

УДК 551.465

## ХЕМОСТРАТИГРАФИЯ ДРИФТА СНОРРИ В СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКЕ

© 2019 г. Л. Л. Демина\*, Е. А. Новичкова, Н. В. Козина

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия

\*e-mail: l\_demina@mail.ru

Поступила в редакцию 05.12.2018 г.

После доработки 15.02.2019 г.

Принята к публикации 05.02.2019 г.

На основании многоэлементного химического анализа и изотопно-кислородных данных впервые исследовано распределение ряда геохимических показателей в колонке, отобранной на западном склоне контуритового дрефта Снорри (ст. АИ-3378, Северная Атлантика) в 49-м рейсе НИС «Академик Иоффе» в 2015 г. Установлено асинхронное изменение терригенных (IRD, Al, Si, Ti, Zr, Cr) и биогенных показателей ( $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{C}_{\text{орг}}$ ). Многоэлементные геохимические данные выявили ритмичность в распределении по колонке терригенного и биогенного осадочного материала, поступавшего в район исследования в результате ледового и айсбергового разноса, а также приносимого придонными течениями. Интенсивность и направление придонных контурных течений, по-видимому, резко изменялись при смене периодов потепления и похолодания на протяжении шести морских изотопных стадий МИС 1–6 (последние 190 тыс. кал. лет).

**Ключевые слова:** хемотратиграфия, контуритовый дрефт Снорри, Северная Атлантика

**DOI:** 10.31857/S0030-1574593469–475

## ВВЕДЕНИЕ

Контуритовые дрефты — это осадочные тела на дне морей и океанов, образованные в результате аккумуляции осадков под воздействием придонных (контурных) течений, движущихся преимущественно вдоль континентального склона [15, 18, 19]. Контуритовые дрефты были открыты около пятидесяти лет назад [12], и к настоящему времени их насчитывается около двухсот. Они представляют большой интерес для палеореконокструкций океанологических процессов, в частности скорости и направлений устойчивых придонных течений [8, 19, 20]. Северная Атлантика — один из ключевых регионов Мирового океана, где осуществляется глобальная термохалинная циркуляция [4, 5], взаимосвязанная с изменениями климата. Активное проникновение относительно теплых и соленых атлантических вод в арктические моря во время межледниковых периодов и дегляциаций приводило к прогреванию поверхностного слоя воды, а также переносу тепла в высокие широты, что вызывало интенсификацию глобального океанского конвейера и таяние арктических льдов [4, 9, 12, 16; 17, 24]. Интенсивная адвекция североатлантического течения в высокие широты также обусловила резкое возрастание продуктивности вод [15].

Несмотря на большой прогресс в исследовании контуритов, достигнутый в последнее вре-

мя, существует потребность более полного их изучения на основе дополнения литологических данных геохимическими показателями, фиксирующими параметры природной среды в период формирования осадков. На основании химического анализа колонок донных осадков можно получить информацию об источниках осадочного вещества, характеристиках палеоклимата, биопродуктивности, океанской циркуляции и других параметрах среды осадкообразования, а также о постседиментационных процессах [19].

Целью данной работы служит изучение распределения химических элементов в колонке, отобранной на западном склоне контуритового дрефта Снорри для возможного установления источников осадочного материала. Анализ распределения по длине колонки ключевых осадкообразующих химических элементов, наряду с микроэлементами, может способствовать более детальной интерпретации седиментологических показателей и позволяет использовать геохимические индикаторы для реконструкции палеосреды осадконакопления.

