

## РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РЕДКИХ И РАССЕЯННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И ИЗОТОПНЫЙ СОСТАВ Nd, Pb И Sr В ПОВЕРХНОСТНЫХ ДОННЫХ ОСАДКАХ БАРЕНЦЕВА МОРЯ

© 2020 г. А. В. Маслов<sup>a, b, \*</sup>, А. Б. Кузнецов<sup>c, \*\*</sup>, Н. В. Политова<sup>d, \*\*\*</sup>, В. П. Шевченко<sup>d, \*\*\*\*</sup>,  
Н. В. Козина<sup>d, \*\*\*\*\*</sup>, А. Н. Новигатский<sup>d, \*\*\*\*\*</sup>, М. Д. Кравчишина<sup>d, \*\*\*\*\*</sup>, Т. Н. Алексеева<sup>d</sup>

<sup>a</sup>Институт геологии и геохимии им. акад. А.Н. Заварицкого Уральского отделения РАН,  
ул. Акад. Вонсовского, 15, Екатеринбург, 620016 Россия

<sup>b</sup>Геологический институт РАН,  
Пыжевский пер., 7, Москва, 119017 Россия

<sup>c</sup>Институт геологии и геохронологии докембрия РАН,  
наб. Макарова, 2, Санкт-Петербург, 199034 Россия

<sup>d</sup>Институт океанологии им. П.П. Шишова РАН,  
Нахимовский просп. 36, Москва, 117997 Россия

\*e-mail: amas2004@mail.ru

\*\*e-mail: antonbor9@mail.ru

\*\*\*e-mail: politova@ocean.ru

\*\*\*\*e-mail: vshevch@ocean.ru

\*\*\*\*\*e-mail: kozina\_nina@bk.ru

\*\*\*\*\*e-mail: novigatsky@gmail.com

\*\*\*\*\*e-mail: kravchishina@ocean.ru

Поступила в редакцию 14.05.2019 г.

После доработки 24.07.2019 г.

Принята к публикации 24.07.2019 г.

Проанализировано распределение Sc, Co, Hf, Cr, Th и редкоземельных элементов в пробах поверхностных донных осадков, отобранных в 67-м и 68-м рейсах НИС “Академик Мстислав Келдыш” в Баренцевом море и отдельно в его заливах. Полученные результаты позволяют считать, что преобладающая часть донных осадков Баренцева моря сложена тонкой силикокластикой, поступавшей с взвесью Нордкапского (Атлантического) течения при размыве северо-западного побережья Скандинавии и эрозии дна некоторых районов моря. Часть осадков в северной части моря формировалась при размыве пород Новой Земли и Земли Франца-Иосифа, и вероятно, за счет материала со Шпицбергена. Небольшой вклад вносит и взвесь р. Печоры. Установленные изотопные характеристики ( $\epsilon_{Nd}$ ,  $^{207}Pb/^{206}Pb$  и  $^{87}Sr/^{86}Sr$ ) осадков предполагают, что основной вклад в формирование донных осадков центральных областей Баренцева моря вносят породы материковой части, находящейся в зоне влияния Нордкапского течения. Сравнение значений  $^{87}Sr/^{86}Sr$  в поверхностных донных осадках центральной части Баренцева моря и в инкорпорированном во льды осадочном материале, переносимом Трансполярным дрейфом, показало их существенное различие. Это дает основание считать, что вклад ледового разноса в формирование поверхностных донных осадков Баренцева моря относительно невелик.

**Ключевые слова:** Баренцево море, поверхностные донные осадки, геохимия, изотопный состав Nd, Pb и Sr

**DOI:** 10.31857/S0016752520060072

### ВВЕДЕНИЕ

Баренцево море представляет собой сравнительно мелководный эпиконтинентальный водоем Северного Ледовитого океана, имеющий хорошие связи с окружающими морями и Атлантическим океаном. Дно моря характеризуется сочетанием изометричных и (или) вытянутых подводных возвышенностей и разделяющих их желобов и впадин

(Сорохтин и др., 2016). Основными типами поверхностных донных осадков Баренцева моря являются пелитовые илы, занимающие более 50% его площади, а также песчаные алевриты, алевритовые пески и алевритовые пелиты, распространенные суммарно на 30–32% дна (Гуревич, 2002). Согласно недавним геохронологическим и Sr-хемотратиграфическим исследованиям, скорость седи-

ментации в акватории Арктических морей была существенно ниже, чем в соседних океанах – самый верхний слой осадков формировался в течение 100–120 тыс. лет (Гусев и др., 2017; Кузнецов и др., 2018; Dipre et al., 2018). Как следствие, поверхностные донные осадки Баренцева моря характеризуют условия седиментации от позднего неоплейстоцена до сегодняшнего дня, включая эпохи последних оледенений.

В Баренцевом море существует сложная система поверхностных течений (Гидрометеорология..., 1990). Наиболее мощное из них – Нордкапское, входящее со стороны Атлантики вдоль Скандинавского полуострова и разделяющееся восточнее на несколько ветвей. Воды Арктического бассейна направлены к югу от архипелага Земля Франца-Иосифа и вдоль востока Шпицбергена. На северо-востоке в Баренцево море входит течение Макарова, а через пролив Карские Ворота – течение Литке. Движение “тяжелых” придонных рассолов, обогащенных взвесью и возникающих при отжиме солей во время образования на поверхности моря льдов, имеет иную конфигурацию (Лисицын, 2001).

Водосбор Баренцева моря гетерогенен. Кольский полуостров сложен в основном гранитоидными археями (Балтийский щит), присутствуют здесь также габбро, габбро-нориты и габбро-диабазы (Митрофанов, 2001). В Тимано-Канинской складчатой системе распространены габброиды, граносиениты, а также щелочные магматические породы (Геологическое..., 1984). На архипелаге Шпицберген известны гранитные массивы, сходные с гранитоидами Кольского полуострова, а также вулканы среднего и кислого состава, граниты-рапакиви, долериты, габброиды, субщелочные массивы и траппы. На Земле Франца-Иосифа присутствуют юрские и меловые базальты и долериты (траппы) (Dibner, 1998; Чернышева и др., 2003; Столбов, 2005). На Новой Земле, являющейся продолжением Урала, можно видеть долериты, габбро, габбро-диабазы, пикриты, пикродиабазы и массивы гранитоидов (Геологическое..., 1984). Литогенный материал поступает в акваторию Баренцева моря в результате размыва материковых, островных и подводных поднятий, абразии берегов, а также при участии ледниковой экзарации и осаднения из атмосферы (Elverhøi et al., 1989; Шевченко и др., 1997; Айбулатов и др., 1999; Levitan, Lavrushin, 2009; Государственная..., 2013).

Тонкозернистый взвешенный материал, выносимый крупными речными артериями на континентальные шельфы Северного Ледовитого океана, отлагается преимущественно в их пределах, однако часть его перераспределяется по всему Арктическому бассейну морскими течениями (Трансполярный дрейф, круговорот Бофорта и

