

Химический состав терригенных турбидитов охарактеризован в работах [Емельянов и др., 1975; Donnelly, 1980; Murdmaa et al., 1979; Pickering, Stow, 1986; Saito, 1998].

Данные по химическому составу морских песков представлены в публикациях [Емельянов, 1982; Емельянов, Романкевич, 1979; Емельянов и др., 1975; Saito, 1998].

Для кокколитовых глин и илов химические анализы взяты из статей [Дубинин, Розанов, 2001; Емельянов, 1982; Емельянов, Романкевич, 1979; Емельянов и др., 1975; Левитан и др., 1990а; Лисицын и др., 1977; Chamley et al., 1979; Cronan, 1977; Dean, Parduhn, 1984; Debrabant et al., 1980; Donnelly, 1980; Latimer, Filippelli, 2001; Matsumoto, 1983; Migdisov et al., 1980; Murdmaa et al., 1978; Pickering, Stow, 1986; Timofeev et al., 1979; Varentsov, 1979; Wang et al., 1990].

Фораминиферово-кокколитовые глины и илы охарактеризованы анализами из статей [Дубинин, Римская-Корсакова, 2011; Дубинин, Розанов, 2001; Дубинин и др., 2013; Емельянов, 1982; Емельянов, Романкевич, 1979; Емельянов и др., 1975, 1989; Левитан и др., 1990а, 1990б; Лисицын и др., 1977; Cronan, 1977; Dean, Parduhn, 1984; Debrabant et al., 1979; Donnelly, 1980; Donnelly, Nalli, 1973; Emel'yanov, 1977; Latimer, Filippelli, 2001; Lu et al., 2000; Murdmaa et al., 1978, 1979].

Для бентогенных и карбонатно-обломочных отложений анализы взяты из работ [Емельянов и др., 1975; Лисицын и др., 1977; Malone, 2000; Murray et al., 2016].

Карбонатные турбидиты охарактеризованы анализами из публикаций [Donnelly, 1980; Jarvis et al., 1998; Murdmaa et al., 1978; Murray et al., 2016; Rodehorst et al., 1998].

Для характеристики диатомовых глин и илов были использованы анализы из статей [Емельянов, 1982; Емельянов, Романкевич, 1979; Емельянов и др., 1975; Левитан и др., 1990б; Лисицын и др., 1977; Dean, Parduhn, 1984; Donnelly, 1980; Emel'yanov, 1977; Latimer,

Filippelli, 2001; Tarney, Donnellan, 1977; Varentsov et al., 1983].

В группу вулканогенных отложений входят вулканогенные алевриты, вулканогенные турбидиты и вулканические пеплы. Химические анализы для их характеристики использованы из работ [Емельянов, 1982; Емельянов и др., 1975; Lacasse et al., 1996; Lackschewitz et al., 1994; Schmidt et al., 2020; Wallrabe-Adams, Lackschewitz, 2003].

Следует указать на то, что в целом Международный проект глубоководного бурения начался именно в Атлантическом океане еще в 1968 г., и это обстоятельство объясняет непривычно “старый” возраст значительного числа литературных ссылок. Кроме того, большинство отечественных работ по химическому составу молодых осадков Атлантики было опубликовано исследователями Института океанологии им. П.П. Ширшова АН СССР в 1970-х гг. и естественно, что эти данные также учтены в нашей работе.

## МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Применявшиеся методы исследования точно соответствуют тому, что было подробно рассмотрено в предыдущей статье об Индийском океане [Левитан и др., 2023], и это избавляет авторов от необходимости повторяться. Отметим, что для работы с выборкой использовались методы математической статистики из пакета Statgraphics plus версия 5. Основной задачей являлось определение средних арифметических содержаний каждого проанализированного элемента для каждой выбранной литологической градации.

Необходимо указать, что в качестве статистически достоверных значений средних арифметических содержаний нами приняты только те содержания, которые основаны на не менее 7 анализах [<https://habr.com/ru/post/339798>]. Применялись также корреляционный и факторный анализы.

Дополнительно отметим, что встречавшиеся в литературе содержания петрогенных элементов были пересчитаны на содержания оксидов этих элементов; указанные в приведенных ниже таблицах содержания  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  соответствуют валовым значениям; наконец, мы выбраковывали встречавшиеся “ураганные” содержания.

Укажем на необходимость точного определения литотипа каждой пробы, для которой есть данные химических анализов, с помощью всех доступных аналитических результатов. При этом авторы использовали классификацию

вещественно-генетических осадков Мирового океана из работы [Безруков, Лисицын, 1960] и описание видов красных глин [Скорнякова, Мурдмаа, 1968]. Как уже указывалось в монографии [Левитан, 2021], для расчета количественных параметров на основе построенных обзорных литолого-фациальных карт оказалось необходимым объединение множества литотипов в более крупные ассоциации осадков, которые были названы типами отложений. Например, пелагические глины объединяют эв-, миопелагические глины и цеолитовые глины.

Жанр геохимического обзора позволяет не останавливаться на детальных описаниях множества химико-аналитических методов, использованных авторами указанных литературных источников. При этом нельзя не отметить, что данные применявшегося по отношению к осадкам, полученным в ходе четырех первых рейсов DSDP, метода нейтронно-активационного анализа на медленных (14 МэВ) нейтронах пришлось исключить из рассмотрения, т.к. суммы оксидов петрогенных элементов, как правило, заметно превышали 100%.

Всего в нашей выборке по осадкам Атлантики учтены результаты анализа более 2500 проб, основанного на примерно 20 000 элементоопределений. Около половины анализов взято из отчетов по глубоководному бурению, а половина — из других литературных источников. Среди последних необходимо особенно отметить книгу [Емельянов и др., 1975], в которой практически все пробы, подвергшиеся химическим анализам, имеют также гранулометрические и, часто, минералогические характеристики.

## ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

### *Средний химический состав*

В табл. 1 и 2 представлены результаты расчета средних арифметических содержаний петрогенных и редких элементов в плейстоценовых отложениях Атлантического океана. Эти таблицы свидетельствуют о значительных колебаниях содержаний исследованных элементов в каждом из изученных типов осадков. Такие колебания вызваны как возрастными изменениями, связанными с эволюцией основных осадкообразующих процессов и флюктуациями параметров седиментации, так и пространственными факторами (сменой питающих провинций, фациальной изменчивостью и т.д.).

В течение плейстоцена вырос поток литогенного вещества, карбонатов и биогенного опада, резко уменьшилась роль пелагических глин [Левитан, 2021]. В то же время хорошо была выражена фациальная изменчивость, которая наиболее ярко представлена материалами по химическому составу морских песков и крупных алевроитов. В частности, обращают на себя внимание высокие содержания U в этом типе отложений, развитых в верхней части континентального склона Южной Гренландии [Saito, 1998].

Наш опыт [Левитан и др., 2023] показал, что интересные результаты приносит сравнение пар относительно близких по составу типов осадков. Частные от деления средних содержаний химических компонентов в этих парах назовем коэффициентами сравнения (КС).

Рассмотрим сначала КС при делении средних арифметических содержаний элементов в пелагических глинах на этот же параметр в гемипелагических глинах. Уместно отметить, что в ряде публикаций оба типа глинистых отложений рассматриваются вместе, в рамках единого типа осадков [Ронов и др., 1989; Маккой и др., 2003], что, на наш взгляд, резко противоречит данным фациального анализа [Мурдмаа, 1987] и материалам по абсолютным массам [Левитан, 2021].

Выявлены 4 группы компонентов по КС: 1)  $КС < 0.7$  (CaO, ППП); 2)  $0.7 < КС < 1.4$  (SiO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>, MgO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; V, Cr, Zn, Zr, Be, La); 3)  $1.4 < КС < 2.0$  (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Ba); 4)  $КС > 2.0$  (MnO, Co, Ni, Cu, Mo, Ce).

Компоненты 1-й группы обусловлены тем, что пелагические глины аккумулируются ниже глубины карбонатной компенсации. 2-я группа свидетельствует в целом о большой близости состава обоих типов глинистых отложений (сходной терригенной матрице). При этом необходимо помнить о большей роли гидрогенных форм элементов в пелагических глинах [Гордеев, 2012]. В 3-й группе преобладают полоторные оксиды, что, скорее всего, говорит о совместном действии двух универсальных эмпирических закономерностей: 1) увеличении роли литогенного вещества по сравнению с биогенным при движении осадочного материала от поверхностной водной массы ко дну и 2) сильном возрастании роли гидрогенных форм Fe и Al в ходе геохимической дифференциации в океане в пелагическом направлении [Гордеев, 2012]. Наконец, в группе 4 очевидно доминирование существенно гидрогенной формы MnO — прекрасного сорбента из морской воды для других элементов этой группы.

**Таблица 1.** Средние арифметические содержания химических элементов в плейстоценовых литогенных отложениях Атлантического океана (содержания петрогенных компонентов даны в мас. %, редких элементов – в г/т)

| Компонент                      | 1                             | 2                              | 3                              | 4                             | 5                             |
|--------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| SiO <sub>2</sub>               | 39.20–61.42/52.80<br>(n = 37) | 29.70–73.80/51.14<br>(n = 213) | 37.77–79.27/56.16<br>(n = 178) | 28.20–86.11/56.14<br>(n = 52) | 47.25–75.63/63.22<br>(n = 53) |
| TiO <sub>2</sub>               | 0.18–1.37/0.82<br>(n = 145)   | 0.10–1.90/0.68<br>(n = 438)    | 0.40–3.51/0.86<br>(n = 203)    | 0.05–3.79/0.80<br>(n = 167)   | 0.17–1.99/0.71<br>(n = 63)    |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0.60–43.47/21.65<br>(n = 104) | 6.71–34.10/15.42<br>(n = 264)  | 6.77–21.00/14.02<br>(n = 180)  | 0.02–26.97/10.44<br>(n = 53)  | 7.52–15.20/11.52<br>(n = 61)  |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 1.17–33.52/13.08<br>(n = 175) | 2.18–29.94/9.01<br>(n = 572)   | 2.17–16.76/<br>6.87 (n = 210)  | 0.54–30.14/7.33<br>(n = 215)  | 5.13–33.30/12.92<br>(n = 65)  |
| MnO                            | 0.08–6.63/0.92<br>(n = 170)   | 0.01–0.89/<br>0.12 (n = 486)   | 0.03–0.45/0.13<br>(n = 210)    | 0.01–0.32/0.07<br>(n = 193)   | 0.06–11.90/1.96<br>(n = 62)   |
| MgO                            | 1.22–3.96/2.75<br>(n = 26)    | 1.26–6.31/2.65<br>(n = 224)    | 1.23–7.75/3.17<br>(n = 176)    | 0.34–7.80/3.67<br>(n = 34)    | 0.02–8.80/1.81<br>(n = 59)    |
| CaO                            | 0.14–4.64/3.01<br>(n = 63)    | 0.05–16.33/6.79<br>(n = 540)   | 0.02–14.10/<br>5.09 (n = 195)  | 0.40–14.38/<br>6.89 (n = 69)  | 0.41–16.8/<br>7.08 (n = 58)   |
| Na <sub>2</sub> O              | 0.86–4.29/1.53<br>(n = 31)    | 0.49–6.37/2.12<br>(n = 262)    | 1.03–2.91/1.85<br>(n = 192)    | 0.35–3.31/2.10<br>(n = 47)    | 1.07–6.40/2.81<br>(n = 57)    |
| K <sub>2</sub> O               | 2.08–4.34/3.20<br>(n = 31)    | 0.22–3.82/2.43<br>(n = 266)    | 0.26–3.55/2.39<br>(n = 179)    | 0.23–7.52/1.33<br>(n = 47)    | 0.30–3.9/2.09<br>(n = 53)     |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0.05–2.11/0.36<br>(n = 146)   | 0.01–2.29/0.30<br>(n = 454)    | 0.04–0.69/0.17<br>(n = 193)    | 0.01–15.87/0.80<br>(n = 244)  | 0.02–2.76/0.83<br>(n = 35)    |
| ППП                            | 6.50 (n = 17)                 | 9.57 (n = 16)                  | 10.27 (n = 9)                  | Н.о.                          | 4.88 (n = 65)                 |
| Li                             | –                             | 23–73/47 (n = 24)              | 12–70/49 (n = 118)             | Н.о.                          | Н.о.                          |
| Sc                             | Н.о.                          | 11–15/12 (n = 13)              | 4–16/13 (n = 120)              | Н.о.                          | –                             |
| Sn                             | Н.о.                          | –                              | Н.о.                           | Н.о.                          | Н.о.                          |
| V                              | 67–157/97<br>(n = 21)         | 32–170/103<br>(n = 89)         | 35–194/134<br>(n = 118)        | Н.о.                          | 65–384/171<br>(n = 32)        |
| Cr                             | 53–130/82<br>(n = 92)         | 46–119/85<br>(n = 108)         | 30–163/89<br>(n = 148)         | 10–168/100<br>(n = 10)        | 1–465/128<br>(n = 7)          |
| Co                             | 20–189/81<br>(n = 14)         | 5–27/16<br>(n = 101)           | 5–22/14<br>(n = 123)           | Н.о.                          | 0.2–30/9<br>(n = 7)           |
| Ni                             | 49–184/81<br>(n = 24)         | 14–80/37<br>(n = 108)          | 15–67/47<br>(n = 135)          | 24–36/30<br>(n = 7)           | 26–93/44<br>(n = 25)          |
| Cu                             | 0.01–259/91<br>(n = 26)       | 13–140/41<br>(n = 107)         | 9–45/30<br>(n = 135)           | Н.о.                          | 30–91/49<br>(n = 10)          |
| Zn                             | 0.01–201/88<br>(n = 35)       | 32–144/78<br>(n = 99)          | 16–91/58<br>(n = 17)           | Н.о.                          | 25–191/90<br>(n = 27)         |
| Rb                             | Н.о.                          | 72–129/97<br>(n = 54)          | 3–8/7<br>(n = 9)               | 1–36/14<br>(n = 21)           | 13–32/60<br>(n = 26)          |
| Ga                             | Н.о.                          | 14–25/20<br>(n = 8)            | Н.о.                           | Н.о.                          | –                             |
| As                             | Н.о.                          | 6–12/9<br>(n = 42)             | Н.о.                           | Н.о.                          | Н.о.                          |
| Sr                             | –                             | 63–353/188<br>(n = 86)         | 118–230/165<br>(n = 129)       | 106–460/267<br>(n = 21)       | 84–678/298<br>(n = 45)        |
| Ba                             | 90–865/535<br>(n = 18)        | 41–560/317<br>(n = 86)         | 124–600/493<br>(n = 118)       | 52–555/214<br>(n = 21)        | 190–376/267<br>(n = 17)       |
| Ge                             | 2–7/5 (n = 18)                | Н.о.                           | Н.о.                           | Н.о.                          | Н.о.                          |