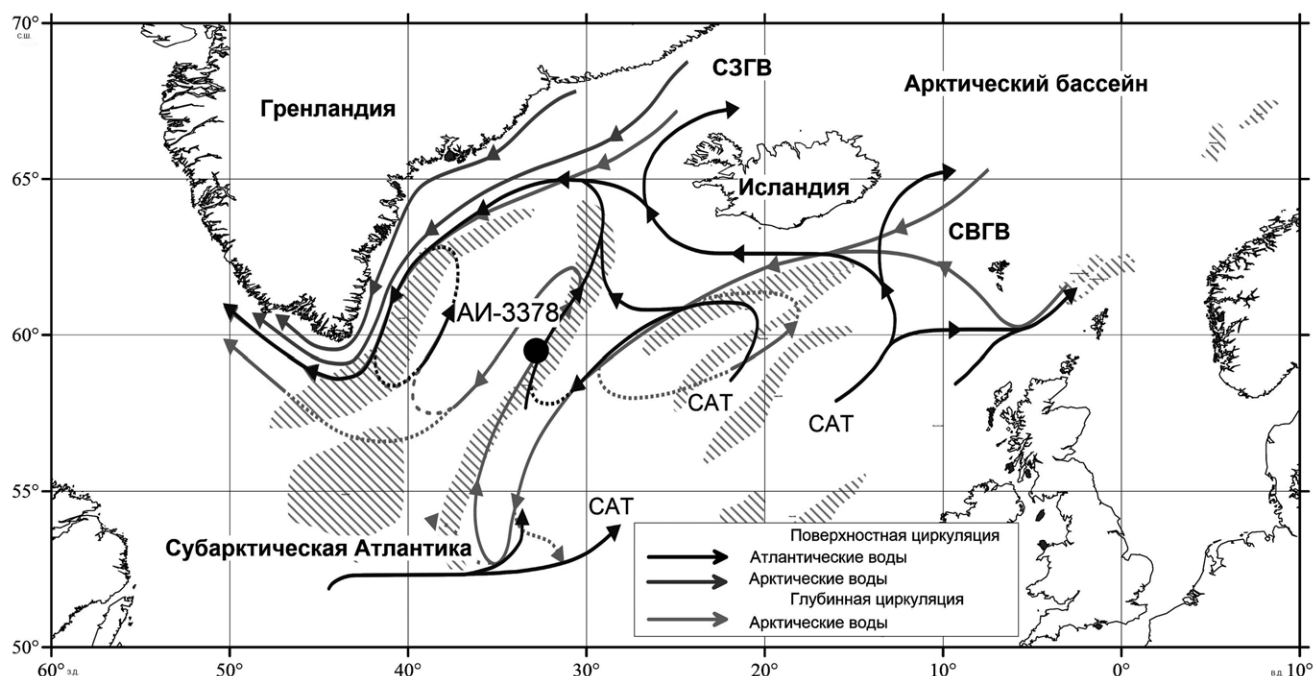
МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ  
ИССЛЕДОВАНИЯ

Колонка АИ-3378 длиной 466 см отобрана в 49-м рейсе НИС «Академик Иоффе» к западу от хребта Рейкьянес на глубине 2192 м

(59°29.977 с. ш.; 32°50.533 з. д.) на западном склоне дрейфа Снорри, формирующегося под влиянием Исландско-Шотландского придонного контурного течения, огибающего хребет с юга (рис. 1).

Литологическое описание колонки проводилось на борту судна, тип осадка определялся согласно классификации морских донных осадков Безрукова, Лисицына [2], принятой в ИО РАН и лежащей в основе всех карт донных осадков Мирового океана. Определение цвета осадка выполнено с помощью каталога для определения цвета почв по шкале Munsell [18]. Колонка АИ-3378 сложена светло-коричневым (основной цвет 10YR/5/3) алеврито-пелитовым илом, сильно песчаным, с высоким содержанием карбонатного материала (до 87%) и со следами ледового разноса и биотурбации. В колонке отмечено чередование слоев с повышенным и пониженным содержанием песчаной фракции, вероятно, зависящей от изменений путей приноса вещества в район отбора колонки. На борту судна вещественно-минералогический состав влажных осадков изучали микроскопически с помощью «смерслейдов». Также в колонке были подсчитаны терригенные зерна ледового разноса IRD (ice-rafted debris). Подсчет терригенных зерен производился под микроскопом МБС-10 во фракции >150 мкм.

В стационарной лаборатории валовое содержание химических элементов в донных осадках (Al, Si, Ca, Mg, K, Fe, Ti, Mn, Cr, Cu, Zn, Sr, Zr, Rb, Ba) определяли методом рентгено-флуоресцентного анализа (РФА) на приборе Спектроскан Макс-GVM (НПО СПЕКТРОН, г. Санкт-Петербург). Контроль правильности анализа осуществлялся с применением стандартных образцов СДО-1 (терригенные глины), СДО-3 (карбонатные осадки), NIST-2703 (морские осадки). Содержание  $C_{\text{общ}}$  и  $C_{\text{орг}}$  определяли кулонометрическим методом на анализаторе углерода АН 7529. Содержание  $CaCO_3$  определяли расчетом по концентрации  $C_{\text{карб}}$  с коэффициентом 8.3. Концентрацию аморфного кремнезема ( $SiO_{2\text{ам}}$ ) определяли методом 5% содовой вытяжки с колориметрическим окончанием [3]. Для колонки АИ-3378 получены данные по соотношению стабильных изотопов кислорода ( $\delta^{18}O$ ) в раковинах планктонных фораминифер (вид *Neogloboquadrina pachyderma* (s), не менее 30 раковин в пробе, размер раковин ~150 мкм). Анализ был выполнен в лаборатории радиометрического датирования и изотопных исследований им. К. Лейбница Кильского университета на масс-спектрометре Finnigan MAT 251 доктором Н. Андерсенем. Точность метода составляет 0.08‰. Стратиграфическое подразделение колонки производилось с использованием



**Рис. 1.** Схема расположения станции АИ-3378 (59°29.977 с. ш., 32°50.533 з. д., глубина 2192 м) и основные поверхностные и глубинные течения [22]. САТ — Северо-Атлантическое течение; СЗГВ — северо-западные глубинные воды; СВГВ — северо-восточные глубинные воды. Поток СВГВ формирует Шотландское придонное контурное течение. Штриховкой показано положение контурного дрейфа Снорри.