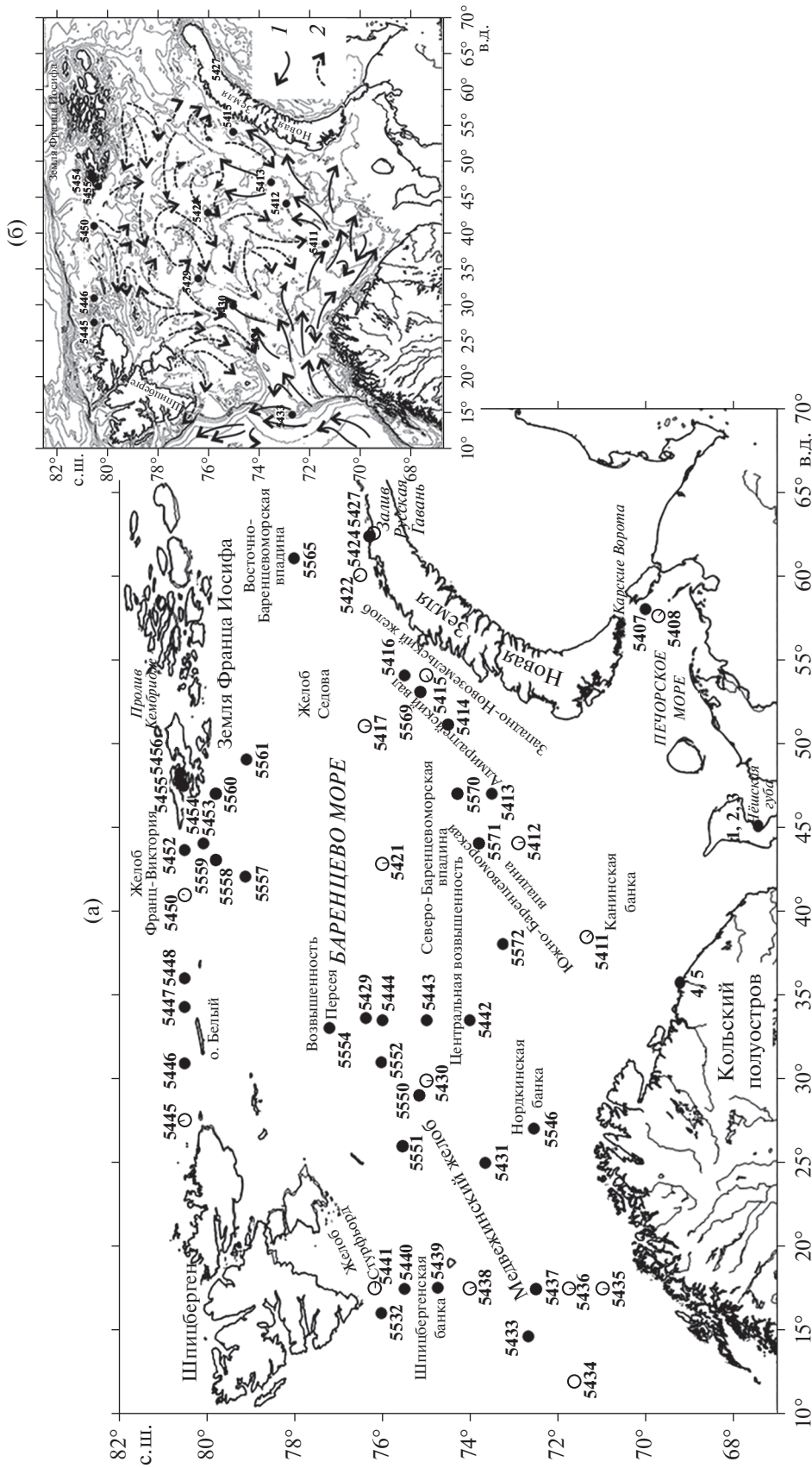
другие) во взвешенном состоянии или в составе дрейфующего льда (ice-rafted sediments). Для идентификации источников этого материала используются минералогический, литологический и геохимический методы, а также анализ биомаркеров. В последние годы для реконструкции состава пород в областях размыва начал применяться анализ изотопного состава Sr, Pb и Nd донных осадков (Goldstein, Hemming, 2003). В настоящее время опубликованы данные об изотопной систематике донных осадков примерно в 110 точках акватории Северного Ледовитого океана (Maccali et al., 2018), при этом акватория Баренцева моря (~1424 тыс. км<sup>2</sup>) охарактеризована всего пятью точками.

Максимальная информативность в установлении источников силикокластики достигается при использовании данных по Rb–Sr и Sm–Nd изотопным системам донных осадков. Однако многое зависит от локальных особенностей. Так, взвесь р. Маккензи имеет достаточно хорошо распознаваемый “радиогенный сигнал” и идентифицируется по всей акватории моря Бофорта. Изотопные характеристики взвеси крупных российских рек не столь отчетливы, а интенсивное смешение материала на шельфах Евразийской части Северного Ледовитого океана как следствие ледового разноса и локальных течений также затрудняет расшифровку его источников (Maccali et al., 2018).

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В данной публикации проанализировано распределение Sc, Co, Hf, Cr, Th и редкоземельных элементов (РЗЭ) – элементов, позволяющих в той или иной мере судить о составе пород-источников тонкозернистого обломочного материала (McLennan et al., 1993; Cullers, 2002; Lentz, 2003; Arribas et al., 2007; Dou et al., 2010; Yan et al., 2012) в пробах поверхностных донных осадков (пелитовые, алевроито-пелитовые и песчано-алеврито-пелитовые илы), отобранных дночерпателем в 67-м и 68-м рейсах НИС “Академик Мстислав Келдыш” (Политова и др., 2018; Кравчишина и др., 2019) и пробах, отобранных в Чешской губе (пробы 1, 2 и 3) и заливах Кольского полуострова (проба 4 – губа Ярнышная, проба 5 – губа Дальнезеленецкая) (рис. 1, табл. 1). Гранулометрический состав донных осадков изучен методом весового водно-механического анализа (Петелин, 1961) в ИО РАН. Определение содержания редких и рассеянных элементов проведено методом ICP-MS в ИГГ УрО РАН (аналитики – Д.В. Киселева, Н.В. Черединой и Л.К. Дерюгина) по методике, описанной ранее (Маслов и др., 2014). Перед исследованиями пробы не подвергались какой-либо обработке.

Нами также определен изотопный состав Nd, Pb и Sr в 17 пробах пелитовых, алевроито-пелитовых и песчано-алеврито-пелитовых илов. Подготовка образцов для определения изотопного со-



**Рис. 1.** Схемы расположения точек отбора проб поверхностных донных осадков Баренцева моря в 67-м и 68-м рейсах НИС "Академик Мстислав Келдыш", а также проб донных осадков из Чёшской губы и губ Кольского полуострова (незалитые кружки – пробы, для которых определен, в том числе и изотопный состав Nd, Pb и Sr) (a) и поверхностных течений в акватории Баренцева моря (Гидрометеорология..., 1990; Vogt, Klies, 2009) (б). 1 – течения, входящие в Баренцево море со стороны Атлантического океана; 2 – то же, со стороны Арктического бассейна. На части (б) показаны только некоторые точки отбора проб.

**Таблица 1.** Содержание ряда редких и рассеянных элементов (г/т) во всех исследованных пробах, координаты мест их отбора и концентрация фракций менее 0.005 и менее 0.001 мм

	Чёская губа			Ярншная губа	Дальнеземецкая губа	Рейс 67													
	Номер станции, точки отбора магерияла																		
	1	2	3			4	5	5407	5408	5411	5412	5413	5413-2	5414	5415	5416	5417	5421	5421-3
Компоненты	Широта, градусы с.ш.																		
	Долгота, градусы в.д.																		
	67.332			69.112	69.118	70.000	69.708	71.350	72.900	73.500	73.500	73.500	74.505	75.000	75.500	76.393	75.997	42.794	42.794
	44.863			36.050	36.073	57.967	57.550	38.450	44.041	47.003	47.003	47.003	51.083	54.000	54.000	51.000	42.794	42.794	
Sc	8.87	5.32	7.01	4.03	4.41	4.27	3.37	11.18	8.22	9.57	13.49	5.24	13.63	9.06	13.66	12.63	14.09	15.04	
Cr	61.07	60.07	70.28	19.65	27.85	35.82	33.14	76.81	49.75	63.68	116.2	31.56	106.5	71.50	85.59	92.45	97.19	97.63	
Co	5.73	9.24	8.88	4.11	3.89	4.30	4.42	10.00	7.29	9.06	16.11	4.67	12.31	10.16	12.89	11.99	12.60	12.75	
Zr	146.21	107.53	108.74	140.1	136.1	61.79	66.61	71.34	59.32	71.89	128.1	67.99	86.98	84.74	82.96	78.72	81.50	82.61	
La	16.70	9.78	11.50	8.60	9.45	11.63	13.78	20.00	16.47	21.85	13.80	20.17	23.32	19.32	23.72	24.77	24.31	24.78	
Ce	31.51	20.81	23.57	18.06	18.67	24.27	28.71	41.12	34.23	44.92	30.76	41.21	47.57	39.92	48.21	50.13	49.95	50.45	
Pr	3.84	2.43	2.82	2.17	2.20	2.69	3.14	4.77	3.84	4.98	3.76	4.64	5.57	4.58	5.40	5.56	5.53	5.63	
Nd	14.86	9.33	11.05	8.12	8.17	10.29	11.81	18.06	14.42	18.57	14.71	17.30	21.04	17.63	20.09	20.71	20.72	20.78	
Sm	3.09	1.86	2.34	1.56	1.59	1.90	2.19	3.36	2.68	3.43	3.03	3.27	4.16	3.33	3.73	3.83	3.94	3.89	
Eu	0.70	0.46	0.58	0.37	0.41	0.52	0.58	0.80	0.73	0.89	0.73	0.95	1.01	0.84	0.91	0.89	0.95	0.91	
Gd	2.89	1.67	2.16	1.31	1.39	1.79	2.02	3.29	2.93	3.69	3.10	3.57	4.09	3.19	3.78	3.82	3.94	3.90	
Tb	0.40	0.22	0.29	0.17	0.18	0.24	0.28	0.45	0.34	0.45	0.39	0.42	0.53	0.42	0.49	0.49	0.49	0.49	
Dy	2.56	1.38	1.83	1.03	1.10	1.32	1.52	2.52	1.80	2.31	2.19	2.16	3.01	2.39	2.60	2.70	2.76	2.74	
Ho	0.51	0.28	0.37	0.20	0.22	0.26	0.30	0.49	0.36	0.44	0.44	0.42	0.60	0.46	0.50	0.52	0.52	0.55	
Er	1.54	0.82	1.09	0.57	0.64	0.78	0.87	1.45	1.10	1.32	1.36	1.23	1.77	1.38	1.47	1.54	1.53	1.59	
Tm	0.23	0.12	0.16	0.08	0.09	0.11	0.13	0.21	0.15	0.20	0.22	0.18	0.25	0.20	0.22	0.22	0.23	0.23	
Yb	1.52	0.79	1.08	0.51	0.59	0.76	0.85	1.42	1.11	1.30	1.51	1.23	1.69	1.40	1.41	1.37	1.48	1.45	
Lu	0.23	0.12	0.16	0.08	0.09	0.11	0.12	0.21	0.14	0.19	0.23	0.18	0.25	0.20	0.20	0.21	0.21	0.22	
Hf	3.49	2.58	2.58	3.04	2.97	1.54	1.70	1.80	1.59	1.94	3.07	1.88	2.24	2.19	2.09	1.86	2.00	2.01	
Th	4.35	2.17	2.72	2.83	1.78	2.28	2.62	5.89	5.21	5.53	4.79	4.26	6.18	4.60	5.95	6.20	6.40	6.49	
Фракция <0.005 мм, %	-	-	-	-	-	12.25	31.02	57.20	38.60	76.93	-	25.43	70.89	9.90	77.32	73.25	-	-	
Фракция <0.001 мм, %	-	-	-	-	-	7.32	23.29	41.45	23.39	55.54	-	16.45	48.25	6.01	53.14	49.74	-	-	