Окончание таблицы 1

| Компонент | 1                                        | 2                                       | 3                                      | 4                                     | 5                                     |
|-----------|------------------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| Pb        | —                                        | 7–46/19 ( <i>n</i> = 59)                | Н.о.                                   | 7–10/9 ( <i>n</i> = 7)                | 1056/23 ( <i>n</i> = 25)              |
| Mo        | 1–9/6 ( <i>n</i> = 18)                   | 2–5/3 ( <i>n</i> = 10)                  | Н.о.                                   | Н.о.                                  | 1–3/2 ( <i>n</i> = 19)                |
| Y         | Н.о.                                     | 18–38/23<br>( <i>n</i> = 57)            | 13–39/25<br>( <i>n</i> = 129)          | 14–43/27<br>( <i>n</i> = 21)          | —                                     |
| Zr        | 70–165/125<br>( <i>n</i> = 18)           | 81–190/148<br>( <i>n</i> = 63)          | 78–284/225<br>( <i>n</i> = 9)          | 125–294/202<br>( <i>n</i> = 20)       | 80–957/341<br>( <i>n</i> = 7)         |
| Cs        | —                                        | Н.о.                                    | Н.о.                                   | Н.о.                                  | 0.69–4.87/2.73<br>( <i>n</i> = 23)    |
| Cd        | —                                        | 0.23–6.00/3.26<br>( <i>n</i> = 36)      | Н.о.                                   | Н.о.                                  | Н.о.                                  |
| B         | Н.о.                                     | 54–110/74 ( <i>n</i> = 8)               | Н.о.                                   | Н.о.                                  | Н.о.                                  |
| Nb        | 9.98–86.50/43.12<br>( <i>n</i> = 21)     | Н.о.                                    | 17–34/26<br>( <i>n</i> = 8)            | 5–36/14<br>( <i>n</i> = 21)           | Н.о.                                  |
| Be        | 1–2/1 ( <i>n</i> = 11)                   | 1–2/1.4 ( <i>n</i> = 8)                 | Н.о.                                   | Н.о.                                  | Н.о.                                  |
| Hf        | Н.о.                                     | Н.о.                                    | Н.о.                                   | Н.о.                                  | —                                     |
| La        | 10.70–82.90/41.35<br>( <i>n</i> = 25)    | 27.00–43.20/33.99<br>( <i>n</i> = 18)   | 14.80–46.00/32.49<br>( <i>n</i> = 128) | 9.80–29.40/15.44<br>( <i>n</i> = 14)  | 9.80–57.90/25.36<br>( <i>n</i> = 19)  |
| Ce        | 41.30–220.00/<br>125.57 ( <i>n</i> = 25) | 28.00–102.00/<br>55.48 ( <i>n</i> = 18) | 15.00–85.00/58.79<br>( <i>n</i> = 127) | 24.10–62.10/37.08<br>( <i>n</i> = 14) | 30.60–224.00/81.81<br>( <i>n</i> = 7) |
| Pr        | 2.94–22.60/11.31<br>( <i>n</i> = 21)     | —                                       | 4.88–8.11/6.82<br>( <i>n</i> = 8)      | 3.74–8.01/5.20<br>( <i>n</i> = 14)    | 3.60–28.80/10.29<br>( <i>n</i> = 7)   |
| Nd        | 9.98–86.50/42.92<br>( <i>n</i> = 25)     | 12.00–38.80/29.64<br>( <i>n</i> = 47)   | 11.60–38.30/28.81<br>( <i>n</i> = 8)   | 16.60–31.90/23.77<br>( <i>n</i> = 14) | 13.50–109.00/39.71<br>( <i>n</i> = 7) |
| Sm        | 2.21–20.30/9.55<br>( <i>n</i> = 25)      | —                                       | 2.73–8.84/7.10<br>( <i>n</i> = 9)      | 3.62–8.31/5.61<br>( <i>n</i> = 14)    | 2.60–23.30/8.66<br>( <i>n</i> = 7)    |
| Eu        | 0.48–4.78/2.23<br>( <i>n</i> = 25)       | —                                       | 1.09–2.58/2.14<br>( <i>n</i> = 9)      | 1.56–2.72/1.98<br>( <i>n</i> = 14)    | 0.28–5.00/1.61<br>( <i>n</i> = 7)     |
| Gd        | 2.06–20.60/9.36<br>( <i>n</i> = 25)      | —                                       | 4.02–12.30/9.15<br>( <i>n</i> = 9)     | 5.39–12.90/8.68<br>( <i>n</i> = 14)   | 2.20–21.80/8.11<br>( <i>n</i> = 7)    |
| Tb        | 0.29–2.86/1.28<br>( <i>n</i> = 25)       | —                                       | 0.61–1.62/1.35<br>( <i>n</i> = 12)     | 0.96–1.88/1.34<br>( <i>n</i> = 13)    | 0.35–30.00/5.48<br>( <i>n</i> = 7)    |
| Dy        | 1.72–17.80/7.88<br>( <i>n</i> = 25)      | —                                       | 4.75–9.03/7.95<br>( <i>n</i> = 9)      | 4.69–11.10/8.01<br>( <i>n</i> = 14)   | 2.10–21.10/8.13<br>( <i>n</i> = 7)    |
| Ho        | 0.30–3.55/1.52<br>( <i>n</i> = 25)       | —                                       | 0.96–1.90/1.50<br>( <i>n</i> = 9)      | 0.94–2.27/1.58<br>( <i>n</i> = 14)    | 0.45–4.20/1.60<br>( <i>n</i> = 7)     |
| Er        | 0.81–9.55/4.12<br>( <i>n</i> = 25)       | —                                       | 2.89–5.38/4.47<br>( <i>n</i> = 9)      | 3.26–6.51/4.85<br>( <i>n</i> = 14)    | 1.37–11.40/4.64<br>( <i>n</i> = 7)    |
| Tm        | 0.12–1.28/0.57<br>( <i>n</i> = 25)       | —                                       | 0.42–0.82/0.64<br>( <i>n</i> = 9)      | 0.45–0.91/0.49<br>( <i>n</i> = 14)    | 0.22–1.60/0.70<br>( <i>n</i> = 7)     |
| Yb        | 0.79–8.80/3.66<br>( <i>n</i> = 25)       | —                                       | Н.о.                                   | Н.о.                                  | 1.6010.50/4.58<br>( <i>n</i> = 7)     |
| Lu        | 0.11–1.31/0.54<br>( <i>n</i> = 25)       | —                                       | 0.41–0.75/0.59<br>( <i>n</i> = 9)      | 0.45–0.94/0.69<br>( <i>n</i> = 14)    | 0.25–1.50/0.67<br>( <i>n</i> = 7)     |
| Th        | —                                        | Н.о.                                    | Н.о.                                   | 2.95–4.21/3.59<br>( <i>n</i> = 7)     | 4.60–26.50/13.01<br>( <i>n</i> = 7)   |
| U         | Н.о.                                     | Н.о.                                    | 0.17–22.0/17.02<br>( <i>n</i> = 182)   | 1.88–192.39/55.00<br>( <i>n</i> = 53) | 2.20–9.00/4.61<br>( <i>n</i> = 7)     |

Примечания. Н.о. — не определялся; тире — число проб, меньше 7; ППП — потери при прокаливании; в числителе — колебания значений, в знаменателе — среднее арифметическое; *n* — число проб; 1–5 — типы отложений: 1 — пелагические глины; 2 — гемипелагические глины; 3 — терригенные турбидиты; 4 — морские пески; 5 — вулканогенные отложения.

**Таблица 2.** Средние содержания химических элементов в плейстоценовых биогенных отложениях Атлантического океана (содержания петрогенных компонентов даны в мас.%, редких элементов – в г/т)

| Компонент                      | 1                             | 2     | 3                             | 4     | 5                               | 6                            | 7                            |
|--------------------------------|-------------------------------|-------|-------------------------------|-------|---------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| SiO <sub>2</sub>               | 3.0–53.14/21.66<br>(n = 92)   | 45.05 | 2.01–57.22/21.19<br>(n = 124) | 53.4  | –                               | 3.61–33.3/20.81<br>(n = 99)  | 37.6–67.42/54.09<br>(n = 30) |
| TiO <sub>2</sub>               | 0.05–0.72/0.26<br>(n = 368)   | 0.54  | 0.02–1.90/0.31<br>(n = 241)   | 0.78  | 0.01–0.53/0.16<br>(n = 63)      | 0.07–0.76/0.44<br>(n = 105)  | 0.03–0.73/0.31<br>(n = 251)  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0.5–29.95/11.13<br>(n = 265)  | 23.15 | 0.32–15.20/5.27<br>(n = 140)  | 13.28 | 0.57–27.03/13.48<br>(n = 15)    | 1.2411.70/7.0<br>(n = 98)    | 7.4–39.95/20.28<br>(n = 98)  |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0.09–11.58/4.70<br>(n = 410)  | 9.78  | 0.17–21.74/4.07<br>(n = 307)  | 10.26 | 0.01–8.81/2.66<br>(n = 92)      | 0.46–8.75/3.28<br>(n = 108)  | 1.08–9.84/.22<br>(n = 251)   |
| MnO                            | 0.01–0.66/0.11<br>(n = 398)   | 0.23  | 0.01–0.87/0.13<br>(n = 255)   | 0.33  | 0.002–0.18/0.05<br>(n = 60)     | 0.04–0.14/0.07<br>(n = 104)  | 0.01–0.18/0.06<br>(n = 247)  |
| MgO                            | 0.22–7.66/3.23<br>(n = 203)   | H.o.  | 0.22–4.86/1.50<br>(n = 108)   | H.o.  | 0.0003–3.84/0.44<br>(n = 158)   | 0.40–2.81/1.76<br>(n = 99)   | 1.456.96/.44<br>(n = 89)     |
| CaO                            | 16.85–51.52/<br>28.99 (n=373) | H.o.  | 16.9–54.04/33.74<br>(n = 221) | H.o.  | 16.80–54.64/<br>47.68 (n = 158) | 19.1–50.5/31.35<br>(n = 105) | 0.131–6.58/9.53<br>(n = 189) |
| Na <sub>2</sub> O              | 0.14–3.38/1.42<br>(n = 87)    | 2.95  | 0.14–4.54/1.38<br>(n = 90)    | 3.48  | 0.34–4.54/0.94<br>(n = 143)     | 0.30–2.93/1.79<br>(n = 99)   | 1.304.19/2.90<br>(n = 33)    |
| K <sub>2</sub> O               | 0.14–2.75/1.10<br>(n = 91)    | 2.29  | 0.10–2.19/0.95<br>(n = 96)    | 2.39  | 0.19–2.68/1.32<br>(n = 13)      | 0.23–2.48/1.30<br>(n = 99)   | 0.93–2.75/2.02<br>(n = 34)   |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0.02–0.79/0.32<br>(n = 358)   | 0.67  | 0.02–2.91/0.28<br>(n = 330)   | 0.71  | 0.04–2.91/0.39<br>(n = 72)      | 0.07–0.29/0.23<br>(n = 11)   | 0.05–1.38/0.42<br>(n = 249)  |
| ППП                            | –                             | H.o.  | 17.65 (n = 7)                 | H.o.  | H.o.                            | 7.23 (n = 100)               | 10.97 (n = 8)                |
| Li                             | 6–49/25<br>(n = 33)           | 52    | 3–59/19<br>(n = 47)           | 48    | H.o.                            | H.o.                         | 34–83/61<br>(n = 20)         |
| Sc                             | 4–17/8 (n = 12)               | 17    | 5–15/9 (n = 16)               | 23    | H.o.                            | H.o.                         | 10–21/16<br>(n = 20)         |
| V                              | 5–82/49<br>(n = 58)           | 102   | 7–79/34<br>(n = 53)           | 86    | 43–129/84<br>(n = 9)            | –                            | 71–190/10<br>(n = 22)        |
| Cr                             | 5–96/39<br>(n = 56)           | 81    | 30–98/68<br>(n = 53)          | 171   | H.o.                            | 2–111/57<br>(n = 96)         | 41–60/101<br>(n = 39)        |
| Co                             | 4–39/13<br>(n = 51)           | 27    | 5–50/15<br>(n = 48)           | 38    | H.o.                            | H.o.                         | 6–6/13<br>(n = 26)           |
| Ni                             | 11–62/29<br>(n = 64)          | 60    | 10–75/37<br>(n = 83)          | 93    | H.o.                            | –                            | 18–81/52<br>(n = 36)         |
| Cu                             | 10–92/38<br>(n = 56)          | 79    | 9–81/36<br>(n = 52)           | 91    | 12–46/29<br>(n = 9)             | –                            | 34–193/81<br>(n = 30)        |
| Zn                             | 3–96/43<br>(n = 232)          | 89    | 5–100/40<br>(n = 53)          | 101   | H.o.                            | –                            | 23–137/60<br>(n = 113)       |
| Rb                             | 33–80/57<br>(n = 8)           | 119   | 3–32/13<br>(n = 27)           | 33    | H.o.                            | H.o.                         | 22–98/67<br>(n = 11)         |
| Ga                             | 5–50/15<br>(n = 24)           | 31    | 20–60/25<br>(n = 15)          | 63    | H.o.                            | H.o.                         | 20–537/87<br>(n = 23)        |
| As                             | 4–20/19<br>(n = 12)           | 40    | 1–8/4<br>(n = 28)             | 10    | H.o.                            | H.o.                         | 20–40/23<br>(n = 20)         |
| Sr                             | 65–890/164<br>(n = 203)       | H.o.  | 520–1478/1139<br>(n = 49)     | H.o.  | 3–8321/802<br>(n = 124)         | 666–1640/1135<br>(n = 95)    | 40–360/110<br>(n = 109)      |
| Ba                             | 29–298/70<br>(n = 205)        | 354   | 41–874/275<br>(n = 57)        | 693   | 7–314/156<br>(n = 11)           | 81–662/375<br>(n = 93)       | 34–997/230<br>(n = 108)      |
| Ge                             | 1–5/2 (n = 20)                | 4     | H.o.                          | H.o.  | H.o.                            | H.o.                         | H.o.                         |
| Pb                             | 8–70/22<br>(n = 37)           | 46    | 1–46/15<br>(n = 48)           | 38    | H.o.                            | H.o.                         | 6–50/18<br>(n = 32)          |
| Mo                             | 1–17/6 (n = 29)               | 12    | 1–32/9 (n = 47)               | 23    | H.o.                            | H.o.                         | 7–75/25 (n = 18)             |
| Y                              | 6–18/14<br>(n = 18)           | 29    | 7–36/16<br>(n = 43)           | 40    | H.o.                            | H.o.                         | 10–62/22<br>(n = 33)         |