изотопно-кислородных данных, данных по содержанию в осадках карбоната кальция и IRD, а также результатов измерений  $^{230}\text{Th}_{\text{изб}}$ . Выделено 6 морских изотопных стадий (МИС), охватывающих предположительно около 190 тыс. лет. Средняя скорость осадконакопления составляет 2.45 см/тыс. лет [7]. Довольно низкие скорости осадконакопления в районе склона дрефта Снорри соответствуют средним скоростям осадкообразования для открытой части Атлантики [1,6].

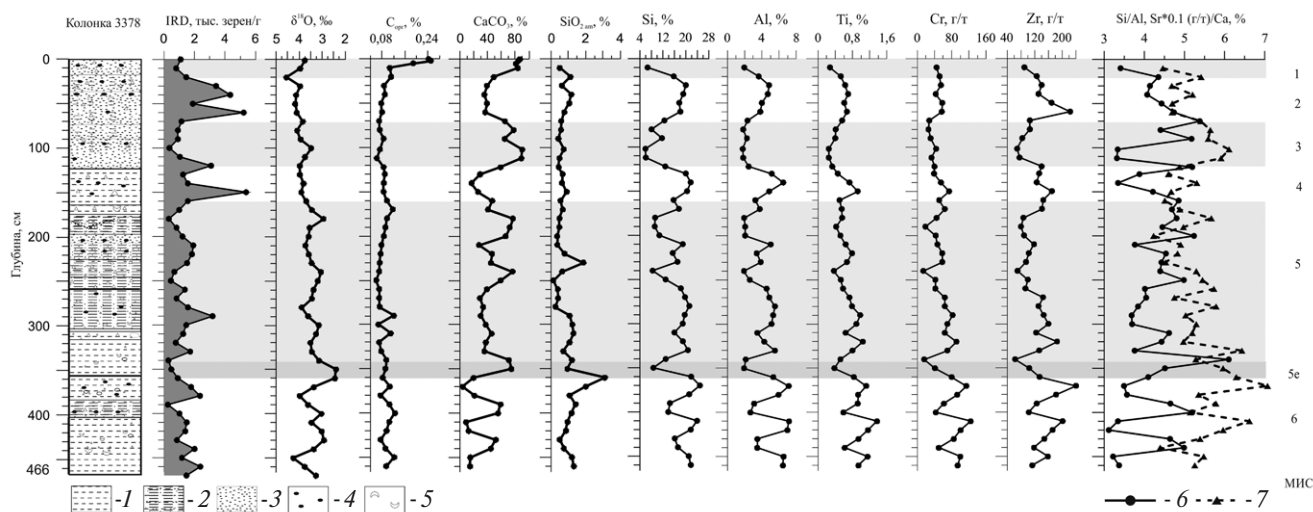
## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Содержание органического углерода в колонке АИ-3378 изменяется в пределах 0.1% и только в верхней части колонки (0–20 см), отнесенной нами к периоду МИС 1 голоцена, повышается до 0.24% (рис. 2). Аморфный кремнезем служит, как известно, строительным материалом для створок диатомовых и кремнежгутиковых водорослей, а также скелетов зоопланктона — радиолярий и губок, т. е. он может использоваться как показатель палеобиопродуктивности морских вод. По нашим данным, концентрация биогенного кремнезема ( $\text{SiO}_{2\text{ам}}$ ) заметно повышается во время переходных периодов (МИС 6/5, 2/1, межстадиалы МИС 5а? и 5с?), составляя до 25–50% от валового Si. Максимальные содержания  $\text{SiO}_{2\text{ам}}$  (до 3%) установлены на глубине 360 см и предположительно относятся к началу

периода МИС 5е. Этот максимум может объясняться миграцией Северного полярного фронта (СПФ) к району исследования во время дегляциации, когда, как известно, вдоль границы гидрологических фронтов отмечалось увеличение продуктивности. Этим же можно объяснить второй пик биогенного  $\text{SiO}_2$  (~2%) на глубине 230 см. В обоих случаях увеличение  $\text{SiO}_{2\text{ам}}$  совпадало с уменьшением карбоната кальция, что может свидетельствовать о распространении холодных распресненных вод вблизи района исследования.