Таблица 1. Продолжение

Компоненты		Рейс 67														
		Номер станции, точки отбора материала														
		5422	5424	5427	5429	5430	5431	5433	5434	5435	5436	5437	5438	5439	5440	5441
		Широта, градусы с.ш.														
		76.501	76.204	76.293	76.383	75.000	73.667	72.667	71.630	71.000	71.752	72.500	74.000	74.753	75.500	76.169
		Долгота, градусы в.д.														
60.002		62.487	62.306	33.630	29.837	25.004	14.668	11.950	17.500	17.505	17.502	17.498	17.526	17.506	17.495	
Sc	6.72	17.26	11.77	10.43	10.34	12.05	7.31	16.22	8.87	5.92	6.15	4.08	3.90	6.81	10.73	
Cr	79.97	84.02	78.94	63.37	86.56	81.85	43.98	45.75	40.57	42.23	34.51	29.98	27.44	45.10	72.51	
Co	10.33	15.39	15.42	9.28	11.72	12.96	7.95	16.60	13.56	7.96	7.24	5.24	4.28	6.98	9.97	
Zr	107.8	115.8	72.37	76.03	78.00	86.78	61.57	49.35	39.74	64.05	57.33	31.73	43.01	65.57	80.60	
La	10.59	23.62	18.90	21.63	23.84	22.36	15.62	18.48	14.57	13.18	14.08	8.86	8.16	13.79	26.09	
Ce	20.59	49.32	38.34	44.34	49.79	47.64	32.75	36.28	26.95	26.61	27.99	16.69	15.08	26.71	52.13	
Pr	2.58	5.76	4.56	4.88	5.40	5.08	3.73	4.34	3.32	3.14	3.21	2.04	1.90	3.19	5.92	
Nd	9.80	22.37	17.57	18.35	20.04	18.89	14.42	16.62	12.75	12.02	11.97	7.77	7.30	12.23	22.12	
Sm	1.94	4.42	3.37	3.36	3.72	3.55	2.71	3.26	2.39	2.28	2.32	1.55	1.45	2.37	4.20	
Eu	0.52	1.13	0.84	0.82	0.93	0.83	0.75	0.85	0.62	0.63	0.69	0.38	0.36	0.60	0.99	
Gd	2.02	4.28	3.34	3.26	4.11	3.44	2.74	3.84	2.40	2.39	2.51	1.56	1.51	2.68	4.92	
Tb	0.27	0.53	0.40	0.43	0.49	0.44	0.37	0.46	0.32	0.32	0.31	0.21	0.20	0.34	0.58	
Dy	1.45	2.84	2.15	2.29	2.62	2.37	2.08	2.43	1.75	1.78	1.67	1.15	1.14	1.86	3.10	
Ho	0.29	0.54	0.42	0.45	0.49	0.45	0.41	0.46	0.35	0.36	0.33	0.22	0.23	0.37	0.58	
Er	0.87	1.68	1.24	1.32	1.46	1.35	1.22	1.37	1.02	1.09	0.97	0.67	0.69	1.10	1.69	
Tm	0.13	0.25	0.19	0.19	0.21	0.20	0.18	0.19	0.14	0.16	0.14	0.10	0.10	0.16	0.25	
Yb	0.94	1.79	1.33	1.24	1.46	1.31	1.22	1.24	0.97	1.06	0.92	0.64	0.63	1.10	1.60	
Lu	0.14	0.27	0.20	0.19	0.21	0.19	0.17	0.17	0.13	0.15	0.14	0.10	0.09	0.16	0.24	
Hf	2.72	2.75	1.66	1.95	2.06	2.14	1.61	1.23	0.95	1.59	1.37	0.76	1.08	1.58	2.10	
Th	2.58	6.53	5.10	5.40	6.62	5.88	3.45	4.32	2.89	3.00	3.35	2.33	2.29	4.16	7.40	
Фракция <0.005 мм, %	56.82	71.21	37.82	28.02	56.90	78.55	28.24	72.78	33.14	18.66	40.58	26.60	11.86	12.66	78.63	
Фракция <0.001 мм, %	48.74	45.82	23.04	42.89	52.66	58.36	19.19	45.32	21.96	12.08	27.11	16.03	7.14	8.63	49.44	

Таблица 1. Продолжение

		Рейс 67															
		Номер станции, точки отбора материала															
		5442	5443	5444	5445	5446	5447	5448	5450	5452	5453	5453-2	5453-7	5454	5455	5456	
Компоненты		Широта, градусы с.ш.															
		74.001	75.001	76.001	80.500	80.499	80.500	80.500	80.500	80.500	80.500	80.501	80.333	80.333	80.333	80.534	80.614
		Долгота, градусы в.д.															
Sc		33.501	33.502	33.502	27.506	30.900	34.294	36.000	40.931	43.633	46.446	46.446	46.446	47.702	47.407	48.253	
Cr		9.46	4.63	9.01	10.26	10.27	15.26	15.24	9.80	15.47	20.32	19.83	23.06	24.41	21.81	22.77	
Co		77.02	30.22	98.96	62.94	65.92	59.60	85.06	67.42	96.42	92.91	77.86	88.11	88.61	86.17	93.22	
Zr		10.82	4.67	12.53	9.90	10.69	14.63	30.89	14.19	27.28	32.62	29.10	32.93	35.84	35.96	37.88	
La		95.71	43.03	110.1	86.27	79.51	56.78	83.70	86.90	98.78	104.4	93.81	96.90	102.3	101.8	105.4	
Ce		15.00	13.64	10.71	25.91	25.94	17.91	23.79	21.03	25.56	17.59	18.44	17.24	16.02	16.18	15.73	
Pr		32.86	28.54	20.92	55.29	54.01	37.01	48.79	43.85	52.25	36.70	37.82	36.45	33.37	33.47	32.94	
Nd		3.84	3.13	2.65	6.19	6.04	4.15	5.43	4.99	5.86	4.28	4.45	4.26	4.06	4.10	4.03	
Sm		14.55	12.24	10.15	22.70	21.93	16.02	20.06	19.11	22.38	16.95	17.57	16.65	16.82	16.70	16.27	
Eu		2.73	2.38	1.92	4.37	4.25	3.04	3.83	3.72	4.46	3.70	3.86	3.56	3.80	3.77	3.71	
Gd		0.70	0.73	0.49	0.96	0.90	0.72	0.90	0.88	1.10	1.05	1.09	1.00	1.05	1.11	1.07	
Tb		2.65	2.70	1.99	4.28	3.91	2.97	3.85	3.55	4.50	4.31	4.65	4.11	4.23	4.69	4.56	
Dy		0.36	0.32	0.25	0.53	0.50	0.38	0.49	0.49	0.61	0.59	0.63	0.56	0.62	0.63	0.62	
Ho		2.07	1.67	1.36	2.75	2.77	2.05	2.66	2.62	3.44	3.42	3.46	3.35	3.63	3.73	3.62	
Er		0.41	0.32	0.26	0.50	0.51	0.39	0.52	0.51	0.68	0.67	0.68	0.66	0.73	0.74	0.71	
Tm		1.22	0.92	0.79	1.40	1.45	1.13	1.54	1.50	2.01	2.01	2.04	1.96	2.17	2.17	2.07	
Yb		0.18	0.14	0.12	0.19	0.21	0.16	0.22	0.22	0.29	0.28	0.29	0.28	0.30	0.30	0.31	
Lu		1.22	0.88	0.78	1.30	1.31	1.07	1.50	1.50	1.88	1.85	1.92	1.82	1.97	1.95	2.01	
Hf		0.18	0.13	0.12	0.18	0.19	0.15	0.21	0.22	0.27	0.28	0.28	0.27	0.29	0.29	0.28	
Th		2.38	1.20	2.71	2.27	2.08	1.42	2.11	2.24	2.46	2.44	2.41	2.33	2.39	2.46	2.51	
Фракция <0.005 мм, %		4.75	3.32	3.05	8.49	8.69	5.36	7.00	5.94	6.83	4.23	4.55	4.15	3.72	3.66	3.51	
Фракция <0.001 мм, %		64.00	22.36	56.38	4.06	54.43	24.79	77.98	60.21	—	68.65	—	—	81.10	78.69	73.10	
		50.16	17.67	34.86	2.84	44.83	16.07	49.3	47.12	—	43.78	—	—	56.54	59.53	52.63	