Окончание таблицы 2

| Компонент | 1                                     | 2     | 3                                    | 4     | 5    | 6    | 7                                    |
|-----------|---------------------------------------|-------|--------------------------------------|-------|------|------|--------------------------------------|
| Zr        | 0.04–172/50<br>( <i>n</i> = 28)       | 104   | 10–119/48<br>( <i>n</i> = 32)        | 121   | Н.о. | –    | 60–192/114<br>( <i>n</i> = 24)       |
| Cs        | Н.о.                                  | Н.о.  | 0.22–1.94/0.87<br>( <i>n</i> = 25)   | 2.19  | Н.о. | Н.о. | Н.о.                                 |
| Cd        | 1–9/2<br>( <i>n</i> = 206)            | 4     | 0.2–15/3.4<br>( <i>n</i> = 48)       | 9     | Н.о. | Н.о. | 0.16–9.00/2<br>( <i>n</i> = 107)     |
| B         | 50–180/115<br>( <i>n</i> = 11)        | 239   | 50–140/95<br>( <i>n</i> = 17)        | 239   | Н.о. | Н.о. | 90–260/167<br>( <i>n</i> = 19)       |
| Nb        | Н.о.                                  | Н.о.  | Н.о.                                 | Н.о.  | Н.о. | Н.о. | 4–16/9 ( <i>n</i> = 11)              |
| Be        | 1.00–3.00/2.80<br>( <i>n</i> = 16)    | 5.82  | 0.07–0.63/0.27<br>( <i>n</i> = 27)   | 0.68  | Н.о. | Н.о. | 2.00–4.00/3.0<br>( <i>n</i> = 20)    |
| W         | Н.о.                                  | Н.о.  | 0.19–1.94/0.79<br>( <i>n</i> = 26)   | 1.99  | Н.о. | Н.о. | Н.о.                                 |
| Tl        | Н.о.                                  | Н.о.  | 0.08–1.54/<br>0.40 ( <i>n</i> = 26)  | 1.01  | Н.о. | Н.о. | Н.о.                                 |
| Bi        | Н.о.                                  | Н.о.  | 0.02–0.62/0.24<br>( <i>n</i> = 20)   | 0.60  | Н.о. | Н.о. | Н.о.                                 |
| La        | 5.00–36.60/6.07<br>( <i>n</i> = 19)   | 33.43 | 7.57–30.00/5.50<br>( <i>n</i> = 32)  | 39.06 | Н.о. | Н.о. | 8.0–31.0/20.29<br>( <i>n</i> = 31)   |
| Ce        | 30.00–97.0/<br>42.54 ( <i>n</i> = 25) | 88.48 | 10.10–87.0/34.55<br>( <i>n</i> = 32) | 87.07 | Н.о. | Н.о. | 8.0–70.0/40.84<br>( <i>n</i> = 31)   |
| Pr        | 3.78–9.10/5.69<br>( <i>n</i> = 8)     | 11.84 | 1.87–9.70/4.27<br>( <i>n</i> = 32)   | 10.76 | Н.о. | Н.о. | Н.о.                                 |
| Nd        | 14.20–60.0/<br>39.08 ( <i>n</i> = 19) | 81.29 | 7.55–38.3/16.85<br>( <i>n</i> = 32)  | 42.46 | Н.о. | Н.о. | 50.0–90.0/52.11<br>( <i>n</i> = 19)  |
| Sm        | 2.71–7.40/4.31<br>( <i>n</i> = 8)     | 8.96  | 1.59–8.77/3.67<br>( <i>n</i> = 32)   | 9.25  | Н.о. | Н.о. | Н.о.                                 |
| Eu        | 0.54–1.57/0.92<br>( <i>n</i> = 8)     | 1.91  | 0.35–1.94/0.82<br>( <i>n</i> = 32)   | 2.07  | Н.о. | Н.о. | Н.о.                                 |
| Gd        | 2.39–6.17/<br>3.70 ( <i>n</i> = 8)    | 7.70  | 1.63–8.55/<br>3.63 ( <i>n</i> = 32)  | 9.15  | Н.о. | Н.о. | Н.о.                                 |
| Tb        | 0.33–0.86/0.51<br>( <i>n</i> = 8)     | 1.06  | 0.23–0.85/0.48<br>( <i>n</i> = 30)   | 1.21  | Н.о. | Н.о. | Н.о.                                 |
| Dy        | 2.01–10.0/4.53<br>( <i>n</i> = 17)    | 9.42  | 1.44–7.24/3.09<br>( <i>n</i> = 32)   | 7.79  | Н.о. | Н.о. | 5.00–18.00/<br>8.95 ( <i>n</i> = 19) |
| Ho        | 0.40–0.99/0.6<br>( <i>n</i> = 8)      | 1.25  | 0.30–1.41/0.62<br>( <i>n</i> = 32)   | 1.56  | Н.о. | Н.о. | Н.о.                                 |
| Er        | 1.04–2.65/1.70<br>( <i>n</i> = 8)     | 3.54  | 0.83–3.80/1.70<br>( <i>n</i> = 32)   | 4.28  | Н.о. | Н.о. | Н.о.                                 |
| Tm        | 0.16–0.36/0.23<br>( <i>n</i> = 8)     | 0.48  | 0.11–0.50/0.23<br>( <i>n</i> = 32)   | 0.58  | Н.о. | Н.о. | Н.о.                                 |
| Yb        | 0.98–2.35/1.79<br>( <i>n</i> = 19)    | 3.72  | 0.72–3.22/1.42<br>( <i>n</i> = 32)   | 3.58  | Н.о. | Н.о. | 2.00–6.00/<br>3.05 ( <i>n</i> = 20)  |
| Lu        | 0.16–0.3/0.23<br>( <i>n</i> = 8)      | 0.48  | 0.09–0.4/0.20<br>( <i>n</i> = 31)    | 0.50  | Н.о. | Н.о. | Н.о.                                 |
| Th        | 3.73–10.86.19<br>( <i>n</i> = 8)      | 12.88 | 0.77–6.22/2.59<br>( <i>n</i> = 26)   | 6.53  | Н.о. | Н.о. | 6.00–30.00/3.15<br>( <i>n</i> = 26)  |
| U         | Н.о.                                  | Н.о.  | 0.13–0.77/0.35<br>( <i>n</i> = 26)   | 0.88  | Н.о. | Н.о. | 10.0–20.0/<br>11.05 ( <i>n</i> = 19) |

Примечания. Н.о. — не определялся; тире — число проб, меньше 7; ППП — потери при прокаливании; в числителе — колебания значений, в знаменателе — среднее арифметическое; *n* — число проб; 1–7 — типы отложений: 1 — кокколито-вые глины и илы; 2 — бескарбонатное вещество кокколито-вых глин и илов; 3 — кокколито-во-фораминиферо-вые глины и илы; 4 — бескарбонатное вещество кокколито-во-фораминиферо-вых глин и илов; 5 — бентогенные и карбонатно-обломочные отложения; 6 — карбонатные турбидиты; 7 — диатомовые глины и илы.

Важные значения имеют также окислительно-восстановительные условия седиментогенеза и раннего диагенеза, существенно окислительные в пелагических глинах и преимущественно восстановительные в гемипелагических глинах. С ними связано, в частности, доминирование в пелагических глинах соединений четырехвалентного Mn в твердом виде и относительное их обогащение аутигенным баритом.

По отношению диатомовых илов и глин к гемипелагическим глинам (по КС) выделены 4 группы компонентов: 1)  $КС < 0.7$  ( $TiO_2$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $MnO$ ,  $Rb$ ,  $Sr$ ,  $La$ ); 2)  $0.7 < КС < 1.4$  ( $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $CaO$ ,  $Na_2O$ ,  $K_2O$ ,  $P_2O_5$ ;  $V$ ,  $Cr$ ,  $Co$ ,  $Zn$ ,  $Ba$ ,  $Pb$ ,  $Mo$ ,  $Zr$ ,  $Ce$ ); 3)  $1.4 < КС < 2.0$  ( $MgO$ ,  $Cu$ ,  $Ni$ ,  $Nd$ ); 4)  $КС > 2.0$  ( $Ga$ ,  $As$ ,  $Be$ ).

Гемипелагические глины относительно диатомовых глин обогащены, вероятно, материалом разноса основных горных пород, однако в целом наблюдается большое сходство состава глинистых осадков. Относительно  $SiO_2$  надо иметь в виду, что в гемипелагических глинах речь идет об алюмосиликатном (главным образом) и кварцевом кремнеземе, а в диатомовых осадках существенную роль играет также биогенный опал. В нашей базе данных среди диатомовых отложений ведущую роль играют диатомовые глины района Намибийского апвеллинга, что и объясняет большую специфику их химического состава. Как известно, в этих фациальных условиях существует гигантская первичная продукция, с которой, по нашему мнению, связаны высокие содержания  $Cu$ ,  $Ni$ ,  $Ga$ ,  $As$ . Относительно невысокие концентрации  $Ba$  обусловлены интенсивным растворением аутигенного барита в сильно восстановительных условиях раннего диагенеза. Вероятно, эти же условия явились причиной низкого содержания  $MnO$ . В составе диатомовых отложений обращает на себя внимание высокая концентрация  $U$ , что связано, вероятно всего, с очень большими содержаниями  $C_{org}$ .

По отношению средних составов кокколито-фораминиферовых глин и илов к средним составам кокколитовых глин и илов выделены 4 группы компонентов по КС: 1)  $КС < 0.7$  ( $Al_2O_3$ ,  $MgO$ ;  $V$ ,  $Rb$ ,  $As$ ,  $Pb$ ,  $Be$ ,  $Nd$ ,  $Dy$ ,  $Th$ ); 2)  $0.7 < КС < 1.4$  ( $SiO_2$ ,  $TiO_2$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $MnO$ ,  $CaO$ ,  $Na_2O$ ,  $K_2O$ ,  $P_2O_5$ ;  $Li$ ,  $Sc$ ,  $Co$ ,  $Ni$ ,  $Cu$ ,  $Zn$ ,  $Y$ ,  $Zr$ ,  $B$ ,  $La$ ,  $Ce$ ,  $Pr$ ,  $Sm$ ,  $Eu$ ,  $Gd$ ,  $Tb$ ,  $Ho$ ,  $Er$ ,  $Tm$ ,  $Yb$ ,  $Lu$ ); 3)  $1.4 < КС < 2.0$  ( $Cr$ ,  $Ga$ ,  $Mo$ ,  $Cd$ ); 4)  $КС > 2.0$  ( $Sr$ ,  $Ba$ ).

В целом распределение КС свидетельствует об очень большом сходстве состава обоих рассматриваемых типов отложений. На наш взгляд, существенного внимания заслуживает

сильный дефицит  $Al_2O_3$  и  $MgO$  в кокколито-фораминиферовых глинах и илах и, напротив, заметное обогащение этих отложений  $Sr$  и  $Ba$ . Вероятно, кальцитовые раковинки фораминифер по сравнению с кальцитом кокколитов обогащены  $Sr$  и обеднены  $Mg$ . Избыток  $Ba$ , скорее всего, вызван биогенным  $Ba$  в виде барита, являющимся хорошо известным индикатором повышенной палеопродуктивности.

Важно отметить, что в кокколитовых илах и глинах, которые накапливаются на большей глубине и в условиях меньшей первичной продукции, чем кокколито-фораминиферовые илы и глины, отмечается высокое содержание  $Al_2O_3$ . Это же явление отмечено ранее и в пелагических глинах по сравнению с гемипелагическими глинами. Возможно, что все это подтверждает известную точку зрения [Лисицын, 1978] о пелагических глинах как нерастворимом остатке после растворения кокколитовых илов. Кроме того, важную роль играло растворение кокколитов в глубинных и придонных водах Атлантики, активизировавшееся во время Среднеплейстоценового перехода [Sexton, Barker, 2012]. Поэтому представляет интерес и отношение бескарбонатного вещества (бкв) обеих главных разновидностей океанических планктон-генных карбонатов.

Выделены 4 группы компонентов по КС: 1)  $КС < 0.7$  ( $Al_2O_3$ ;  $Rb$ ,  $As$ ,  $Be$ ,  $Nd$ ,  $Dy$ ,  $Th$ ); 2)  $0.7 < КС < 1.4$  ( $SiO_2$ ,  $Na_2O$ ,  $K_2O$ ,  $P_2O_5$ ;  $Li$ ,  $Sc$ ,  $V$ ,  $Cu$ ,  $Zn$ ,  $Pb$ ,  $Y$ ,  $Zr$ ,  $B$ ,  $La$ ,  $Ce$ ,  $Pr$ ,  $Sm$ ,  $Eu$ ,  $Gd$ ,  $Tb$ ,  $Ho$ ,  $Er$ ,  $Tm$ ,  $Yb$ ,  $Lu$ ); 3)  $1.4 < КС < 2.0$  ( $TiO_2$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $MnO$ ;  $Co$ ,  $Ni$ ,  $Ba$ ,  $Mo$ ); 4)  $КС > 2.0$  ( $Cr$ ,  $Ga$ ,  $Cd$ ).

В целом бкв основных карбонатных осадков похожи друг на друга. Как и ожидалось, бкв кокколитовых илов и глин обогащены  $Al_2O_3$  и связанными с глиноземом  $Rb$ ,  $Be$ ,  $Th$ . Бкв кокколито-фораминиферовых илов и глин несколько обогащены элементами, которые: 1) можно связать с влиянием изверженных пород основного состава ( $TiO_2$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $Cr$ ); 2) указывают на большую роль гидрогенного вещества ( $MnO$ ,  $Ni$ ,  $Co$ ); 3) обусловлены повышенной палеопродуктивностью ( $Ba$ ,  $Ga$ ).

Сравнение средних арифметических химических составов фораминиферо-кокколитовых илов и глин с карбонатными турбидитами убедительно свидетельствует о том, что эти турбидиты по своему составу являются, по сути дела, теми же илами и глинами, только другого генетического типа по механизму своего образования.

Бентогенные и карбонатно-обломочные отложения в нашей базе данных представлены как почти чистыми карбонатами Багамской возвышенности, так и смесью их обломков с фоновыми планктоногенными карбонатами на склонах этой структуры. Рассматриваемые отложения обогащены CaO и, соответственно, обеднены другими химическими компонентами по сравнению с планктоногенными карбонатными илами и глинами.