Для изученной колонки характерны нормальные для Северной Атлантики закономерности в распределении  $\text{CaCO}_3$  с максимумами (до 87%) в периоды межледниковий и минимумами (до 4%) во время оледенений (рис. 2). Вполне закономерен противоположный характер распределения содержания  $\text{CaCO}_3$  и показателя материала ледового разноса IRD. Низкие содержания IRD (от 0.3 до 1–2 тыс. зерен/г осадка) характеризуют отложения стадий МИС 1, 3, 5е и некоторые межстадиалы МИС 5, соответствующие относительно потеплению.

Для сравнения, в колонке АМК-4453, так же отобранной на дрефте Снорри [8], синхронно отмечены снижения содержания зерен ледового разноса и повышенные значения показателя сортированного мелкого алеврита (SS 18–23 мкм), которые соответствуют периодам усиления контурных течений во время МИС 1, 3 и 5е.



**Рис. 2.** Литологический состав, показатель материала ледового разноса (IRD), изотопно-кислородная кривая, распределение терригенных (Si, Al, Ti, Cr, Zr) и биогенных ( $C_{\text{орг}}$ ,  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{SiO}_{2\text{аморф}}$ ) компонент, а также асинхронные вариации геохимических показателей терригенного (Si/Al) и биогенного (Sr/Ca) материала в колонке донных осадков контуритового дрефта Снорри (ст. АИ-3378).

1 — пелитовый ил, 2 — алеврито-пелитовый ил, 3 — песок, 4 — гидротроилит, 5 — известковый детрит, 6 — Si/Al, 7 — Sr/Ca.

Повышенные значения IRD (до 6 тыс. зерен/г осадка) найдены в осадках АИ-3378, отложенных во время похолоданий МИС 2 и 4). Это свидетельствует о дополнительной поставке терригенного материала и отражает миграции СПФ на юг во время похолоданий и увеличение объемов айсбергов, являющихся, очевидно, основ-

ным источником терригенного материала в исследуемой колонке.

Содержания химических элементов в донных осадках колонки АИ-3378 приведены в таблице.

В содержании элементов по длине колонки наблюдается вариабельность, которая для большинства элементов (Al, Si, Mg, K, P, Mn,