Таблица 1. Окончание

Компоненты		Рейс 68															
		Номер станции, точки отбора материала															
		5532	5546	5550	5551	5552	5554	5557	5558	5559	5560	5561	5565	5569	5570	5571	5572
		76.014	72.549	75.158	75.554	76.021	77.213	79.128	79.799	80.063	79.805	79.083	78.000	75.151	74.297	73.817	73.253
		Долгота, градусы в.д.															
Sc		16.014	27.010	29.008	26.015	31.015	33.011	42.014	43.012	44.009	47.006	49.002	61.001	53.014	47.006	44.014	38.001
Cr		23.05	15.80	31.03	13.90	16.35	20.92	13.64	15.72	17.19	20.44	15.72	17.27	21.54	15.42	8.64	14.88
Co		99.12	77.30	113.9	105.7	100.3	90.59	75.24	72.44	68.23	75.78	57.29	72.56	122.8	100.9	71.06	80.97
Zr		15.49	12.25	15.01	11.81	13.29	13.69	14.53	16.35	18.07	16.25	14.55	18.93	14.94	12.00	6.54	10.29
La		132.1	137.2	134.7	139.4	123.8	122.9	126.5	123.2	98.05	110.4	103.2	101.6	131.8	118.8	114.6	113.5
Ce		22.96	16.81	15.56	13.91	16.89	12.97	11.94	13.92	14.37	16.29	18.65	15.57	18.33	16.71	9.06	14.62
Pr		44.08	34.97	28.13	22.23	29.33	24.83	24.01	22.46	26.91	29.49	30.69	25.87	34.23	28.69	18.55	27.75
Nd		5.36	4.08	3.57	2.85	3.73	3.08	2.74	3.09	3.51	3.86	4.51	3.52	4.60	4.01	2.24	3.44
Sm		19.61	14.96	12.89	9.98	13.48	11.28	10.03	11.12	12.54	14.33	17.48	12.65	17.27	14.88	8.32	12.54
Eu		4.01	2.98	2.71	1.94	2.76	2.41	2.04	2.14	2.41	2.92	3.69	2.46	3.75	3.13	1.76	2.52
Gd		0.90	0.72	0.64	0.45	0.65	0.59	0.46	0.49	0.57	0.70	0.87	0.56	0.88	0.73	0.45	0.61
Tb		3.49	2.61	2.53	1.73	2.61	2.26	1.79	1.85	2.06	2.68	3.54	2.18	3.54	2.84	1.51	2.22
Dy		0.51	0.38	0.39	0.26	0.38	0.34	0.26	0.28	0.31	0.42	0.50	0.34	0.52	0.42	0.22	0.33
Ho		3.00	2.18	2.31	1.48	2.25	2.04	1.69	1.75	1.90	2.66	3.19	2.09	3.07	2.47	1.31	1.89
Er		0.60	0.44	0.47	0.30	0.45	0.42	0.34	0.36	0.38	0.53	0.65	0.42	0.62	0.49	0.25	0.38
Tm		1.75	1.27	1.41	0.89	1.36	1.27	0.99	1.03	1.14	1.60	1.90	1.25	1.86	1.46	0.76	1.15
Yb		0.25	0.18	0.21	0.13	0.20	0.19	0.15	0.15	0.16	0.24	0.28	0.18	0.28	0.23	0.11	0.17
Lu		1.72	1.23	1.45	0.90	1.39	1.33	1.00	1.09	1.15	1.65	1.96	1.36	1.83	1.48	0.79	1.18
Hf		0.25	0.18	0.22	0.13	0.21	0.19	0.15	0.15	0.17	0.25	0.30	0.20	0.28	0.21	0.12	0.17
Th		2.99	3.04	3.30	3.49	3.10	3.01	4.74	4.58	4.15	4.85	4.06	4.11	3.32	3.01	2.67	2.79
Фракция <0.005 мм, %		6.05	4.16	4.15	3.10	4.05	3.91	3.76	4.07	4.57	6.39	7.48	4.72	5.24	4.59	2.10	3.62
Фракция <0.001 мм, %		73.61	56.37	71.03	80.55	81.97	47.45	86.77	81.95	45.13	78.12	85.22	84.51	82.38	78.28	66.1	68.72
Примечания. Прочерк – нет данных.		53.99	40.96	50.20	64.03	55.32	31.89	58.21	56.18	30.01	51.99	56.89	55.35	57.39	55.17	47.04	50.41

**Таблица 2.** Изотопный состав Nd, Pb и Sr современных донных осадков Баренцева моря (валовые пробы), отобранных в 67 рейсе НИС “Академик Мстислав Келдыш”

Станция	Sm, г/г	Nd, г/г	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	$\epsilon_{\text{Nd}}(t)$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$
5408	3.2	15.6	0.1229	0.51204	-11.8	0.7137	0.8445
5411	4.6	24.9	0.1245	0.51195	-13.5	0.7176	0.8364
5412	3.7	19.9	0.1138	0.51202	-12.1	0.7169	0.8421
5415	5.3	26.8	0.1190	0.51215	-9.6	0.7152	0.8300
5417	5.2	26.3	0.1142	0.51197	-13.1	0.7167	0.8345
5421	5.1	27.1	0.1136	0.51198	-12.9	0.7158	0.8346
5422	4.8	25.1	0.1166	0.51219	-8.7	0.7150	0.8365
5424	5.9	28.9	0.1226	0.51225	-7.5	0.7139	0.8346
5430	4.9	25.8	0.1139	0.51203	-11.9	0.7171	0.8055
5434	4.4	22.8	0.1186	0.51200	-12.5	0.7112	0.8382
5435	3.9	20.9	0.1154	0.51195	-13.5	0.7111	0.8391
5436	2.4	12.1	0.1174	0.51199	-12.6	0.7107	0.8438
5438	3.4	18.2	0.1131	0.51181	-16.2	0.7108	0.8381
5441	5.6	30.5	0.1107	0.51242	-4.3	0.7165	0.8386
5445	7.3	40.0	0.1105	0.51206	-11.4	0.7248	0.8271
5450	5.0	25.4	0.1182	0.51218	-8.9	0.7160	0.8340
5453	6.3	29.1	0.1307	0.51239	-4.8	0.7110	0.8874

става Sr, Pb и Nd проведена в соответствии с методикой, разработанной для глин и силикатных фракций карбонатных осадков (Кузнецов и др., 2005; Горохов и др., 2007; Овчинникова и др., 2007). Изотопный анализ выполнен на многоколлекторном масс-спектрометре Triton TI в ИГГД РАН (г. Санкт-Петербург). Точность определения отношений  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  ( $\pm 0.002\%$ ),  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  ( $\pm 0.004\%$ ) и  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  ( $\pm 0.1\%$ ) контролировалась путем многократного измерения соответствующих стандартов SRM-987, JNdi-1 и BCR-1. Величины  $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$  рассчитаны с использованием значений для CHUR ( $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.512638$ ,  $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd} = 0.1967$ ) на условный возраст отложений 100 тыс. лет (табл. 2), исходя из оценок возраста поверхностного слоя осадков Северного Ледовитого океана (Гусев и др., 2017; Dipre et al., 2018).