Рассмотренные выше осадки (за исключением бентогенных разностей) обладают существенно пелитовой и тонкозернистой структурой. Поэтому логично сравнить глины и бескарбонатное вещество карбонатных илов с хорошо известным эталоном терригенных глин — постархейскими австралийскими глинистыми сланцами (PAAS) [Тейлор, Мак-Леннан, 1988] (рис. 2).

Изучение этого рисунка показало, что в основе всех рассмотренных осадков лежит практически общая терригенная матрица. Определенная специфика в плане повышенных содержаний CaO, естественно, отличает океанические гемипелагические глины и диатомовые отложения, которые аккумулировались выше глубины карбонатной компенсации. По содержаниям MnO, Na<sub>2</sub>O, Co, Ni и, частично, Ga глубоководные отложения заметно превосходят PAAS, а по K<sub>2</sub>O, Cr и Ba — существенно уступают. Таким образом, можно сделать вывод о заметной роли как биогенного фактора (включая повышенную палеопродуктивность), так и гидрогенного фактора осадкообразования в океанических глубоководных отложениях.

Терригенные турбидиты и морские пески по своему среднему химическому составу были нормированы на состав верхней континентальной коры (UCC) [Rudnick, Gao, 2003] (рис. 3). Наблюдается большое сходство содержаний таких, например, компонентов как SiO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO; Sc, Cr, Co, Ni, Y, Zr. В то же время

обращает на себя внимание некоторое обогащение терригенных турбидитов Li и U. Пески обогащены P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и U (в основном за счет Намибийского апвеллинга), а также имеют более высокое отношение SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (за счет кварца?). Турбидиты обеднены Na<sub>2</sub>O, Rb и Sr, а пески — MnO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, Rb, Sr, Ba, Th. В целом рассмотренные типы отложений очень близки по своему химическому составу к UCC. Вероятно предположение об обеднении обломочных осадков плейстоцена Атлантики полевыми шпатами.

Средний состав вулканогенных отложений (см. табл. 1) в нашей базе данных составлен из анализов вулканогенно-обломочных отложений хребта Колбейнсей и анализов вулканических пеплов Исландии. Отсюда не удивительна смесь составов основных вулканитов и кислых пеплов. Вероятно, в этом плане данные табл. 1 надо считать несколько сдвинутыми в сторону геохимии пеплов, т.к. по литологическим данным в этой группе отложений все-таки преобладают вулканогенно-обломочные осадки [Левитан, 2021]. Сравнение среднего арифметического состава этих отложений со средними составами других рассматриваемых типов плейстоценовых осадков Атлантики приводит к заключению, что вулканогенное вещество в определенных фациальных условиях могло служить одним из источников материала по таким, например, элементам как Fe, Mn, Mg, V, Cr, Rb, Pb и целый ряд других.

Подведем предварительные итоги проделанного анализа. Отношение SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в осадках фациального ряда: морские пески (5.38), терригенные турбидиты (4.01), гемипелагические глины (3.32), пелагические глины (2.44) — свидетельствует об уменьшении содержания песчаных и алевритовых фракций и связанных с этим снижении концентрации кварца и повышении содержания алюмосиликатов (особенно глинистых минералов) в процессе осадочной

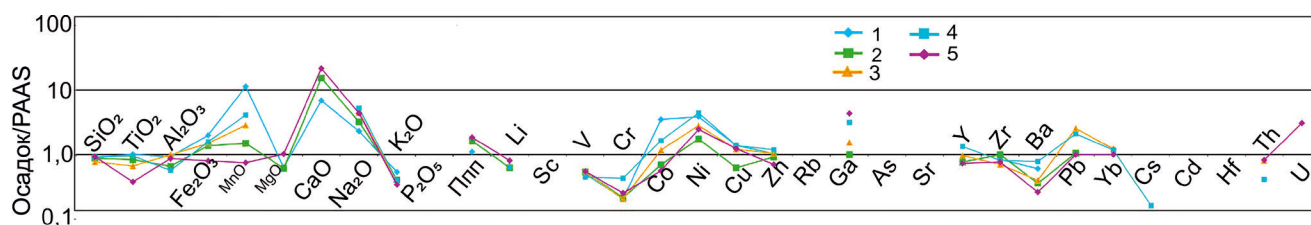
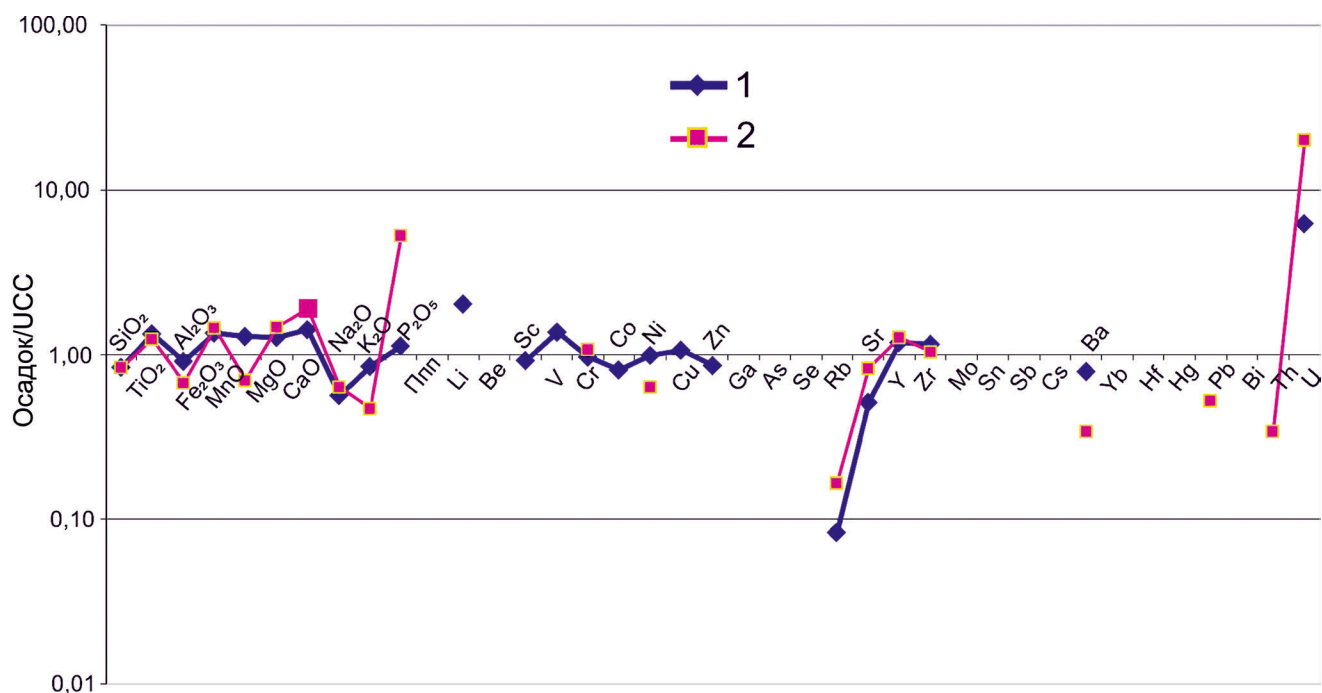


Рис. 2. Спайдер-диаграмма состава плейстоценовых осадков по отношению к PAAS.

1 — пелагические глины; 2 — гемипелагические глины; 3 — бескарбонатное вещество кокколитоидных илов и глин; 4 — бескарбонатное вещество фораминиферо-кокколитоидных илов и глин; 5 — диатомовые илы и глины.



**Рис. 3.** Спайдер-диаграмма состава плейстоценовых обломочных отложений по отношению к UCC. 1 – терригенные турбидиты; 2 – морские пески.

дифференциации при движении от континентов к центру океана.

В глинистых разностях несколько более высокое содержание (по отношению к PAAS)  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  и обогащение более глубоководных и пелагических отложений  $\text{Al}_2\text{O}_3$  могут свидетельствовать о заметной роли продуктов химического выветривания (в том числе латеритного типа?) среди терригенного материала, поставлявшего в плейстоцене в Атлантику. Вероятное обогащение обломочных осадков (по отношению к UCC) кварцем и их обеднение полевыми шпатами также могут быть результатом повышенной роли химического выветривания в среднем на окружающих Атлантику континентах, чем в среднем на Земле. Это предположение логично с учетом огромной роли в поставке терригенного материала с водосбора Амазонки, Ла-Платы; выносов рек северной Патагонии, Нигера и Конго [Тримонис, 1995]. При этом не исключается и несколько большее в среднем значение более зрелых осадочных пород в данном регионе (например, в фэне Миссисипи).

**Результаты применения методов математической статистики.** Для корреляционного анализа были использованы компоненты химического состава (оксиды петрогенных элементов, а также V, Co, Cu, Ni, Ba) в тех типах отложений,

которые полностью охарактеризованы этими компонентами.

В табл. 3 представлена получившаяся корреляционная матрица с коэффициентами Пирсона. В результате ее анализа по значащим коэффициентам выявлены следующие геохимические ассоциации и отдельные элементы: 1)  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ; 2)  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ , Ni, Cu; 3) MnO,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ; 4) MgO (отрицательная корреляция с CaO); 5) CaO (только отрицательные корреляции); 6)  $\text{P}_2\text{O}_5$  и V (у обоих компонентов нет никакой значащей корреляции с другими компонентами табл. 3); 7) Co, Ni, Cu,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ; 8) Ba, Ni,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{TiO}_2$ . Представляется, что 1 ассоциация обусловлена парагенезом кварца и полевых шпатов; 2 – парагенезом глинистых минералов, тонкодисперсных калиевых полевых шпатов и сорбированных на них из морской воды указанных редких элементов; 3 – взаимодействием оксигидроксидов железа и марганца в их гидрогенной форме; 4 – ролью вулканогенных отложений; 5 – чисто биогенным накоплением кальция; 6 – связью обоих компонентов исключительно с органическим веществом; 7) сорбцией редких элементов на глинистом веществе и оксигидроксидах железа; 8) ролью калиевых полевых шпатов.

Таблица 3. Корреляционная матрица Пирсона

| SiO <sub>2</sub> | TiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | MnO          | MgO   | CaO           | Na <sub>2</sub> O | K <sub>2</sub> O | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | V      | Co           | Ni           | Cu           | Ba           |
|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------|-------|---------------|-------------------|------------------|-------------------------------|--------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 1.000            | <b>0.799</b>     | 0.528                          | <b>0.776</b>                   | 0.487        | 0.578 | <b>−0.953</b> | <b>0.756</b>      | <b>0.705</b>     | 0.484                         | 0.479  | 0.160        | 0.506        | 0.281        | 0.412        |
|                  | 1.000            | 0.259                          | <b>0.758</b>                   | 0.395        | 0.331 | <b>−0.845</b> | 0.347             | <b>0.674</b>     | 0.269                         | 0.281  | 0.317        | 0.504        | 0.001        | <b>0.685</b> |
|                  |                  | 1.000                          | 0.469                          | 0.140        | 0.458 | −0.533        | 0.269             | <b>0.802</b>     | −0.023                        | 0.428  | 0.587        | <b>0.636</b> | <b>0.751</b> | 0.318        |
|                  |                  |                                | 1.000                          | <b>0.793</b> | 0.191 | <b>−0.779</b> | 0.433             | <b>0.774</b>     | 0.454                         | 0.507  | 0.538        | <b>0.648</b> | 0.446        | 0.472        |
|                  |                  |                                |                                | 1.000        | 0.179 | −0.384        | 0.409             | 0.419            | 0.572                         | 0.627  | 0.280        | 0.402        | 0.359        | 0.203        |
|                  |                  |                                |                                |              | 1.000 | <b>−0.684</b> | 0.560             | 0.287            | 0.098                         | −0.081 | 0.041        | 0.333        | 0.240        | 0.051        |
|                  |                  |                                |                                |              |       | 1.000         | <b>−0.680</b>     | <b>−0.748</b>    | −0.309                        | −0.371 | −0.301       | −0.617       | −0.329       | −0.512       |
|                  |                  |                                |                                |              |       |               | 1.000             | 0.314            | 0.495                         | 0.450  | −0.215       | 0.255        | 0.259        | 0.052        |
|                  |                  |                                |                                |              |       |               |                   | 1.000            | −0.045                        | 0.629  | <b>0.694</b> | <b>0.805</b> | <b>0.652</b> | <b>0.728</b> |
|                  |                  |                                |                                |              |       |               |                   |                  | 1.000                         | 0.016  | −0.238       | −0.110       | −0.152       | −0.325       |
|                  |                  |                                |                                |              |       |               |                   |                  |                               | 1.000  | 0.160        | 0.376        | 0.478        | 0.377        |
|                  |                  |                                |                                |              |       |               |                   |                  |                               |        | 1.000        | <b>0.854</b> | <b>0.719</b> | 0.631        |
|                  |                  |                                |                                |              |       |               |                   |                  |                               |        |              | 1.000        | <b>0.794</b> | <b>0.762</b> |
|                  |                  |                                |                                |              |       |               |                   |                  |                               |        |              |              | 1.000        | 0.337        |
|                  |                  |                                |                                |              |       |               |                   |                  |                               |        |              |              |              | 1.000        |

Примечание. Полужирным курсивом обозначены коэффициенты Пирсона, установленные с достоверностью 95%.

На основе табл. 1, 2 и, особенно, табл. 3 мы провели факторный анализ в разновидности главных компонент с варимаксным вращением. В результате были найдены два основных фактора, определяющих геохимию плейстоценовых отложений Атлантического океана. Коэффициенты вариации равны: для первого фактора 77.754%, для второго фактора 18.939%. В сумме оба фактора объясняют 96.693% среднего арифметического химического состава плейстоценовых осадков Атлантики. Первый фактор, судя по положительным факторным нагрузкам после варимаксного вращения, связан с литогенным веществом, а отрицательные нагрузки обусловлены карбонатными отложениями. При этом по модулю значение факторной нагрузки на CaO даже несколько превышает ту же величину для SiO<sub>2</sub>. Второй фактор связан с гидрогенным веществом.