**Таблица.** Содержание химических элементов в колонке донных осадков контуритового дрефта Снорри, Северная Атлантика

Горизонт, см	%									г/г					
	Mg	Al	Si	K	Ca	Ti	Mn	Fe	P	V	Cr	Zn	Rb	Sr	Zr
10–11	0.95	1.96	6.68	0.24	40.31	0.28	0.069	1.62	0.048	76	45	32	16	1799	90
20–21	1.42	3.63	15.79	0.73	16.51	0.53	0.108	3.42	0.062	107	52	76	40	894	126
30–31	2.09	4.83	20.00	0.87	11.72	0.63	0.092	4.11	0.062	119	55	93	56	549	140
40–41	1.99	4.69	19.10	0.82	12.13	0.70	0.108	4.77	0.070	125	43	88	48	631	131
50–51	1.49	4.00	17.72	0.83	14.88	0.61	0.077	4.19	0.053	112	58	89	58	699	169
60–61	1.33	3.82	18.10	0.79	15.04	0.67	0.100	4.67	0.040	126	57	83	45	706	223
70–71	1.51	2.33	12.54	0.51	22.39	0.56	0.100	3.12	0.040	109	28	48	22	1211	106
80–81	1.14	1.83	8.06	0.34	27.32	0.41	0.077	2.34	0.044	84	26	28	16	1542	106
90–91	1.16	2.26	11.70	0.55	22.39	0.40	0.077	2.66	0.040	89	31	43	31	1252	84
102–103	1.04	1.78	5.94	0.24	29.34	0.25	0.077	1.48	0.044	73	44	28	11	1793	69
112–113	1.01	1.83	6.07	0.27	29.30	0.25	0.062	1.31	0.044	68	33	25	13	1732	76
122–123	1.36	2.47	12.83	0.60	22.17	0.33	0.046	2.26	0.053	85	40	61	38	1082	140
130–131	1.65	5.15	19.98	1.04	10.89	0.46	0.092	3.62	0.075	87	39	87	79	501	133
140–141	2.03	6.48	21.68	1.03	7.14	0.73	0.123	5.12	0.070	128	55	98	79	379	126
150–151	1.69	4.85	20.43	0.82	11.05	0.92	0.123	5.99	0.044	155	74	87	63	516	145
160–161	1.45	3.24	15.73	0.65	17.89	0.50	0.085	3.53	0.035	104	51	75	40	807	141
170–171	1.37	3.75	17.58	0.76	15.62	0.55	0.085	3.77	0.040	109	64	72	55	763	87
180–181	1.25	1.94	9.32	0.37	25.84	0.56	0.154	3.53	0.031	106	45	63	19	1465	80
190–191	1.18	2.06	9.17	0.36	25.98	0.42	0.139	2.90	0.035	98	19	28	20	1292	89
200–201	1.22	2.06	10.79	0.39	25.15	0.52	0.146	2.91	0.040	92	43	27	21	1064	118
210–211	1.70	5.03	18.93	0.85	11.19	0.64	0.116	4.47	0.057	111	47	94	57	549	167
220–221	1.53	3.40	15.43	0.67	17.44	0.79	0.077	4.91	0.026	122	58	134	45	842	174
230–231	1.63	3.86	17.09	0.79	15.53	0.67	0.092	3.98	0.048	125	58	83	39	704	103
240–241	0.97	1.92	8.44	0.36	26.80	0.37	0.069	2.49	0.035	125	14	19	22	1419	95
250–251	1.16	2.60	12.96	0.61	21.38	0.53	0.100	3.65	0.035	117	42	48	39	1165	70
260–261	1.73	4.55	18.27	0.86	13.10	0.58	0.062	3.44	0.040	113	42	74	58	751	100
270–271	1.71	4.87	19.71	0.83	11.35	0.73	0.116	4.69	0.048	134	64	78	60	539	93
280–281	1.99	5.52	21.21	0.96	9.83	0.79	0.100	4.87	0.044	140	64	75	56	569	144
290–291	1.90	5.32	19.60	0.89	10.48	0.98	0.146	6.31	0.040	180	82	86	55	527	131
300–301	1.87	5.12	18.92	0.85	11.24	0.89	0.169	5.78	0.044	154	70	88	50	595	146
310–311	1.35	3.47	16.02	0.69	16.98	0.64	0.108	4.21	0.040	125	64	59	46	882	160
320–321	1.58	4.28	18.96	0.77	13.49	1.04	0.192	7.53	0.026	150	91	141	54	671	124
330–331	1.93	5.51	20.71	0.92	9.92	0.80	0.131	5.14	0.066	143	70	93	59	638	185
340–341	1.41	2.13	13.00	0.48	22.66	0.52	0.108	3.09	0.040	109	16	17	26	1197	133

Таблица. Продолжение

Горизонт, см	%									г/т					
	Mg	Al	Si	K	Ca	Ti	Mn	Fe	P	V	Cr	Zn	Rb	Sr	Zr
350–351	1.09	1.93	8.71	0.33	26.73	0.38	0.123	2.51	0.053	90	41	49	16	1594	63
360–361	1.68	5.33	21.84	0.80	8.20	0.83	0.192	5.61	0.031	137	80	107	61	516	104
370–371	1.89	7.12	24.88	0.98	2.73	1.12	0.123	7.55	0.044	184	114	118	61	193	134
380–381	1.87	5.93	21.16	0.92	8.07	0.93	0.139	6.44	0.040	169	93	103	70	432	240
390–391	1.62	3.11	14.46	0.52	18.81	0.92	0.169	6.78	0.035	138	62	105	26	1088	182
400–401	1.32	2.67	13.87	0.54	20.70	0.59	0.092	3.85	0.035	120	43	56	35	1065	126
410–411	1.89	7.15	23.90	1.00	4.14	1.37	0.185	9.18	0.025	176	124	201	80	274	103
420–421	1.95	6.97	21.71	1.00	5.55	1.16	0.239	8.24	0.031	175	101	189	79	331	201
430–431	1.79	3.48	16.15	0.65	16.98	0.94	0.300	6.57	0.026	127	85	169	36	915	172
440–441	1.64	3.46	17.26	0.68	16.61	0.62	0.054	3.97	0.035	120	50	70	43	730	148
450–451	2.16	6.52	21.00	0.91	6.77	1.15	0.185	7.83	0.044	192	100	124	70	371	118
460–461	2.09	6.45	21.74	0.90	6.60	0.94	0.139	5.68	0.035	150	94	116	68	347	158