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для реконструкции состава пород-источников тонкой алюмосиликокластики мы пошли двумя путями. Во-первых, провели сопоставление присутствующих поверхностным донным осадкам Баренцева моря величин ряда индикаторных отношений редких и рассеянных элементов с их значениями в таких референтных объектах, как граниты архея (предполагаемые источники – Кольский п-ов и Шпицберген), палеозойские андезиты (предполагаемые источники – Урал и Новая Земля), а также мезо-кайнозойские базальты (предполагаемый источник – Земля Франца-Иосифа, все по (Condie, 1993). Кроме того привлечены данные (Чернышева и др., 2003) о распределении Co, Hf,

Се, Cr, Th и PЗЭ в вулканических породах Земли Франца-Иосифа. Во-вторых, выполнили анализ распределения в поверхностных донных осадках Баренцева моря и потенциальных комплексах пород-источников тонкой алюмосиликокластики значений  $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}$  и  $(\text{Gd}/\text{Yb})_{\text{N}}$ . Для этого были обобщены данные о содержании PЗЭ в подобных комплексах, приведенные в публикациях (Siedlecka et al., 1985; Минц и др., 1996; Ветрин и др., 2001, 2013; Чернышева и др., 2003; Столбов, 2005; Кудряшов, Мокрушин, 2011; Сироткин, 2012; Мысцова, Милькевич, 2016).

Определенный нами для 17 проб пелитовых, алевроито-пелитовых и песчано-алеврито-пелитовых илов изотопный состав Nd, Pb и Sr сопоставлен с использованием диаграмм  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}-\epsilon_{\text{Nd}}$  и  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}-\epsilon_{\text{Nd}}$  с составом указанных элементов в поверхностных донных осадках моря Бофорта, Восточно-Сибирского и Карского морей, моря Лаптевых, а также Печорского моря. К сравнению были привлечены также данные об изотопном составе Sr и Nd в базальтах Земли Франца-Иосифа и Шпицбергена, каледонидах Северной Норвегии и комплексах пород ряда других референтных объектов, представленных как на Европейской континентальной окраине, так и на обрамляющих Баренцево море архипелагах островов. Результаты такого анализа заполняют значительный пробел в изотопной характеристике поверхностных донных осадков Баренцева моря – крупного окраинно-шельфового бассейна Северного Ледовитого океана.



*Распределение редких и рассеянных элементов  
в поверхностных донных осадках*

Минимальное содержание Sc почти в поверхностных донных осадках Баренцева моря составляет 3.37 г/т (станция 5408), что почти в 10 раз меньше максимального содержания (31.03 г/т, ст. 5550) этого элемента в нашей выборке образцов (табл. 1). Среднее содержание Sc составляет  $13.01 \pm 6.11$  г/т ( $(0.81 \pm 0.38)$  PAAS<sup>1</sup>). Между содержанием Sc в пробах и концентрацией фракции менее 0.005 мм наблюдается значимая на 1% уровне умеренная положительная корреляция ( $r = 0.68$ )<sup>2</sup>.

Содержание Sr в исследованной нами выборке проб равно  $75.4 \pm 23.3$  г/т ( $(0.68 \pm 0.21)$  PAAS). Максимальное содержание Sr (122.8 г/т) наблюдается в алевритовых/алевроито-пелитовых илах ст. 5569 (Адмиралтейский вал), минимальное (19.7 г/т) – в песчано-алевроито-пелитовых илах (проба 4, Ярнышная губа). Содержание Sr и содержание фракции менее 0.005 мм характеризуются умеренной положительной корреляцией ( $r = 0.72$ ).

Содержание Co в поверхностных донных осадках Баренцева моря составляет  $14.33 \pm 8.41$  г/т ( $(0.62 \pm 0.37)$  PAAS; минимум – 0.17 PAAS, проба 5, песчано-алевроито-пелитовые илы, Дальнезеленецкая губа; максимум – 1.65 PAAS, ст. 5456, пелитовые и алеврито-пелитовые илы, пролив Кембридж). Между содержанием кобальта и содержанием фракции менее 0.005 мм в поверхностных осадках Баренцева моря существует значимая на 1% уровне весьма умеренная положительная корреляция ( $r = 0.60$ ).

Содержание Zr в наших пробах составляет всего  $(0.44 \pm 0.13)$  PAAS ( $91.92 \pm 27.90$  г/т). Оно варьирует от 31.97 г/т (ст. 5438) до 140.1 г/т (проба 4, Ярнышная губа), определяясь в значительной степени гранулометрическим составом осадков.

Минимальное содержание Hf (1.2 г/т) наблюдается в оливково-серых песчано-алевроито-пелитовых илах Центральной возвышенности (ст. 5443), максимальное (4.85 г/т) свойственно наилуку темно-коричневого цвета с пятнами окисления (ст. 5560, северная часть желоба Седова).

Содержание Se составляет  $34.88 \pm 10.27$  г/т ( $(0.44 \pm 0.13)$  PAAS). Оно варьирует от 18.55 (0.23 PAAS, ст. 5571, алеврито-пелитовый и пелитовый ил, Северо-Баренцевоморская впадина) до 54.01 г/т (0.68 PAAS, ст. 5446, песчано-алевроито-пелитовый ил, район к северу от о. Белый).

Содержание Th в исследованных нами пробах составляет  $4.7 \pm 1.53$  г/т ( $(0.32 \pm 0.1)$  PAAS). Максимальная концентрация Th (8.69 г/т) установле-

на в песчано-алевроито-пелитовых илах ст. 5446 (район к северу от о-ва Белый), минимальная (1.78 г/т) присуща песчано-алевроито-пелитовым илам (проба 5, Дальнезеленецкая губа).

Нормированное к PAAS (Taylor, McLennan, 1985) распределение Co, Hf, Ce, Sr и Th, а также суммы редкоземельных элементов в поверхностных донных осадках ряда районов Баренцева моря показано на рис. 2.

Суммарное содержание РЗЭ в исследованных пробах равно  $85.3 \pm 23$  г/т ( $(0.46 \pm 0.12)$  PAAS). Максимальная величина  $\Sigma$ РЗЭ (125.3 г/т) наблюдается в пелитовых илах, отобранных на ст. 5452 (желоб Франц-Виктория), минимальная (42.8 г/т) – в песчано-алевроито-пелитовых илах из Ярнышной губы. Между величиной  $\Sigma$ РЗЭ и содержанием фракции менее 0.001 мм в поверхностных донных осадках Баренцева моря наблюдается значимая на 1% уровне весьма умеренная положительная корреляция ( $r = 0.5$ ).

Значение  $(La/Yb)_{PAAS}$ <sup>3</sup> составляет  $1.01 \pm 0.16$  (минимум – 0.65, пролив Кембридж; максимум – 1.29, район к северу от о-ва Белый). Величина  $(Gd/Yb)_{PAAS}$ Среднее равна  $1.40 \pm 0.18$ . Значения  $(Eu/Eu^*)_{PAAS}$  варьируют от 1.08 (желоб Стур-Фьорд) до 1.31 (Печорское море).

Распределение нормированных на PAAS (Taylor, McLennan, 1985) редкоземельных элементов в поверхностных донных осадках ряда районов Баренцева моря показано на рис. 3. Приведенные здесь области показывают, что значительная часть исследованных нами проб имеет сходное с PAAS распределение лантаноидов, тогда как для некоторых других (Северо-Баренцевоморская впадина, желоб Франц-Виктория, пролив Кембридж и др.), можно предполагать присутствие продуктов размыва комплексов пород, сопоставимых со средними палеозойскими андезитами (предполагаемые источники – Урал и Новая Земля) и мезозойско-кайнозойскими базальтами (предполагаемый источник – Земля Франца-Иосифа).

*Положение точек состава донных осадков  
на дискриминантных диаграммах*

Соотношение в исследованных пробах величин Zr/Sc и Th/Sc позволяет, в соответствии с представлениями (McLennan et al., 1993), сделать вывод, что состав тонкой алюмосиликокластики в них контролируется преимущественно составом пород питающих провинций (рис. 4). Следовательно, данные, полученные при анализе распределения фигуративных точек состава поверхностных донных осадков на различных дискриминантных

<sup>1</sup> Данные по содержанию химических элементов в среднем постаршейском австралийском сланце (PAAS) взяты из работы (Taylor, McLennan, 1985).