#### *Средневзвешенный химический состав*

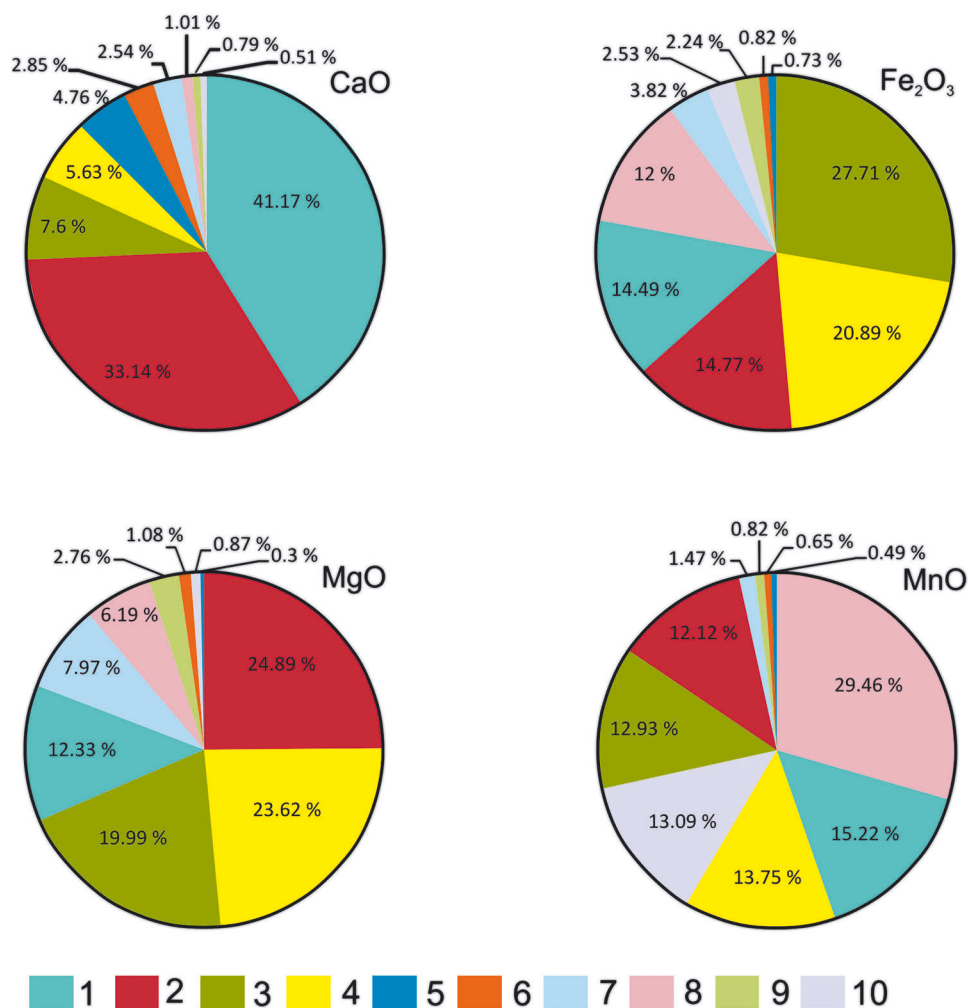
При исследовании средневзвешенного химического состава умножается масса того или иного типа отложений на его среднеарифметический химический состав. По данным [Левитан, 2021], среди плейстоценовых отложений Атлантического океана масса пелагических глин равна  $196.0 \times 10^{18}$  г, гемипелагических глин —  $657.0 \times 10^{18}$  г, терригенных турбидитов —  $649.6 \times 10^{18}$  г, морских песков —  $65.4 \times 10^{18}$  г, вулканогенных отложений —  $41.9 \times 10^{18}$  г, кокколито-вых глин и илов —  $671.3 \times 10^{18}$  г, кокколито-фораминиферовых глин и илов —  $716.0 \times 10^{18}$  г,

бентогенных и карбонатно-обломочных отложений —  $58.6 \times 10^{18}$  г, карбонатных турбидитов —  $53.4 \times 10^{18}$  г, диатомовых глин и илов —  $156.3 \times 10^{18}$  г. Перемножение этих значений на средние арифметические содержания изученных элементов (см. табл. 1, 2) дает нам возможность построить табл. 4 и 5.

В целом в плейстоценовых отложениях Атлантического океана содержится (в  $10^{18}$  г): SiO<sub>2</sub> — min 1260.78 (без бентогенных карбонатов); TiO<sub>2</sub> — 17.26, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> — 402.26, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> — 213.66, MnO — 6.11, MgO — 87.11, CaO — 586.82, Na<sub>2</sub>O — 58.70, K<sub>2</sub>O — 63.37, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> — 9.81, ППП — min 287.20.

Относительно редких элементов: обращает на себя внимание, что средний арифметический химический состав карбонатных турбидитов практически такой же, как и у кокколито-фораминиферовых илов и глин. Следовательно, если мы возьмем такие же содержания ряда редких элементов и включим их в расчет общих минимальных масс в плейстоцене Атлантики, то получим следующие величины ( $10^{18}$  г): V — 0.261, Cr — 0.236, Co — 0.060, Ni — 0.130, Cu — 0.135, Zn — 0.179, Zr — 0.384, Ba — 0.967.

Если разделить приведенные выше массы петрогенных оксидов и ряда редких элементов на общую массу плейстоценовых отложений, то получим следующие средние содержания петрогенных оксидов в плейстоцене Атлантического океана (в мас. %): SiO<sub>2</sub> — 40.13, TiO<sub>2</sub> — 0.53, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> — 12.32, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> — 6.54, MnO — 0.19, MgO — 2.67, CaO — 17.97, Na<sub>2</sub>O — 1.80, K<sub>2</sub>O — 1.94,



**Рис. 4.** Распределение масс некоторых химических компонентов в основных типах плейстоценовых отложений. 1 – кокколито-фораминиферовые глины и илы; 2 – кокколитовые глины и илы; 3 – гемипелагические глины; 4 – терригенные турбидиты; 5 – карбонатно-обломочные отложения; 6 – карбонатные турбидиты; 7 – диатомовые илы и глины; 8 – пелагические глины; 9 – морские пески; 10 – вулканогенные отложения (в %).

$P_2O_5$  – 0.30. Тогда средние содержания редких элементов в плейстоцене Атлантического океана составят (в г/т): V – 83, Cr – 74, Co – 19, Ni – 41, Cu – 44, Zn – 58, Zr – 122, Ba – 296.

Все показанные в табл. 4 и 5 содержания оксидов петрогенных элементов для типов осадков пересчитаны на %, исходя из общей суммы для каждого компонента, равной 100%. При рассмотрении структуры распределения масс компонентов в осадках (в %) намечаются два основных тренда и один дополнительный. В рамках первого основного тренда доминирующую роль играет убывание масс самих осадков. К нему относится также распределение CaO и  $P_2O_5$  (рис. 4). Второй основной тренд сводится к убыванию масс главных литогенных типов осадков

(гемипелагических глин и терригенных турбидитов) и главных карбонатных илов и глин (кокколитовых и кокколито-фораминиферовых). Примерами являются распределение масс  $SiO_2$ ,  $TiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $Na_2O$ ,  $K_2O$  (см. рис. 4). Обращает на себя внимание промежуточный тип изменения масс MgO, обусловленный его тяготением как к литогенному веществу, так и к планктоногенным карбонатам (см. рис. 4). К дополнительному тренду относится распределение MnO (см. рис. 4), в котором на первом месте находятся его массы в пелагических глинах, на втором – в кокколито-фораминиферовых илах и глинах, а на третьем – в вулканогенных отложениях.

**Таблица 4.** Средневзвешенный химический состав плейстоценовых литогенных отложений Атлантического океана (в 10<sup>18</sup> г)

| Компонент                      | 1      | 2      | 3      | 4     | 5      | Компонент | 1      | 2     | 3      | 4       | 5       |
|--------------------------------|--------|--------|--------|-------|--------|-----------|--------|-------|--------|---------|---------|
| SiO <sub>2</sub>               | 103.99 | 335.99 | 364.82 | 36.72 | 26.49  | Pb        | —      | 0.012 | Н.о.   | 0.002   | 0.001   |
| TiO <sub>2</sub>               | 1.61   | 4.47   | 5.59   | 0.52  | 0.30   | Mo        | 0.001  | 0.002 | Н.о.   | Н.о.    | 0.0001  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 42.43  | 101.31 | 91.07  | 6.83  | 4.83   | Y         | Н.о.   | 0.015 | 0.016  | 0.002   | —       |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 25.64  | 59.20  | 44.63  | 4.79  | 5.41   | Zr        | 0.025  | 0.097 | 0.146  | 0.013   | 0.014   |
| MnO                            | 1.80   | 0.79   | 0.84   | 0.05  | 0.80   | Cs        | —      | Н.о.  | Н.о.   | Н.о.    | 0.0001  |
| MgO                            | 5.39   | 17.41  | 20.59  | 2.40  | 0.76   | Cd        | —      | 0.002 | Н.о.   | Н.о.    | Н.о.    |
| CaO                            | 5.90   | 44.61  | 33.06  | 4.51  | 2.97   | B         | Н.о.   | 0.049 | Н.о.   | Н.о.    | Н.о.    |
| Na <sub>2</sub> O              | 3.00   | 13.93  | 13.77  | 1.37  | 1.18   | Nb        | 0.008  | Н.о.  | 0.017  | 0.001   | Н.о.    |
| K <sub>2</sub> O               | 6.27   | 21.02  | 15.53  | 0.87  | 0.88   | Be        | 0.0002 | 0.001 | Н.о.   | Н.о.    | Н.о.    |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0.71   | 1.97   | 1.10   | 0.52  | 0.35   | La        | 0.008  | 0.022 | 0.021  | 0.001   | 0.001   |
| ППП                            | 12.74  | 62.87  | 62.17  | Н.о.  | 2.04   | Ce        | 0.025  | 0.036 | 0.038  | 0.005   | 0.003   |
| Li                             | —      | 0.031  | 0.031  | Н.о.  | Н.о.   | Pr        | 0.002  | —     | 0.004  | 0.0003  | 0.0004  |
| Sc                             | Н.о.   | 0.008  | 0.008  | Н.о.  | —      | Nd        | 0.008  | 0.019 | 0.019  | 0.002   | 0.002   |
| V                              | 0.019  | 0.068  | 0.087  | Н.о.  | 0.007  | Sm        | 0.002  | —     | 0.005  | 0.0004  | 0.0004  |
| Cr                             | 0.016  | 0.056  | 0.058  | 0.007 | 0.005  | Eu        | 0.0004 | —     | 0.001  | 0.0001  | 0.0001  |
| Co                             | 0.016  | 0.011  | 0.009  | Н.о.  | 0.0004 | Gd        | 0.002  | —     | 0.006  | 0.0006  | 0.0003  |
| Ni                             | 0.016  | 0.024  | 0.031  | 0.002 | 0.002  | Tb        | 0.0003 | —     | 0.001  | 0.0001  | 0.0002  |
| Cu                             | 0.018  | 0.027  | 0.019  | Н.о.  | 0.002  | Dy        | 0.002  | —     | 0.005  | 0.0005  | 0.0003  |
| Zn                             | 0.017  | 0.051  | 0.038  | Н.о.  | 0.004  | Ho        | 0.0003 | —     | 0.001  | 0.0001  | 0.0001  |
| Rb                             | Н.о.   | 0.064  | 0.005  | 0.001 | 0.003  | Er        | 0.0008 | —     | 0.003  | 0.0003  | 0.0002  |
| Ga                             | Н.о.   | 0.013  | Н.о.   | —     | —      | Tm        | 0.0001 | —     | 0.0004 | 0.00003 | 0.00003 |
| As                             | Н.о.   | 0.006  | Н.о.   | Н.о.  | Н.о.   | Yb        | 0.0007 | —     | Н.о.   | Н.о.    | 0.0002  |
| Sr                             | —      | 0.124  | 0.107  | 0.017 | 0.012  | Lu        | 0.0001 | —     | 0.0004 | 0.00005 | 0.00003 |
| Ba                             | 0.105  | 0.208  | 0.320  | 0.014 | 0.011  | Th        | —      | Н.о.  | Н.о.   | 0.0002  | 0.0005  |
| Ge                             | 0.001  | Н.о.   | Н.о.   | Н.о.  | Н.о.   | U         | Н.о.   | Н.о.  | 0.011  | 0.004   | 0.0002  |

Примечания. Н.о. — не определялся; тире — число проб, меньше 7; ППП — потери при прокаливании; 1–5 — типы отложений: 1 — пелагические глины; 2 — гемипелагические глины; 3 — терригенные турбидиты; 4 — морские пески; 5 — вулканогенные отложения.

*Средние скорости накопления  
химических элементов*

Этот параметр необходим для сравнительных анализов плейстоценовых отложений Атлантического океана как с другими океанами внутри плейстоценового стратона, так и с отложениями иных стратиграфических подразделений внутри осадочного чехла Мирового океана. Поскольку для нашей базы данных был выбран именно плейстоцен, продолжительность которого по “старой” шкале [Gradstein et al., 2004] равна 1.79 млн лет, то данные в следующих табл. 6 и 7 получаются при делении соответствующих значений табл. 4 и 5 на 1.79 млн лет.

Естественно, что структура табл. 6 и 7 точно повторяет структуру табл. 4 и 5, поэтому ниже отдельные описания табл. 6 и 7 не даются.