V, Ba, Sr, Cr) не превышает трех раз, для Fe, Ti, Zn и Rb — пяти раз. Содержание Ca варьирует в пределах двадцати раз, что соответствует аналогичной сильной изменчивости в осадках содержания карбоната кальция на протяжении исследованных МИС, как показано выше. Расчет терригенной матрицы (на основании отношения Ca/Al в литосфере) показывает, что основная доля кальция сосредоточена не в терригенном, а в карбонатном материале. На протяжении всей колонки отмечаются синхронные вариации Ca и Sr ( $R^2 = 0.79$ ), являющихся основными компонентами биогенных карбонатных осадков. Выделяются 3 пика высоких содержаний Ca и Sr — на гор. 0–10 см (голоцен), 90–100 см (МИС 3) и 350–360 см (МИС 5 e), т. е. в периоды гидробиологического оптимума (потепление и повышение биопродуктивности вод). Из таблицы также видно, что вариации содержания Ca, который в данном случае служит индикатором биогенного карбоната накопления, находятся в противофазе с содержаниями Al, Fe, Si, V, Cr, Zn, Zr и Ti, что вполне закономерно.

По длине колонки наблюдается ритмичное синхронное чередование высоких и низких концентраций терригенных элементов Al и Si (с коэффициентом корреляции  $R^2 = 0.96$ ), а также некоторых тяжелых металлов — Ti, Cr, Zr (рис. 2).

Для характеристики относительной крупности частиц в донных осадках обычно используются индикаторы размерности частиц — Si/Al, Ti/Al и Zr/Al, исходя из следующего факта. Основными минеральными носителями Si, Ti, Cr и Zr служат кварц ( $\text{SiO}_2$ ), рутил ( $\text{TiO}_2$ ), хромит

( $\text{FeCr}_2\text{O}_4$ ) и циркон ( $\text{ZrSiO}_4$ ), которые обладают более высоким (по сравнению с алюмосиликатами) показателем твердости (от 6 до  $\geq 7$  по шкале Мооса) и, соответственно, большей устойчивостью при выветривании. Это приводит к нахождению кварца, рутила, хромита и циркона в более крупных гранулометрических фракциях — алевритовой и мелко-песчанистой, а кроме того, позволяет использовать  $\text{Si}_{\text{вал}}$ , Ti, Cr и Zr, а также отношения Si/Al, Ti/Al и Zr/Al в качестве индикаторов терригенного привноса. Распределение концентрации терригенных зерен ледового разноса (IRD) и содержания элементов-индикаторов терригенного привноса (Si, Al, Ti, Cr, Zr) носит сходный характер (рис. 2). Это свидетельствует об их общем поступлении в осадки дрейфа в результате ледового/айсбергового разноса, а также с придонными течениями, в составе алевритовой и мелко-песчанистой фракций терригенного материала, причем интенсивность ледового разноса закономерно усиливалась в периоды похолоданий.

Выполненный анализ парных корреляций (программа Statistica 7) между химическими элементами показал следующее. Исходя из наиболее значимых коэффициентов корреляции, выделено три ассоциации элементов в осадках дрейфа Снорри в связи с предполагаемыми минеральными носителями: 1) обломочные минералы и алюмосиликаты: Si, Al, Fe, Ti, Cr, Zr, Zn, V: Si-Al ( $R^2 = 0.88$ ); Si-Ti ( $R^2 = 0.64$ ); 2) глинистые минералы: Al-K ( $R^2 = 0.86$ ); Rb-K ( $R^2 = 0.92$ ); Mg-Fe ( $R^2 = 0.65$ ); 3) карбонаты: Ca-Sr ( $R^2 = 0.94$ ). Выявлена значимая отрицательная корреляция между кальцием и алю-

минимумом ( $\text{Ca-Al}$ ,  $R^2 = -0.89$ ), что подтверждает преимущественное вхождение кальция не в терригенный, а в карбонатный материал. Изменение содержания Mn слабо связано с обломочными, глинистыми и карбонатными минералами, главным контролирующим процессом его накопления в осадках, по-видимому, является формирование Fe-Mn оксигидроксидов ( $R^2_{\text{Fe-Mn}} = 0.52$ ).

Показательно сравнение отношения Si/Al, характеризующего терригенный привнос с течениями более грубых частиц в периоды ледниковья, и отношения Sr/Ca, которое также относится к климатическим индикаторам: ледниковые периоды характеризуются пониженными значениями Sr/Ca, а межледниковья (стадии МИС 1, 3, 5e) — повышенными Sr/Ca, а также Rb/Sr [23]. Существует несколько причин колебания значения Sr/Ca в валовом донном осадке. Уменьшение показателя Sr/Ca может обуславливаться перекристаллизацией арагонита (относительно обогащенного стронцием), приносимого с шельфа во время оледенения и опускания уровня моря, а также в связи с изменением видового состава фитопланктонных кокколитофорид и зоопланктонных фораминифер, по-разному накапливающих Sr [10]. В осадках дрефта Снорри повышение отношения Si/Al (рис. 2) говорит о возрастании доли более грубых частиц осадка при усилении ледового разноса терригенного материала во время оледенений (стадии МИС 2, 4, 6).