<sup>2</sup> Здесь и далее только по данным рейса 67.

<sup>3</sup> В средних палеозойских андезитах, мезозойско-кайнозойских базальтах и архейских гранитах (Condie, 1993) величина  $(La/Yb)_{PAAS}$  составляет соответственно 0.66, 0.30 и 1.85, а параметр  $(Eu/Eu^*)_{PAAS}$  равен 1.01, 1.65 и 0.74.

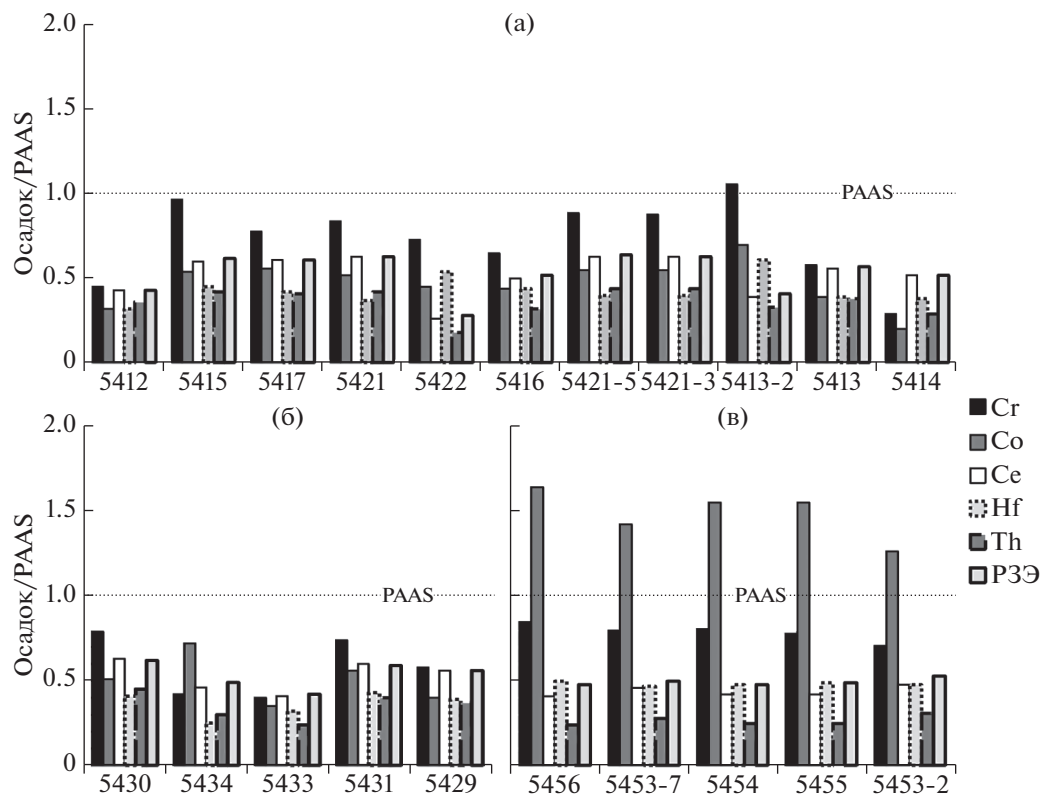


Рис. 2. Нормированное к РААС распределение Cr, Co, Ce, Hf, Th и ΣPЗЭ в поверхностных донных осадках ряда районов Баренцева моря (а – Южно- и Северо-Баренцевоморская впадины и Адмиралтейский вал, б – район Медвежинского желоба, в – район пролива Кембридж).

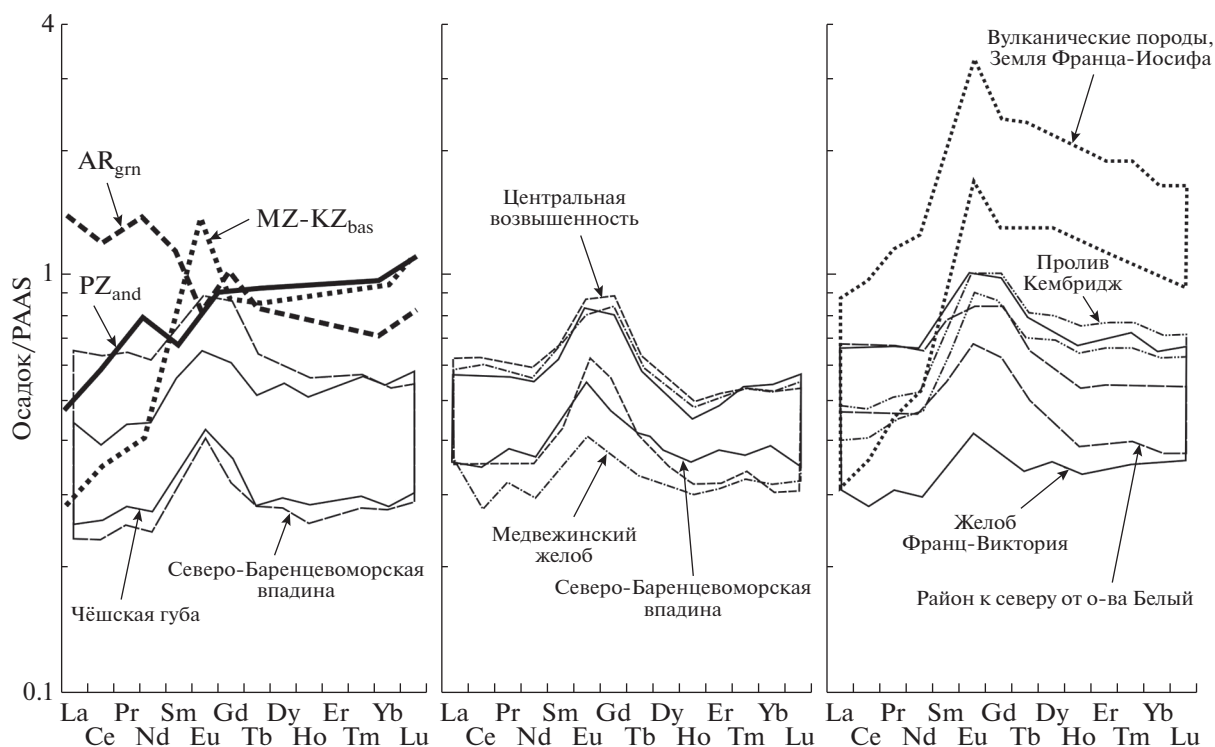


Рис. 3. Распределение нормированных на РААС редкоземельных элементов в поверхностных донных осадках ряда районов Баренцева моря, референтных объектах (AR<sub>grn</sub> – архейские граниты, MZ-KZ<sub>bas</sub> – мезо-кайнозойские базальты, PZ<sub>and</sub> – палеозойские андезиты) и вулканитах Земли Франца-Иосифа.

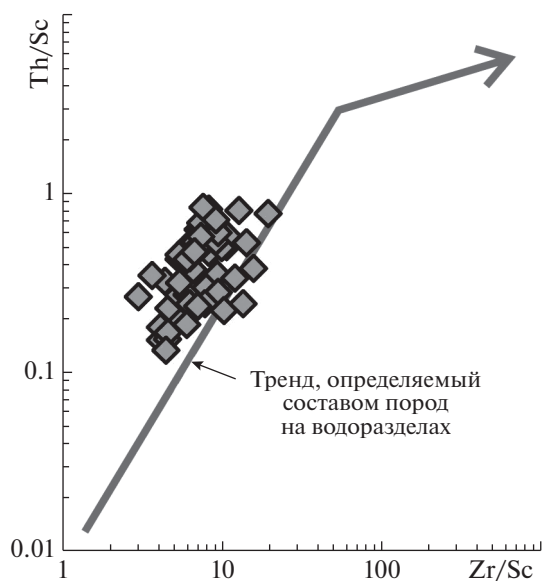


Рис. 4. Распределение всех точек поверхностных донных осадков Баренцева моря (все исследованные районы) на диаграмме  $Zr/Sc$ – $Th/Sc$ .

диаграммах, можно рассматривать как в достаточной степени корректные.