*Абсолютные массы элементов*

Абсолютные массы характеризуют интенсивность накопления химических компонентов. В табл. 8 приведены результаты расчета абсолютных масс оксидов петрогенных элементов в плейстоценовых отложениях Атлантического океана. Данные табл. 8 получены или делением скоростей накопления (см. табл. 6, 7) на площади распространения анализируемых типов плейстоценовых отложений, приведенные в работе [Левитан, 2021], или умножением процентных

**Таблица 5.** Средневзвешенный химический состав плейстоценовых биогенных осадков Атлантического океана (в  $10^{18}$  г)

| Компонент                      | 1      | 2      | 3     | 4     | 5     | Компонент | 1      | 2      | 3    | 4    | 5      |
|--------------------------------|--------|--------|-------|-------|-------|-----------|--------|--------|------|------|--------|
| SiO <sub>2</sub>               | 145.40 | 151.72 | —     | 11.11 | 84.54 | Mo        | 0.004  | 0.006  | Н.о. | Н.о. | 0.004  |
| TiO <sub>2</sub>               | 1.75   | 2.22   | 0.09  | 0.23  | 0.48  | Y         | 0.009  | 0.011  | Н.о. | Н.о. | 0.003  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 74.72  | 37.73  | 7.90  | 3.74  | 31.70 | Zr        | 0.034  | 0.034  | Н.о. | —    | 0.018  |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 31.55  | 30.97  | 1.56  | 1.75  | 8.16  | Cs        | Н.о.   | 0.0006 | Н.о. | Н.о. | Н.о.   |
| MnO                            | 0.74   | 0.93   | 0.03  | 0.04  | 0.09  | Cd        | 0.001  | 0.002  | Н.о. | Н.о. | 0.0003 |
| MgO                            | 21.68  | 10.74  | 0.26  | 0.94  | 6.94  | B         | 0.077  | 0.068  | Н.о. | Н.о. | 0.026  |
| CaO                            | 194.61 | 241.58 | 27.94 | 16.74 | 14.90 | Nb        | Н.о.   | Н.о.   | Н.о. | Н.о. | 0.001  |
| Na <sub>2</sub> O              | 9.53   | 9.88   | 0.55  | 0.96  | 4.53  | Be        | 0.002  | 0.0002 | Н.о. | Н.о. | 0.0005 |
| K <sub>2</sub> O               | 7.38   | 6.80   | 0.77  | 0.69  | 3.16  | W         | Н.о.   | 0.0006 | Н.о. | Н.о. | Н.о.   |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 2.15   | 2.00   | 0.23  | 0.12  | 0.66  | Tl        | Н.о.   | 0.0003 | Н.о. | Н.о. | Н.о.   |
| ППП                            | Н.о.   | 126.37 | Н.о.  | 3.86  | 17.15 | Bi        | Н.о.   | 0.0002 | Н.о. | Н.о. | Н.о.   |
| Li                             | 0.017  | 0.014  | Н.о.  | Н.о.  | 0.010 | La        | 0.011  | 0.011  | Н.о. | Н.о. | 0.003  |
| Sc                             | 0.005  | 0.006  | Н.о.  | Н.о.  | 0.003 | Ce        | 0.029  | 0.025  | Н.о. | Н.о. | 0.006  |
| V                              | 0.033  | 0.024  | 0.005 | —     | 0.016 | Pr        | 0.004  | 0.003  | Н.о. | Н.о. | Н.о.   |
| Cr                             | 0.026  | 0.049  | Н.о.  | 0.003 | 0.016 | Nd        | 0.026  | 0.001  | Н.о. | Н.о. | 0.008  |
| Co                             | 0.009  | 0.011  | Н.о.  | Н.о.  | 0.002 | Sm        | 0.003  | 0.003  | Н.о. | Н.о. | Н.о.   |
| Ni                             | 0.019  | 0.026  | Н.о.  | —     | 0.008 | Eu        | 0.0006 | 0.0006 | Н.о. | Н.о. | Н.о.   |
| Cu                             | 0.026  | 0.026  | 0.002 | —     | 0.013 | Gd        | 0.002  | 0.003  | Н.о. | Н.о. | Н.о.   |
| Zn                             | 0.029  | 0.029  | Н.о.  | —     | 0.009 | Tb        | 0.0003 | 0.0003 | Н.о. | Н.о. | Н.о.   |
| Rb                             | 0.038  | 0.009  | Н.о.  | Н.о.  | 0.010 | Dy        | 0.003  | 0.002  | Н.о. | Н.о. | 0.001  |
| Ga                             | 0.010  | 0.018  | Н.о.  | Н.о.  | 0.014 | Ho        | 0.0004 | 0.0004 | Н.о. | Н.о. | Н.о.   |
| As                             | 0.013  | 0.003  | Н.о.  | Н.о.  | 0.004 | Er        | 0.001  | 0.001  | Н.о. | Н.о. | Н.о.   |
| Sr                             | 0.110  | 0.816  | 0.047 | 0.061 | 0.002 | Tm        | 0.0002 | 0.0002 | Н.о. | Н.о. | Н.о.   |
| Ba                             | 0.047  | 0.197  | 0.009 | 0.020 | 0.036 | Yb        | 0.001  | 0.001  | Н.о. | Н.о. | 0.0005 |
| Ge                             | 0.001  | Н.о.   | Н.о.  | Н.о.  | Н.о.  | Lu        | 0.0002 | 0.0001 | Н.о. | Н.о. | Н.о.   |
| Pb                             | 0.015  | 0.011  | Н.о.  | Н.о.  | 0.003 | Th        | 0.004  | 0.002  | Н.о. | Н.о. | 0.002  |
|                                |        |        |       |       |       | U         | Н.о.   | 0.0003 | Н.о. | Н.о. | 0.002  |

Примечания. Н.о. — не определялся; тире — число проб, меньше 7; PPP — потери при прокаливании; 1–5 — типы отложений: 1 — кокколито-глины и илы; 2 — кокколито-фораминиферовые глины и илы; 3 — бентогенные и карбонатно-обломочные отложения; 4 — карбонатные турбидиты; 5 — диатомовые глины и илы.

содержаний оксидов петрогенных элементов на абсолютные массы соответствующих типов отложений, взятых из работы [Левитан, 2021].

Анализ табл. 8 выделил 3 типа отложений с максимальными абсолютными массами оксидов: 1 — терригенные турбидиты (SiO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O); 2 — бентогенные и карбонатно-обломочные отложения (CaO); 3 — вулканогенно-обломочные отложения и вулканические пеплы (MnO, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). Если рассмотреть первые три по величине абсолютные массы для различных оксидов, то получим следующие группы: 1) терригенные турбидиты, гемипелагические глины,

вулканогенно-обломочные отложения и вулканические пеплы (SiO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>, MgO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O); 2) терригенные турбидиты, гемипелагические глины, бентогенные и карбонатно-обломочные отложения (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>); 3) терригенные турбидиты, вулканогенно-обломочные отложения и вулканические пеплы, гемипелагические глины (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>); 4) вулканогенно-обломочные отложения и вулканические пеплы, гемипелагические глины, пелагические глины (MnO); 5) бентогенные и карбонатно-обломочные отложения; кокколито-фораминиферовые глины и илы; кокколито-глины и илы (CaO); 6) вулканогенно-обломочные отложения

**Таблица 6.** Средние скорости накопления химических компонентов плейстоценовых литогенных отложений Атлантического океана (в 10<sup>18</sup> г/млн лет)

| Компонент                      | Типы отложений |        |        |        |        | Компонент | Типы отложений |        |        |         |         |
|--------------------------------|----------------|--------|--------|--------|--------|-----------|----------------|--------|--------|---------|---------|
|                                | 1              | 2      | 3      | 4      | 5      |           | 1              | 2      | 3      | 4       | 5       |
| SiO <sub>2</sub>               | 58.09          | 187.70 | 203.81 | 20.51  | 14.80  | Pb        | Н.о.           | 0.0067 | Н.о.   | 0.0011  | 0.0006  |
| TiO <sub>2</sub>               | 0.90           | 2.50   | 3.12   | 0.29   | 0.17   | Mo        | 0.0006         | 0.0067 | Н.о.   | Н.о.    | 0.00006 |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 23.70          | 56.60  | 50.88  | 3.82   | 2.70   | Y         | Н.о.           | 0.0084 | 0.0089 | 0.0011  | Н.о.    |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 14.32          | 33.07  | 24.93  | 2.68   | 3.02   | Zr        | 0.0140         | 0.0492 | 0.0816 | 0.0073  | 0.0078  |
| MnO                            | 1.01           | 0.44   | 0.47   | 0.03   | 0.45   | Cs        | Н.о.           | Н.о.   | Н.о.   | Н.о.    | 0.00006 |
| MgO                            | 3.01           | 9.73   | 11.50  | 1.34   | 0.42   | Cd        | Н.о.           | 0.0067 | Н.о.   | Н.о.    | Н.о.    |
| CaO                            | 3.30           | 24.92  | 18.47  | 2.52   | 1.51   | B         | Н.о.           | 0.0274 | Н.о.   | Н.о.    | Н.о.    |
| Na <sub>2</sub> O              | 1.68           | 7.78   | 7.69   | 0.77   | 0.66   | Nb        | 0.0045         | Н.о.   | 0.0095 | 0.0006  | Н.о.    |
| K <sub>2</sub> O               | 3.50           | 11.74  | 8.68   | 0.49   | 0.49   | Be        | 0.0001         | 0.0006 | Н.о.   | Н.о.    | Н.о.    |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0.40           | 1.10   | 0.61   | 0.29   | 0.20   | La        | 0.0045         | 0.0123 | 0.0117 | 0.0006  | 0.0006  |
| ППП                            | 7.12           | 35.12  | 34.73  | Н.о.   | 1.14   | Ce        | 0.0140         | 0.0201 | 0.0212 | 0.0028  | 0.0017  |
| Li                             | Н.о.           | 0.0173 | 0.0173 | Н.о.   | Н.о.   | Pr        | 0.0011         | Н.о.   | 0.0022 | 0.0002  | 0.0002  |
| Sc                             | Н.о.           | 0.0045 | 0.0045 | Н.о.   | Н.о.   | Nd        | 0.0045         | 0.0106 | 0.0106 | 0.0011  | 0.0002  |
| V                              | 0.0106         | 0.0380 | 0.0486 | Н.о.   | 0.0039 | Sm        | 0.0011         | Н.о.   | 0.0028 | 0.0002  | 0.0002  |
| Cr                             | 0.0089         | 0.0313 | 0.0324 | 0.0039 | 0.0028 | Eu        | 0.0002         | Н.о.   | 0.0006 | 0.0001  | 0.0001  |
| Co                             | 0.0089         | 0.0061 | 0.0050 | Н.о.   | 0.0002 | Gd        | 0.0011         | Н.о.   | 0.0034 | 0.0003  | 0.0002  |
| Ni                             | 0.0089         | 0.0134 | 0.0173 | 0.0011 | 0.0011 | Tb        | 0.0002         | Н.о.   | 0.0006 | 0.0001  | 0.0001  |
| Cu                             | 0.0101         | 0.0151 | 0.0106 | Н.о.   | 0.0011 | Dy        | 0.0011         | Н.о.   | 0.0028 | 0.0003  | 0.0002  |
| Zn                             | 0.0095         | 0.0285 | 0.0212 | Н.о.   | 0.0022 | Ho        | 0.0002         | Н.о.   | 0.0006 | 0.0001  | 0.0001  |
| Rb                             | Н.о.           | 0.0358 | 0.0028 | 0.0006 | 0.0017 | Er        | 0.0004         | Н.о.   | 0.0017 | 0.0002  | 0.0001  |
| Ga                             | Н.о.           | 0.0073 | Н.о.   | Н.о.   | Н.о.   | Tm        | 0.0001         | Н.о.   | 0.0002 | 0.00002 | 0.00002 |
| As                             | Н.о.           | 0.0034 | Н.о.   | Н.о.   | Н.о.   | Yb        | 0.0004         | Н.о.   | Н.о.   | Н.о.    | 0.0001  |
| Sr                             | Н.о.           | 0.0693 | 0.0598 | 0.0095 | 0.0067 | Lu        | 0.0001         | Н.о.   | 0.0002 | 0.00003 | 0.00002 |
| Ba                             | 0.0587         | 0.1162 | 0.1788 | 0.0078 | 0.0061 | Th        | Н.о.           | Н.о.   | Н.о.   | 0.0003  | 0.0003  |
| Ge                             | 0.0006         | Н.о.   | Н.о.   | Н.о.   | Н.о.   | U         | Н.о.           | Н.о.   | 0.0061 | 0.0022  | 0.0001  |

Примечания. Н.о. — не определялся; тире – число проб, меньше 7; ППП – потери при прокаливании; типы отложений: 1 – пелагические глины; 2 – гемипелагические глины; 3 – терригенные турбидиты; 4 – морские пески; 5 – вулканогенные отложения.

**Таблица 7.** Средние скорости накопления химических компонентов плейстоценовых биогенных отложений Атлантического океана (в 10<sup>18</sup> г/млн лет)

| Компонент                      | Типы отложений |       |      |      |       | Компонент | Типы отложений |        |      |      |        |
|--------------------------------|----------------|-------|------|------|-------|-----------|----------------|--------|------|------|--------|
|                                | 1              | 2     | 3    | 4    | 5     |           | 1              | 2      | 3    | 4    | 5      |
| SiO <sub>2</sub>               | 81.23          | 84.76 | Н.о. | 6.21 | 47.23 | Mo        | 0.0022         | 0.0034 | Н.о. | Н.о. | 0.0022 |
| TiO <sub>2</sub>               | 0.98           | 1.24  | 0.05 | 0.13 | 0.27  | Y         | 0.0050         | 0.0061 | Н.о. | Н.о. | 0.0017 |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 41.74          | 21.08 | 4.41 | 2.09 | 17.71 | Zr        | 0.0190         | 0.0190 | Н.о. | Н.о. | 0.0101 |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 17.63          | 17.30 | 0.87 | 0.98 | 4.56  | Cs        | Н.о.           | 0.0003 | Н.о. | Н.о. | Н.о.   |
| MnO                            | 0.41           | 0.52  | 0.02 | 0.02 | 0.05  | Cd        | 0.0006         | 0.0011 | Н.о. | Н.о. | 0.0002 |
| MgO                            | 12.11          | 6.00  | 0.15 | 0.53 | 3.88  | B         | 0.0430         | 0.0380 | Н.о. | Н.о. | 0.0145 |