Как видно из рис. 2, показатель Sr/Ca варьирует асинхронно с Si/Al. По нашим предварительным данным, вариации отношения Sr/Ca в донных осадках дрефта Снорри соответствуют морским изотопным стадиям МИС 1–6, выделенным по изотопно-кислородному анализу.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для осадочной колонки АИ-3378, отобранной на западном склоне контуритового дрефта Снорри, впервые выявлены некоторые особенности хемотратиграфии на протяжении МИС 1–6 (около 190 тыс. кал. лет). Многоэлементные геохимические данные выявили ритмичность и асинхронность в накоплении терригенного и биогенного осадочного материала, поступавшего в район исследования в результате ледового и айсбергового разноса, а также приносимого придонными течениями. Интенсивность и направление придонных течений, по-видимому, резко изменялись при смене периодов потепления и похолодания на протяжении шести морских изотопных ста-

дий. Отмечена синхронность вариации в осадках терригенных показателей: содержания зерен ледового разноса (IRD), породообразующих элементов (Si, Al, Fe) и тяжелых элементов-примесей (Ti, Cr и Zr). Содержание  $\text{CaCO}_3$  изменяется в противофазе с этими терригенными показателями. Асинхронное чередование высоких и низких концентраций терригенных элементов Al, Fe, Si, с одной стороны, и преимущественно биогенного Ca, с другой, является результатом изменений в составе осадочного материала, поступающего в район исследования в результате ледового и айсбергового разноса, а также привноса придонными течениями в чередующиеся стадии потепления и похолодания.

Повышение показателя Si/Al характеризует возрастание относительной крупности частиц осадка при усилении активности ледового разноса терригенного материала во время оледенений (стадии МИС 2, 4, 6). Асинхронно с отношением Si/Al изменяется показатель Sr/Ca, что соответствует ранее установленному [23] уменьшению Sr/Ca в ледниковье и повышению в межледниковье.

**Благодарности.** Авторы благодарят к.г.-м.н. Л.Д. Баширову за полезные советы, предоставленные данные по IRD и подготовку фораминифер для изотопно-кислородного анализа.

**Источник финансирования.** Экспедиция проведена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 14-50-00095 по направлению “Взаимодействие геосфер и минеральные ресурсы Мирового океана” (руководитель академик А.П. Лисицын). Обработка материала частично проведена в рамках Государственного задания, тема № 0149-2019-0007.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бараи М. С.* Четвертичная палеоокеанология Атлантического океана. М.: Наука, 1988. 272 с.
2. *Безруков П. Л., Лисицын А. П.* Классификация осадков современных морских водоемов // Геологические исследования в Дальневосточных морях. Тр. Ин-та океанологии. Т. XXXII. М.: АН СССР, 1960. С. 3–14.
3. *Горбаренко С. А., Деркачев А. Н., Астахов А. С.* Литостратиграфия и тифрохронология верхнечетвертичных осадков Охотского моря // Тихоокеан. геология. 2000. Т. 19. № 2. С. 58–72.
4. *Иванова Е. В.* Глобальная термохалинная палеоциркуляция. М.: Научный мир, 2006. 320 с.
5. *Ланно С. С.* К вопросу о причинах адвекции тепла на север через экватор в Атлантическом океане // Исследования процессов взаимодействия океана и атмосферы. М.: Моск. отд. Гидрометеоздата, 1984. С. 125–129.