На диаграмме  $La/Sc$ – $Th/Co$  (Cullers, 2002) большинство точек поверхностных донных осадков Баренцева моря тяготеют к референтным точкам состава PAAS и палеозойских андезитов (рис. 5а). Ближе к области значений  $La/Sc$  и  $Th/Co$ , характерных для продуктов разрушения магматических пород основного состава, расположены точки проб, отобранных в проливе Кембридж. На диаграмме  $Hf$ – $La/Th$  (Floyd, Leveridge, 1987) практически все фигуративные точки поверхностных донных осадков расположены между областями составов, формирующихся за счет размыва зрелой континентальной коры и андезитовых (островодужных) источников (рис. 5б). Образованное ими поле тяготеет также к расположению референтных точек палеозойских андезитов и мезо-кайнозойских базальтов. На графике  $Sc$ – $Th/Sc$  (Taylor, McLennan, 1985) точки донных осадков Баренцева моря сосредоточены в основном между референтными точками PAAS и палеозойских андезитов (рис. 5в). Точки проб, отобранных в проливе Кембридж, и одна из проб, представляющих осадки Медвежинского желоба, расположены здесь между референтными точками палеозойских андезитов и мезо-кайнозойских базальтов.

На диаграмме  $\Sigma P3Э$ – $(La/Yb)_N$  примерно две трети точек осадков локализовано в области составов, типичных для осадочных образований, тогда как остальные расположены в области перекрытия составов осадочных пород и базальтов (рис. 5г). Здесь же присутствуют точки составов PAAS и палеозойских андезитов. Следует отме-

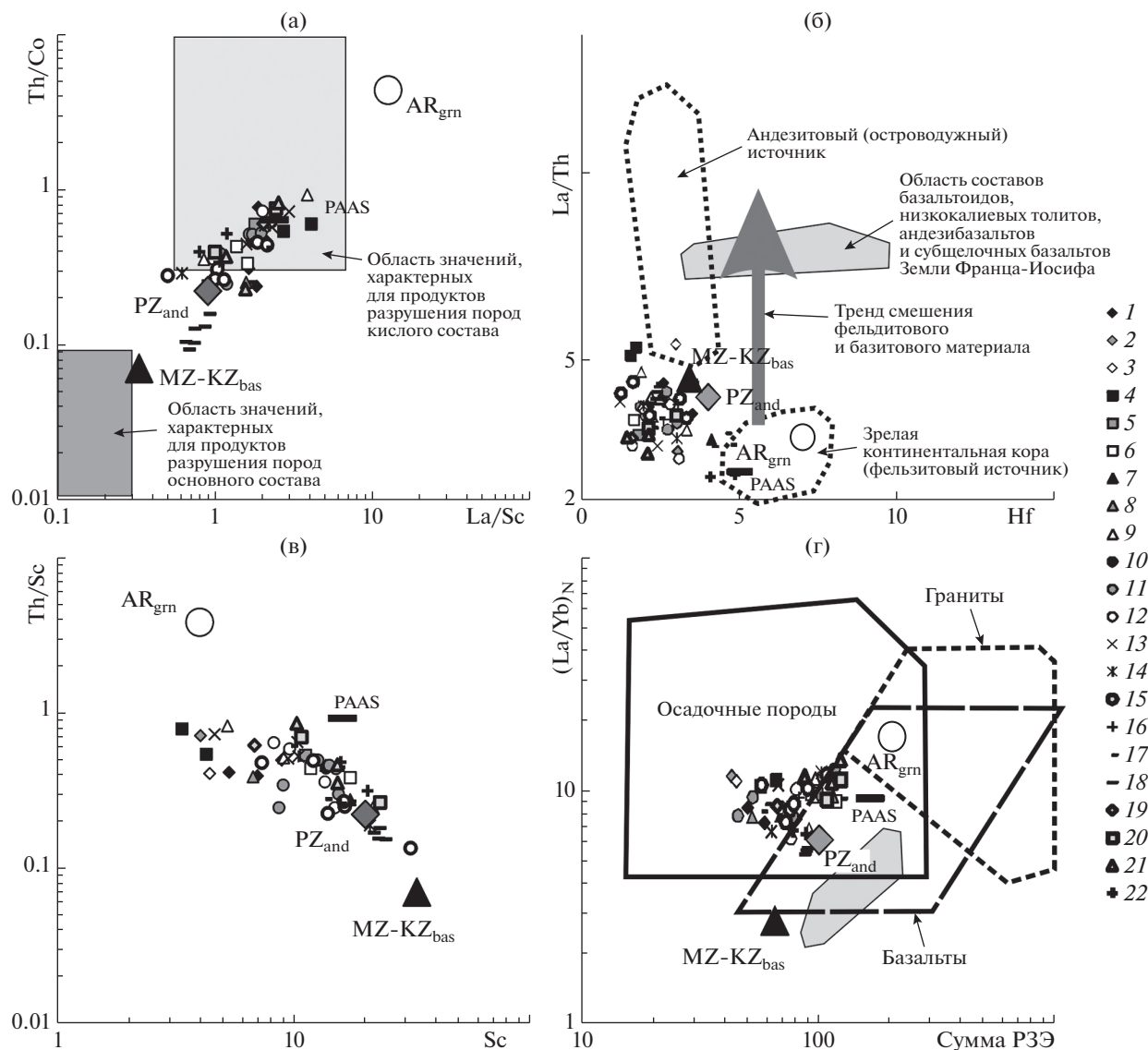
тить, что ни одна из точек осадков, отобранных в 67-м и 68-м рейсах НИС “Академик Мстислав Келдыш”, не попала на данном графике в область составов, образующихся за счет размыва гранитов, в том числе и архейских. Это, как и распределение точек осадков на других диаграммах, дает основание предполагать, что комплексы пород, слагающие Кольский полуостров, не являются основными источниками тонкой силикокластики для Баренцева моря.

На указанной диаграмме, как и на графиках  $Hf$ – $La/Th$  и  $Eu/Eu^*$ – $Sr/Th$ , не наблюдается тяготения поля составов поверхностных донных осадков Баренцева моря и к области базальтов и андезибазальтов Земли Франца-Иосифа, что также, по всей видимости, исключает существенное влияние последних на формирование  $Co$ -,  $Hf$ -,  $Sc$ -,  $Sr$ -,  $Th$ - и  $P3Э$ -систематики поверхностных донных отложений. Это подтверждается и характером распределения нормированных на PAAS спектров  $P3Э$  в поверхностных донных осадках подавляющего большинства районов Баренцева моря. Только пелитовые илы пролива Кембридж, расположенного в архипелаге Земля Франца-Иосифа, характеризуются спектрами  $P3Э$ , сходными со спектрами основных магматических пород, присутствующих на островах этого архипелага.

Поле составов поверхностных донных осадков Баренцева моря на диаграмме  $(La/Yb)_N$ – $(Gd/Yb)_N$  тяготеет к положению референтных точек архейских тоналит-трондьемит-гранитных ассоциаций и средних архейских гранитов, будучи при этом расположено несколько выше референтной точки PAAS (рис. 6). Исходя из того, что между полем поверхностных осадков Баренцева моря и рядом полей предполагаемых источников тонкой алюмосиликокластики на данной диаграмме практически нет перекрытий, мы можем предполагать, что такие, расположенные на севере Кольского полуострова, источники как Киркенес-гнейсы, габбро-анортозитовые массивы и гранит-мигматитовый комплекс Мурманского пояса (?) не играли существенной роли в формировании поверхностного слоя осадков.

#### *Изотопный состав Nd, Pb и Sr в поверхностных донных осадках Баренцева моря*

По данным (Massali et al., 2018) поверхностные донные осадки Канадского Арктического архипелага, Чукотского и Восточно-Сибирского морей, моря Лаптевых, Карского и Баренцева морей характеризуются в целом разбросом значений  $\epsilon_{Nd}$  от  $-19.5$  до  $-7.0$ , а величины отношений  $^{87}Sr/^{86}Sr$ ,  $^{208}Pb/^{204}Pb$ ,  $^{207}Pb/^{204}Pb$  и  $^{206}Pb/^{204}Pb$  варьируют в них соответственно в пределах  $0.744$ – $0.710$ ,  $39.4$ – $38.4$ ,  $15.7$ – $15.6$  и  $19.5$ – $18.3$ . Для поверхностных осадков Баренцева моря названные авторы приво-