Окончание таблицы 7

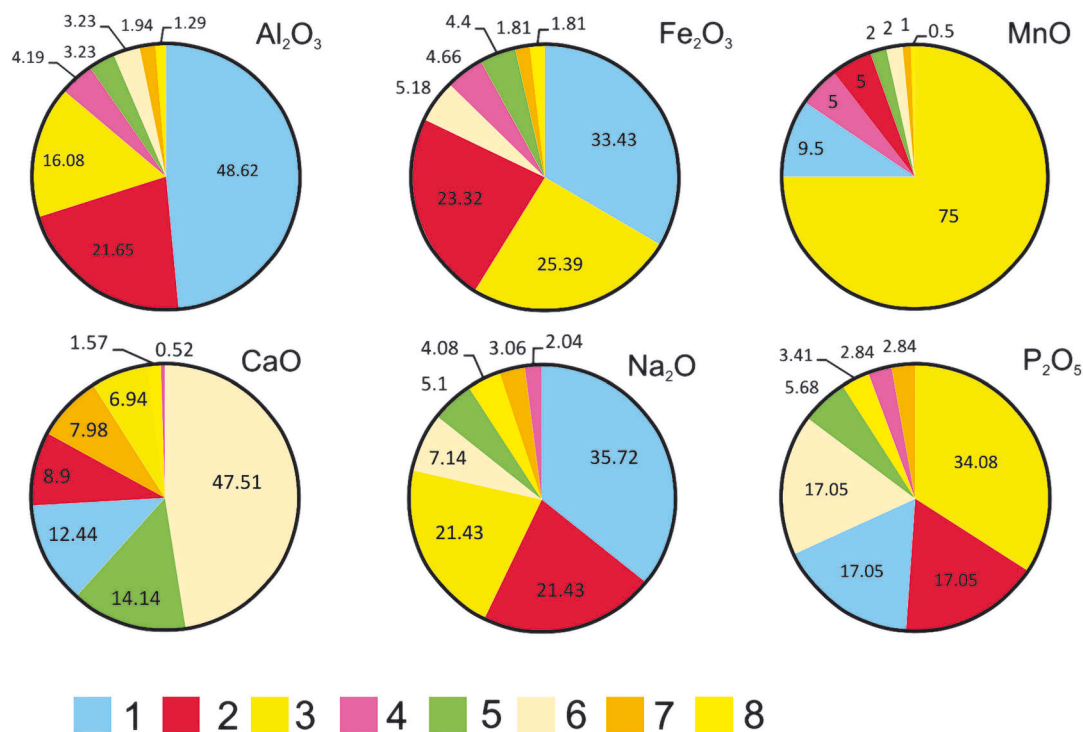
| Компонент                     | Типы отложений |        |        |        |        | Компонент | Типы отложений |         |      |      |        |
|-------------------------------|----------------|--------|--------|--------|--------|-----------|----------------|---------|------|------|--------|
|                               | 1              | 2      | 3      | 4      | 5      |           | 1              | 2       | 3    | 4    | 5      |
| CaO                           | 108.72         | 134.96 | 15.61  | 9.35   | 8.32   | Nb        | Н.о.           | Н.о.    | Н.о. | Н.о. | 0.0006 |
| Na <sub>2</sub> O             | 5.32           | 5.52   | 0.31   | 0.54   | 2.53   | Be        | 0.0011         | 0.0001  | Н.о. | Н.о. | 0.0003 |
| K <sub>2</sub> O              | 4.12           | 3.80   | 0.43   | 0.39   | 1.77   | W         | Н.о.           | 0.0003  | Н.о. | Н.о. | Н.о.   |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | 1.20           | 1.12   | 0.13   | 0.07   | 0.37   | Tl        | Н.о.           | 0.0002  | Н.о. | Н.о. | Н.о.   |
| ППП                           | Н.о.           | 70.60  | Н.о.   | 2.16   | 9.58   | Bi        | Н.о.           | 0.0001  | Н.о. | Н.о. | Н.о.   |
| Li                            | 0.0095         | 0.0078 | Н.о.   | Н.о.   | 0.0056 | La        | 0.0061         | 0.0061  | Н.о. | Н.о. | 0.0017 |
| Sc                            | 0.0028         | 0.0034 | Н.о.   | Н.о.   | 0.0017 | Ce        | 0.0162         | 0.0140  | Н.о. | Н.о. | 0.0034 |
| V                             | 0.0184         | 0.0134 | 0.0028 | Н.о.   | 0.0089 | Pr        | 0.0022         | 0.0017  | Н.о. | Н.о. | Н.о.   |
| Cr                            | 0.0145         | 0.0274 | Н.о.   | 0.0017 | 0.0089 | Nd        | 0.0145         | 0.0006  | Н.о. | Н.о. | 0.0045 |
| Co                            | 0.0050         | 0.0061 | Н.о.   | Н.о.   | 0.0011 | Sm        | 0.0017         | 0.0017  | Н.о. | Н.о. | Н.о.   |
| Ni                            | 0.0106         | 0.0145 | Н.о.   | Н.о.   | 0.0045 | Eu        | 0.0003         | 0.0003  | Н.о. | Н.о. | Н.о.   |
| Cu                            | 0.0145         | 0.0145 | 0.0011 | Н.о.   | 0.0073 | Gd        | 0.0011         | 0.0017  | Н.о. | Н.о. | Н.о.   |
| Zn                            | 0.0162         | 0.0162 | Н.о.   | Н.о.   | 0.0050 | Tb        | 0.0002         | 0.0002  | Н.о. | Н.о. | Н.о.   |
| Rb                            | 0.0212         | 0.0050 | Н.о.   | Н.о.   | 0.0056 | Dy        | 0.0017         | 0.0011  | Н.о. | Н.о. | 0.0006 |
| Ga                            | 0.0056         | 0.0101 | Н.о.   | Н.о.   | 0.0078 | Ho        | 0.0002         | 0.0002  | Н.о. | Н.о. | Н.о.   |
| As                            | 0.0073         | 0.0017 | Н.о.   | Н.о.   | 0.0022 | Er        | 0.0006         | 0.0006  | Н.о. | Н.о. | Н.о.   |
| Sr                            | 0.0615         | 0.4559 | 0.0243 | 0.0341 | 0.0011 | Tm        | 0.0001         | 0.0001  | Н.о. | Н.о. | Н.о.   |
| Ba                            | 0.0263         | 0.1101 | 0.0050 | 0.0112 | 0.0201 | Yb        | 0.0006         | 0.0006  | Н.о. | Н.о. | 0.0003 |
| Ge                            | 0.0006         | Н.о.   | Н.о.   | Н.о.   | Н.о.   | Lu        | 0.0001         | 0.00006 | Н.о. | Н.о. | Н.о.   |
| Pb                            | 0.0084         | 0.0061 | Н.о.   | Н.о.   | 0.0017 | Th        | 0.0022         | 0.0011  | Н.о. | Н.о. | 0.0011 |
|                               |                |        |        |        |        | U         | Н.о.           | 0.0002  | Н.о. | Н.о. | 0.0011 |

Примечания. Н.о. — не определялся; тире — число проб, меньшее 7; ППП — потери при прокаливании; типы отложений: 1 — кокколито-глины и илы; 2 — кокколито-фораминиферовые глины и илы; 3 — бентогенные и карбонатно-обломочные отложения; 4 — карбонатные турбидиты; 5 — диатомовые глины и илы.

**Таблица 8.** Средневзвешенные абсолютные массы петрогенных компонентов химического состава основных типов плейстоценовых отложений Атлантического океана, в г/см<sup>2</sup> х тыс. лет

| Компонент                      | Типы отложений |      |       |       |       |       |       |      |
|--------------------------------|----------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
|                                | 1              | 2    | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8    |
| SiO <sub>2</sub>               | 0.74           | 5.12 | 10.53 | 0.81  | 0.39  | Н.о.  | 0.71  | 4.77 |
| TiO <sub>2</sub>               | 0.01           | 0.07 | 0.16  | 0.01  | 0.006 | 0.01  | 0.004 | 0.05 |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0.30           | 1.55 | 2.63  | 0.41  | 0.10  | 1.03  | 0.27  | 0.87 |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0.18           | 0.90 | 1.29  | 0.17  | 0.07  | 0.20  | 0.07  | 0.98 |
| MnO                            | 0.01           | 0.01 | 0.02  | 0.004 | 0.002 | 0.004 | 0.001 | 0.15 |
| MgO                            | 0.04           | 0.27 | 0.59  | 0.12  | 0.03  | 0.03  | 0.06  | 0.14 |
| CaO                            | 0.04           | 0.68 | 0.95  | 1.08  | 0.61  | 3.63  | 0.12  | 0.53 |
| Na <sub>2</sub> O              | 0.02           | 0.21 | 0.35  | 0.05  | 0.03  | 0.07  | 0.04  | 0.21 |
| K <sub>2</sub> O               | 0.04           | 0.24 | 0.45  | 0.04  | 0.02  | 0.10  | 0.03  | 0.16 |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0.005          | 0.03 | 0.03  | 0.01  | 0.005 | 0.03  | 0.006 | 0.06 |

Примечания. Н.о. — не определялся; типы отложений: 1 — пелагические глины; 2 — гемипелагические глины; 3 — терригенные турбидиты; 4 — кокколито-глины и илы; 5 — кокколито-фораминиферовые глины и илы; 6 — бентогенные и карбонатно-обломочные отложения; 7 — диатомовые глины и илы; 8 — вулканогенно-обломочные отложения и вулканические пеплы.



**Рис. 5.** Распределение абсолютных масс петрогенных компонентов химического состава (в условных единицах) в типах плейстоценовых отложений.

1 — терригенные турбидиты; 2 — гемипелагические глины; 3 — вулканогенно-обломочные отложения и вулканические пеплы; 4 — пелагические глины; 5 — кокколитоидные глины и илы; 6 — бентогенные и карбонатно-обломочные отложения; 7 — кокколито-фораминиферовые глины и илы; 8 — диатомовые глины и илы.

и вулканические пеплы, терригенные турбидиты, гемипелагические глины ( $P_2O_5$ ). Более подробно полученные данные (в условных единицах) показаны на рис. 5.

Напомним, что абсолютные массы биогенных компонентов осадков, в отличие от абсолютных масс литогенных компонентов, являются не первичными, а вторичными, т.е. остаточными [Левитан, 2021]. Кроме того, не исключен вариант изменения в будущем абсолютных масс терригенных отложений в сторону их увеличения [Левитан, 2021].

Из проведенного анализа вытекают минимум два вывода: важнейшая роль абсолютных масс самих осадков (наряду с их химическим составом) и необходимость дополнения количественных параметров, получаемых в результате применения объемного метода А.Б. Ронова [1949], абсолютными массами химических компонентов.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Настоящий геохимический обзор является частью цикла наших работ по геохимическим особенностям плейстоценовых отложений Мирового

океана [Левитан и др., 2023]. Он предпринят для детализации данных о химическом составе земной коры на основе подхода А.Б. Ронова [Ронов и др., 1990].

Целью статьи являлось получение в табличном виде сведений о средневзвешенном химическом составе плейстоцена Атлантического океана и связанных с ними данных по скоростям накопления химических компонентов в основных литологических типах рассматриваемых отложений и их абсолютным массам. Для достижения этой цели было необходимо решить задачи по созданию соответствующей базы данных и расчету средних арифметических составов в этих типах отложений.

В работе изучены данные по плейстоцену Атлантики в его границах от пролива Фрама на севере до берегов Антарктиды на юге. Составленные нами ранее литолого-фациальные карты [Левитан, 2021] охватывают 86.6% всей площади дна. В качестве фактического материала для проведенных исследований послужили результаты химических анализов, опубликованные как в отчетах о проведенных рейсах международного

проекта глубоководного бурения (фазы DSDP, ODP, IODP), так и в других литературных источниках.

Всего в собранной базе данных содержится свыше 2500 проб с более чем 20 000 элементно-определений. Проведенный критический анализ этой базы позволил точно охарактеризовать литотип каждой пробы, перевести значения содержаний петрогенных химических элементов в содержания их оксидов, выбраковать “ураганные значения”, избавиться от неправильно выполненных анализов. Выявленная сильная неравномерность в распределении содержаний химических компонентов по возрасту заставила нас ограничиться только расчетами средних содержаний по всему плейстоцену, без его деления на нео- и эоплейстоцен.

В результате рассчитаны средние арифметические значения химического состава для основных литологических типов отложений. Проведены сравнения полученных данных для существенно глинистых осадков с эталоном PAAS [Тейлор, Мак-Леннан, 1988], а для обломочных отложений — с эталоном верхней континентальной коры (UCC) [Rudnick, Gao, 2003]. Выявлены соответствующие черты сходства и различия. Установлено доминирование терригенной матрицы для глинистых осадков и бескарбонатного вещества карбонатных отложений. На основании корреляционного анализа выделены основные геохимические ассоциации. Факторный анализ установил доминирование двух факторов: первый из них связан с литогенным/карбонатным веществом (соответственно, по положительным и отрицательным факторным нагрузкам), второй — с гидрогенным материалом.

С учетом ранее полученных данных по средневзвешенному литологическому составу [Левитан, 2021], рассчитаны средневзвешенные химические составы изученных отложений. В целом в плейстоценовых отложениях Атлантического океана содержится (в  $10^{18}$  г):  $\text{SiO}_2$  — min 1260.78 (без бентогенных карбонатов);  $\text{TiO}_2$  — 17.26,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  — 402.26,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  — 213.66,  $\text{MnO}$  — 6.11,  $\text{MgO}$  — 87.11,  $\text{CaO}$  — 586.82,  $\text{Na}_2\text{O}$  — 58.70,  $\text{K}_2\text{O}$  — 63.37,  $\text{P}_2\text{O}_5$  — 9.81, п.п.п. — min 287.20, V — 0.261, Cr — 0.236, Co — 0.060, Ni — 0.130, Cu — 0.135, Zn — 0.179, Zr — 0.384, Ba — 0.967.

Получены следующие средние содержания петрогенных оксидов в плейстоцене Атлантического океана (в мас. %):  $\text{SiO}_2$  — 40.13,  $\text{TiO}_2$  — 0.53,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  — 12.32;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  — 6.54,  $\text{MnO}$  — 0.19,  $\text{MgO}$  — 2.67,  $\text{CaO}$  — 17.97,  $\text{Na}_2\text{O}$  — 1.80,  $\text{K}_2\text{O}$  — 1.94,  $\text{P}_2\text{O}_5$  — 0.30. Средние содержания редких элементов при этом

составляют (в г/т): V — 83, Cr — 74, Co — 19, Ni — 41, Cu — 44, Zn — 58, Zr — 122, Ba — 296.

На основе данных по средневзвешенному химическому составу получены затем таблицы средних скоростей накопления и, в заключение, абсолютные массы петрогенных компонентов.

В целом полученная нами информация позволяет проводить сравнительный анализ как с плейстоценовыми отложениями других океанических бассейнов, так и с осадками других стратонов в пределах и Мирового океана, и палеоокеанов на континентах.

### БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы признательны К.В. Сыромятникову за предоставленные результаты по математической статистике и выполненные им рисунки.

### КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы данной работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

### ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Работа выполнена в соответствии с госзаданием для Института геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Безруков П.Л., Лисицын А.П. Классификация осадков современных морских водоемов // Тр. ИО АН СССР. Т. 32. 1960. С. 3–14.
- Гордеев В.В. Геохимия системы река–море. М.: ИП Матушкина И.И., 2012. 452 с.
- Дубинин А.В., Римская-Корсакова М.Н. Геохимия редкоземельных элементов в донных отложениях Бразильской котловины Атлантического океана // Литология и полез. ископаемые. 2011. № 1. С. 3–20.
- Дубинин А.В., Розанов А.Г. Геохимия редкоземельных элементов и тория в осадках и железо-марганцевых конкрециях Атлантического океана // Литология и полез. ископаемые. 2001. № 3. С. 311–323.
- Дубинин А.В., Свальнов В.Н., Бережная Е.Д. и др. Геохимия редких и рассеянных элементов в осадках и марганцевых микроконкрециях Ангольской котловины // Литология и полез. ископаемые. 2013. № 3. С. 191–214.
- Емельянов Е.М. Седиментогенез в бассейне Атлантического океана. М.: Наука, 1982. 191 с.