6. Лисицын А. П. Современные представления об осадкообразовании в океанах и морях. Океан как природный самописец взаимодействия геосфер Земли // Мировой океан. Т. II. Физика, химия и биология океана. Осадкообразование в океане и взаимодействие геосфер Земли / Под общ. ред. чл.-корр. РАН Лобковского Л. И. и академика Нигматулина Р. И. М.: Научный мир, 2014. С. 331–571.
7. Новичкова Е. А., Баширова Л. Д., Демина Л. Л., Козина Н. В. Первые данные по литолого-геохимическим особенностям осадконакопления на западном склоне хребта Рейкьянес (Северная Атлантика) в течение последних 190 тыс. лет // Материалы Международной конференции (Школы) по морской геологии. М.: ИО РАН, 2017. Т. 1. С. 179–183.
8. Сивков В. О., Дорохова Е. В., Баширова Л. Д. Контурные течения Северной Атлантики в последнем ледниковом цикле // Океанология. 2015. Т. 55. № 6. С. 994–1000.
9. Broecker W. S. The Great Ocean Conveyor // Oceanography. 1991. V. 4. P. 79–89.
10. Elderfield H., Ganssen G. Past temperatures and  $\delta^{18}\text{O}$  of surface ocean waters inferred from foraminiferal Mg/Ca ratios // Nature. 2000. V. 405 / P. 442–445.
11. Faugères J.-C., Stow D. A. V., Imbert P., Viana A. R. Seismic features diagnostic of contourite drifts // Mar. Geol. 1999. V. 162. P. 1–38.
12. Gordon A. H. Inter-ocean exchange of thermocline water // J. Geophys. Res. 1986. V. 101. P. 12,217–12,237.
13. Heezen, B. C., Hollister, C. D., Ruddiman, W. F. Shaping of the continental rise by deep geostrophic contour currents // Science. 1966. V. 152. P. 502–508.
14. Ivanova E. V., Murdmaa I. O., Duplessy J.-C., Paterne M. Late Weichselian to Holocene paleoenvironments in the Barents Sea // Global and Planetary Change. 2002. 34. P. 209–218.
15. Koç N., Jansen E., Haflidason H. Paleoceanographic reconstructions of surface ocean conditions in the Greenland, Iceland and Norwegian Seas through the last 14 ka based on diatoms // Quaternary Science Reviews. 1993. V. 12. P. 115–140.
16. Lubinski D. J., Polyak L., Forman S. L. Freshwater and Atlantic water inflow to the deep northern Barents and Kara Seas since ca 1314C ka: foraminifera and stable isotopes // Quaternary Science Reviews. 2001. № 20. P. 1851–1879.
17. McManus J. F., Oppo D. W., Keigwin L. D. et al. Thermohaline circulation and prolonged interglacial warmth in the North Atlantic // Quat. Res. 2002. V. 58 (1). P. 17–21.
18. Munsell soil-color charts with genuine Munsell® color chips 2009 year revised 2012.
19. Proxies in Late Cenozoic Paleoceanography. V. 1. 2007. Ed. by Claude Hillaire-Marcel, Anne De Vernal. 843 p.
20. Rebesco M., Stow D. Seismic expression of contourites and related deposits: a preface. In: M. Rebesco, D. A. V. Stow (Eds.), Seismic Expression of contourites and Related Deposits // Marine Geophys. Res. 2001. V. 22. P. 303–308.
21. Rebesco M., Hernández Molina J., Van Rooi D., Wåhlin A. Contourites and associated sediments controlled by deep-water circulation processes: state-of-the-art and future considerations // Marine Geology. 2014. V. 352. P. 111–154.
22. Thran A. C., Dutkiewicz A., Spencer P. R., Müllera D. Controls on the global distribution of contourite drifts: Insights from an eddy-resolving ocean model. Earth and Planet // Sci. Lett. 2018. V. 489. P. 228–240.
23. Wien K., Kolling M., Schulz H. Close correlation between Sr/Ca ratios in bulk sediments from the Southern Cape basin SPECMAP record // Geo-Mar. Lett. 2005. V. 25. P. 265–271.
24. Wright A. K., Flower B. P. Surface and deep ocean circulation in the subpolar North Atlantic during the mid-Pleistocene revolution // Paleoceanography. 2002. V. 17 (4). 1068. P. 1–16.

## CHEMOSTRATIGRAPHY OF THE SNORRY DRIFT IN THE NORTHERN ATLANTIC

© 2019 L. L. Demina\*, Ye. A. Novichkova, N. V. Kozina

*Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

\*e-mail: l\_demina@mail.ru

Received December 05, 2018

Revised version received February 15, 2019

After revision February 05, 2019

On the basis of multi-element chemical analysis and oxygen isotopic data, for the first time the distribution of some geochemical indicators was investigated in the sediment core taken at the Western slope of the Snorry contourite drift (St. AI-3378, North Atlantic) in the 49th cruise of RV "Akademik Ioffe" in 2015. Down the core an asynchronous change in the terrigenous (IRD, Al, Si, Ti, Zr, Cr) and biogenic indicators ( $\text{CaCO}_3$ ,  $C_{\text{org}}$ ) was recorded. Based on multi-element geochemical data, the rhythmic distribution along the core of terrigenous and biogenic sedimentary material has been revealed. Sedimentary matter entered the study area as a result of ice and iceberg unloading, as well as brought by near-bottom currents. The intensity and direction of the near-bottom contour currents seemed to change dramatically with the change of warming and cooling periods during the six marine isotope stages MIS 1–6 (the last 190 ka).

**Keywords:** chemostratigraphy, Snorry contourite drift, North Atlantic