- Емельянов Е.М., Романкевич Е.А. Геохимия Атлантического океана. Органическое вещество и фосфор. М.: Наука, 1979. 220 с.
- Емельянов Е.М., Лисицын А.П., Ильин А.В. Типы донных осадков Атлантического океана. Результаты исследований по МГП. Океанологические исследования. Калининград, 1975. 579 с.
- Емельянов Е.М., Тримонис Э.С., Харин Г.С. Палеоокеанология Атлантического океана. Л.: Недра, 1989. 248 с.
- Левитан М.А. Плейстоценовые отложения Мирового океана. М.: РАН, 2021. 408 с.
- Левитан М.А., Дитрих П.Г. Фациальная изменчивость донных осадков к северу от о. Элефант // Биологические и геологические исследования дна в Южной Атлантике / Отв. ред. Н.Г. Виноградова // Тр. ИО АН СССР. Т. 126. 1990. С. 185–192.
- Левитан М.А., Антонова Т.А., Домарацкая Л.Г., Кольцова А.В., Сыромятников К.В. Химический состав плейстоценовых отложений Индийского океана // Литология и полез. ископаемые. 2023. № 5. С. 423–444.
- Левитан М.А., Дитрих П.Г., Горбунова З.Н. Донные осадки на трансокеанском профиле (Южная Атлантика) // Биологические и геологические исследования дна в Южной Атлантике / Отв. ред. Н.Г. Виноградова // Тр. ИО АН СССР. Т. 126. 1990а. С. 172–184.
- Левитан М.А., Дитрих П.Г., Рудакова А.Н., Вершинин А.В. Фациальная изменчивость поверхностного слоя осадков континентальной окраины Намибии // Биологические и геологические исследования дна в Южной Атлантике / Отв. ред. Н.Г. Виноградова // Тр. ИО АН СССР. Т. 126. 1990б. С. 193–206.
- Левитан М.А., Рощина И.А., Толмачева А.В. Геохимические особенности осадков континентального склона моря Уэдделла и их палеоокеанологическая интерпретация // Литология и полез. ископаемые. 2008. № 2. С. 128–142.
- Лисицын А.П. Процессы океанской седиментации. Литология и геохимия. М.: Наука, 1978. 392 с.
- Лисицын А.П., Емельянов Е.М., Ельцина Г.Н. Геохимия осадков Атлантического океана. Карбонаты и кремнезем. Результаты исследований по МГП. М.: Наука, 1977. 256 с.
- Маккой Ф.Х., Суинт Т.Р., Пайнер Д.Ц. Типы донных осадков // Международный геолого-геофизический атлас Тихого океана / Гл. ред. Г.Б. Удинцев. М., СПб., 2003. С. 114–115.
- Мурдмаа И.О. Фации океанов. М.: Наука, 1987. 304 с.
- Ронов А.Б. История осадконакопления и колебательных движений Европейской части СССР (по данным объемного метода) // Тр. Геофиз. ин-та АН СССР. Т. 3. 1949. 136 с.
- Ронов А.Б., Ярошевский А.А., Мигдисов А.А. Химическое строение земной коры и геохимический баланс главных элементов. М.: Наука, 1990. 183 с.
- Ронов А.Б., Хаин В.Е., Балуховский А.Н. Атлас литолого-палеогеографических карт Мира. Мезозой и кайнозой континентов и океанов. Л.: Мингео СССР, 1989. 79 с.
- Скорнякова Н.С., Мурдмаа И.О. Литолого-фациальные типы глубоководных пелагических (красных) глин Тихого океана // Литология и полез. ископаемые. 1968. № 6. С. 17–37.
- Тейлор С.Р., Мак-Леннан С.М. Континентальная кора: ее состав и эволюция. М.: Мир, 1988. 384 с.
- Тримонис Э.С. Терригенная седиментация в Атлантическом океане. М.: Наука, 1995. 255 с.
- Chamley H., Debrabant P., Foulon J. et al. Mineralogy and geochemistry of Cretaceous and Cenozoic Atlantic sediments off the Iberian Peninsula (site 398, DSDP leg 47B) // Init. Repts. DSDP, 47B. Washington (U.S. Govt. Printing Office), 1979. P. 429–449.
- Cronan D.S. Geochemical investigations on sediments from the Mid-Atlantic Ridge: leg 37, Deep Sea Drilling Project // Init. Repts. DSDP, 37. Washington (U.S. Govt. Printing Office), 1977. P. 631–632.
- Cunningham R., Kroopnick P.M. Inorganic and isotopic geochemistry of sediments from sites 549 to 551, northeastern North Atlantic // Init. Repts. DSDP, 80. Washington (U.S. Govt. Printing Office), 1985. P. 1073–1079.
- Dean W.E., Parduhn N.L. Inorganic geochemistry of sediments and rocks recovered from the southern Angola Basin and adjacent Walvis Ridge, sites 530 and 532, Deep Sea Drilling Project leg 75 // Init. Repts. DSDP, 75. Washington (U.S. Govt. Printing Office), 1984. P. 923–958.
- Debrabant P., Chamley H., Foulon J., Maillot H. Mineralogy and geochemistry of upper Cretaceous and Cenozoic sediments from north Biscay Bay and Rockall Plateau (Eastern North Atlantic), DSDP leg 48 // Init. Repts. DSDP, 48. Washington (U.S. Govt. Printing Office), 1979. P. 703–725.
- Debrabant P., Foulon J., Maillot H. Mathematical treatment of geochemical data, Deep Sea Drilling Project sites 415 and 416 // Init. Repts. DSDP, 50. Washington (U.S. Govt. Printing Office), 1980. P. 695–703.
- Donnelly T.W. Chemistry of sediments of the Western Atlantic: site 417 compared with sites 9, 105, 386, and 387 // Init. Repts. DSDP, 51, 52, 53. Washington (U.S. Govt. Printing Office), 1980. P. 1515–1523.
- Donnelly T.W., Nalli G. Mineralogy and chemistry of Caribbean sediments, leg 15 // Init. Repts. DSDP, 15. Washington (U.S. Govt. Printing Office), 1973. P. 929–961.
- Emel'yanov E.M. Geochemistry of sediments in the Western Central Atlantic, DSDP leg 39 // Init. Repts. DSDP, 39. Washington (U.S. Govt. Printing Office), 1977. P. 477–492.
- Emel'yanov E.M., Blazhishin A.I., Kharin G.S. et al. Mineral and chemical composition of sediments of the Vøring Plateau, DSDP leg 38 // Init. Repts. DSDP, 38. Washington (U.S. Govt. Printing Office), 1978. P. 31–44.
- Gradstein F.M., Ogg J.G., Smith A.G. A Geological Time Scale 2004. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 2004. 599 p.

- Hetzel A., Brumsack H.-J., Schnetger B., Böttcher M.E.* Inorganic geochemical characterization of lithologic units recovered during ODP leg 207 (Demerara Rise) // Proc. ODP, Sci. Results, 207. College Station, TX (Ocean Drilling Program), 2006. P. 1–37. <https://habr.com/ru/post/339798>
- Jarvis I., Moreton J., Gerard M.* Chemostratigraphy of Madeira abyssal plain Miocene–Pliocene turbidites, site 950 // Proc. ODP, Sci. Res., 157. College Station, TX (Ocean Drilling Program), 1998. P. 535–558.
- Lacasse C., Paterne M., Werner R. et al.* Geochemistry and origin of Pliocene and Pleistocene ash layers from the Iceland Plateau, site 907 // Proc. ODP, Sci. Results, 151. College Station, TX (Ocean Drilling Program), 1996. P. 309–331.
- Lackschewitz K.S., Wallrabe-Adams H.-J., Garbe-Schönberg D.* Geochemistry of surface sediments from the mid-oceanic Kolbeinsey Ridge, north of Iceland // Mar. Geol. 1994. V. 121. P. 105–119.
- Latimer J.C., Filippelli G.M.* Data report: sediment geochemistry at site 1089, leg 177 // Proc. ODP, Sci. Results, 177. College Station, TX (Ocean Drilling Program), 2001. P. 1–14.
- Lu H., Matsumoto R., Watanabe Y.* Data report: major element geochemistry of the sediments from site 997, Blake Ridge, Western Atlantic // Proc. ODP, Sci. Results, 164. College Station, TX (Ocean Drilling Program), 2000. P. 147–182.
- Malone M.* Data report: geochemistry and mineralogy of periplatform carbonate sediments: sites 1006, 1008, and 1009 // Proc. ODP, Sci. Results, 166. College Station, TX (Ocean Drilling Program), 2000. P. 145–152.
- Matsumoto R.* Mineralogy and geochemistry of carbonate diagenesis of the Pliocene and Pleistocene hemipelagic mud on the Blake Outer Ridge, site 533, leg 76 // Init. Repts. DSDP, 76. Washington (U.S. Govt. Printing Office), 1983. P. 411–427.
- Migdisov A.A., Girin Yu.P., Galimov E.M. et al.* Major and minor elements and sulfur isotopes of the Mesozoic and Cenozoic sediments at sites 415 and 416, leg 50, Deep Sea Drilling Project // Init. Repts. DSDP, 50. Washington (U.S. Govt. Printing Office), 1980. P. 675–689.
- Murdmay I.O., Gordeev V.V., Emelyanov E.M., Bazilevskaya E.S.* Inorganic geochemistry of the leg 44 sediments // Init. Repts. DSDP, 44. Washington (U.S. Govt. Printing Office), 1978. P. 575–582.
- Murdmay I.O., Gordeev V.V., Emelyanov E.M., Bazilevskaya E.S.* Inorganic geochemistry of leg 43 sediments // Init. Repts. DSDP, 43. Washington (U.S. Govt. Printing Office), 1979. P. 675–694.
- Murray M.A., Muratli J.M., Hartwell A.M. et al.* (2016) Data report: dissolved minor element compositions, sediment major and minor element concentrations, and reactive iron and manganese data from the Lesser Antilles volcanic arc region, IODP Expedition 340 Sites U1394, U1395, U1396, U1399, and U1400 // Proc. IODP, 340. Tokyo (Integrated Ocean Drilling Program Management International, Inc.), 2016. P. 1–27.
- Pickering K.T., Stow D.A.V.* Inorganic major, minor and trace element geochemistry and clay mineralogy of sediments from the Deep Sea Drilling Project leg 96, Gulf of Mexico // Init. Repts. DSDP, 96. Washington (U.S. Govt. Printing Office), 1986. P. 733–745.
- Rodehorst U., Schmincke H.-U., Sumita M.* Geochemistry and petrology of Pleistocene ash layers erupted at las Cañaras Edifice (Tenerife) // Proc. ODP, Sci. Results, 157. College Station, TX (Ocean Drilling Program), 1998. P. 315–328.
- Rudnick R.L., Gao S.* Composition of continental crust // Treatise of Geochemistry. V. 3. Amsterdam: Elsevier, 2003. P. 1–64.
- Saito S.* Major and trace element geochemistry of sediments from east Greenland continental rise: an implication for sediment provenance and source area weathering // Proc. ODP, Sci. Results, 152. College Station, TX (Ocean Drilling Program), 1998. P. 19–28.
- Schmidt C., Hensen C., Hübscher C. et al.* Geochemical characterization of deep-sea sediments on the Azores Plateau – From diagenesis to hydrothermal activity // Mar. Geol. 2020. V. 429. 106291.
- Sexton P.F., Barker S.* Onset of “Pacific-style” deep-sea sedimentary carbonate cycles at the mid-Pleistocene transition // Earth Planet. Sci. Lett. 2012. V. 321–322. P. 81–94.
- Tarney J., Donnellan N.C.B.* Minor element geochemistry of sediments at site 328, Falkland Outer Basin and site 329, Falkland Plateau, leg 36, Deep Sea Drilling Project // Init. Repts. DSDP, 36. Washington (U.S. Govt. Printing Office), 1977. P. 929–939.
- Timofeev P.P., Varentsov I.M., Rateev M.A., Rengarten N.V.* Lithology, mineralogy, and geochemistry of upper Cenozoic sediments at 23°N near the Mid-Atlantic Ridge, drilled on leg 45 // Init. Repts. DSDP, 45. Washington (U.S. Govt. Printing Office), 1979. P. 323–347.
- Varentsov I.M.* The geochemistry of heavy metals in upper Cenozoic sediments near the crest of the Mid-Atlantic Ridge, latitude 23°N, drilled on DSDP leg 45 // Init. Repts. DSDP, 45. Washington (U.S. Govt. Printing Office), 1979. P. 349–377.
- Varentsov I.M., Ludwig W.J., Krashenninnikov V.A. et al.* Geochemical history of post-middle Jurassic sedimentation in the Southwestern Atlantic, Deep Sea Drilling Project leg 71: Ba, Sr, and major components // Init. Repts. DSDP, 71. Washington (U.S. Govt. Printing Office), 1983. P. 423–442.
- Wallrabe-Adams H.-U., Lackschewitz K.S.* Chemical composition, distribution, and origin of silic volcanic ash layers in the Greenland – Iceland – Norwegian Sea: explosive volcanism from 10 to 300 ka as recorded in deep-sea sediments // Mar. Geol. 2003. V. 193. P. 273–293.
- Wang Y.-C., Gieskes J.M., Musoke L.* Bulk chemical analysis of sediments, hole 671B // Proc. ODP, Sci. Results, 110. College Station, TX (Ocean Drilling Program), 1990. P. 179–188.

## GEOCHEMICAL PECULIARITIES OF THE ATLANTIC PLEISTOCENE SEDIMENTS

**M. A. Levitan\*, T. A. Antonova, L. G. Domaratskaya, A. V. Koltsova**

*Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry RAS,  
Kosygina str., 19, Moscow, 119991 Russia*

*\*e-mail: m-levitan@mail.ru*

In the geochemical review based on records from cruises of International project of Deep-Sea Drilling (phases of DSDP, ODP, IODP) and other literature data we presented tables of average arithmetic chemical composition, meanweighted chemical composition, accumulation rates, and mass accumulation rates of chemical components. These tables can be used for comparative analysis with sediments of the same or other strata in different oceanic basins and also with paleoceanic sediments on the continents. Terrigenous matrix dominates within lithogenic matter. Using methods of mathematical statistics we revealed main geochemical associations and base factors determining the chemical composition of studied sediments. Masses of oxides of petrogenic elements and a number of trace elements have been calculated for Pleistocene sediments. We managed to take an idea about average chemical composition of the Atlantic Pleistocene.

*Keywords:* Atlantic Ocean, Pleistocene, bottom sediments, geochemistry