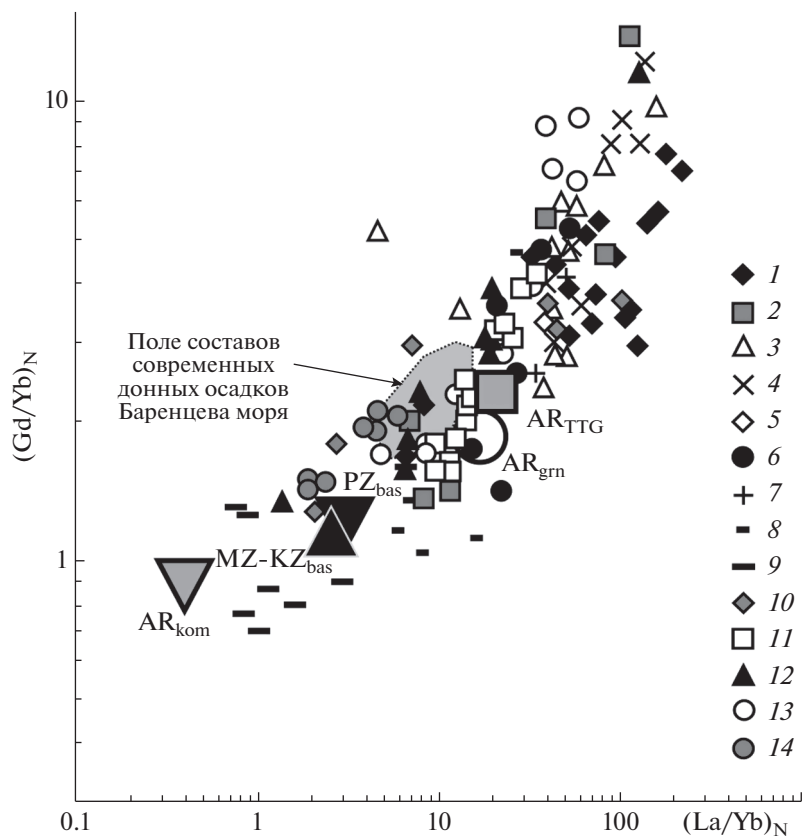


**Рис. 5.** Распределение точек состава поверхностных донных осадков Баренцева моря на диаграммах La/Sc–Th/Co (а), Hf–La/Th (б), Sc–Th/Sc (в) и  $\sum P3Э$ –(La/Yb)<sub>N</sub> (г). Районы отбора проб: 1 – Чёшская губа; 2 – Ярнышная губа; 3 – Дальнезеленецкая губа; 4 – Печорское море; 5 – склон Канинской банки; 6 – залив Русская Гавань; 7 – Восточно-Баренцевоморская впадина; 8 – Западно-Новоземельский желоб; 9 – Адмиралтейский вал; 10 – желоб Седова; 11 – Северо-Баренцевоморская впадина; 12 – Южно-Баренцевоморская впадина; 13 – Центральная возвышенность Персея; 15 – Медвежинский желоб; 16 – Нордкинская банка; 17 – желоб Франц-Виктория; 18 – пролив Кембридж; 19 – Шпицбергенская банка; 20 – желоб Стур-Фьорд; 21 – район к северу от о-ва Белый; 22 – северная часть желоба Седова. PAAS – по (Taylor, McLennan, 1985); AR<sub>grn</sub> – архейские граниты; MZ-KZ<sub>bas</sub> – мезозойско-кайнозойские базальты; PZ<sub>and</sub> – палеозойские андезиты, все по (Condie, 1993).

дят следующие значения:  $\epsilon_{Nd}$  – от –14.7 до –9,  $^{87}Sr/^{86}Sr$  – от 0.7248 до 0.7375 и  $^{207}Pb/^{206}Pb$  – от 0.808 до 0.835. Полученные нами данные для осадков Баренцева моря находятся несколько в иных рамках:  $\epsilon_{Nd}$  от –16.2 до –4.3 и  $^{87}Sr/^{86}Sr$  от 0.7248 до 0.7107 (см. табл. 2, рис. 7). Более широкие вариации, установленные в данной работе, объясняются большим географическим охватом изученной акватории. Наши данные для поверхностных отложений Баренцева моря показывают

сходство изотопного состава стронция и свинца к данным для осадков моря Лаптевых (Maccali et al., 2018).

По данным (Maccali et al., 2018) при смещении с востока на запад значение  $^{87}Sr/^{86}Sr$  в донных осадках моря Лаптевых, Карского и Баренцева морей увеличивается, а величина  $^{207}Pb/^{206}Pb$  понижается. На диаграмме  $^{87}Sr/^{86}Sr$ – $\epsilon_{Nd}$ , построенной по материалам (Maccali et al., 2018) для осадков морей Российской Арктики и моря Бофорта,



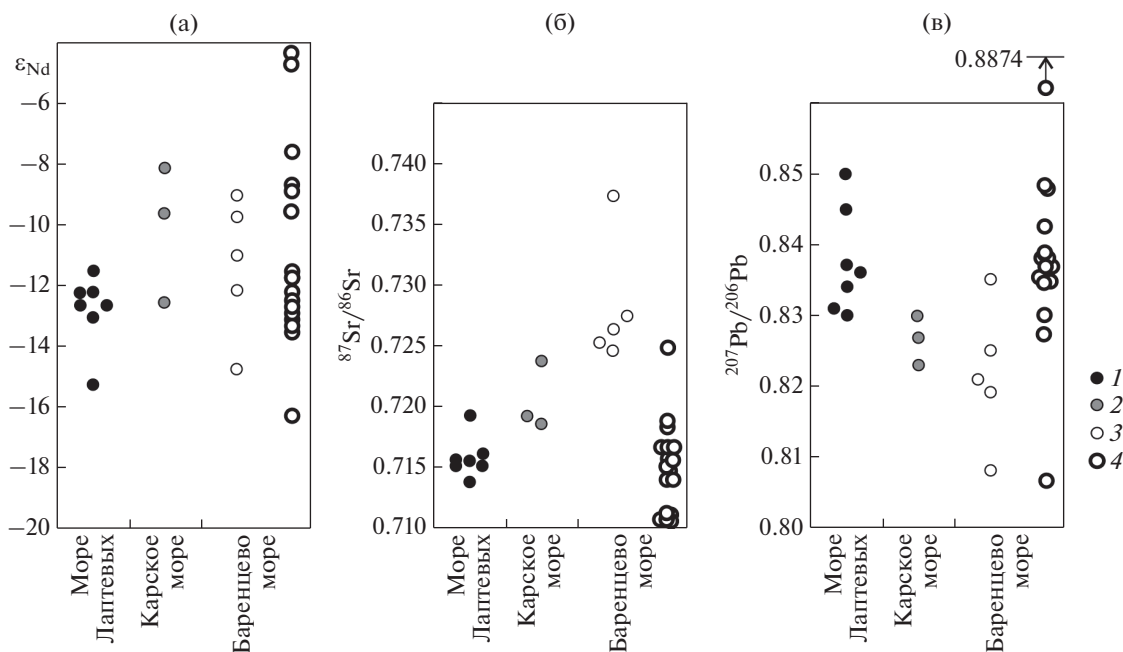
**Рис. 6.** Положение точек состава поверхностных донных осадков Баренцева моря (область с серой заливкой) и потенциальных источников тонкой алюмосиликокластики на диаграмме  $(La/Yb)_N - (Gd/Yb)_N$ . 1 – плагиогнейсы Кольской сверхглубокой скважины (Ветрин и др., 2001); 2 – Гарсио-гнейсы (Ветрин и др., 2001); 3 – Варангер-гнейсы (Ветрин и др., 2001); 4 – Киркенес-гнейсы (Ветрин и др., 2001); 5 – гранитоиды Мурманского блока (Ветрин и др., 2001); 6 – парагнейсы кольской серии (Ветрин и др., 2013); 7 – ортогнейсы кольской серии (Ветрин и др., 2013); 8 – гнейсы с высокоглиноземистыми минералами, Кольская сверхглубокая скважина (Ветрин и др., 2013); 9 – габбро-анортозитовые массивы (Патчеварекский, Северный и другие) (Кудряшов, Мокрушин, 2011); 10 – гранит-мигматитовый комплекс Мурманского пояса (Минц и др., 1996); 11 – главные типы пород кольской серии (Мыскова, Милькевич, 2016); 12 – метаморфические породы (биотитовые, амфибол-биотитовые и гранатовые гнейсы, амфиболиты) Восточного Шпицбергена (Сироткин, 2012); 13 – магматические породы (граниты, лампрофиры, метагабброиды, метапорфириты) Восточного Шпицбергена (Сироткин, 2012); 14 – базальты и андезитбазальты архипелага Земля Франца-Иосифа (Чернышева и др., 2003; Столбов, 2005).  $PZ_{bas}$  – средние палеозойские базальты;  $AR_{TTG}$  – средние архейские тоналит-гранодиорит-гранитные ассоциации;  $MZ-KZ_{bas}$  – средние мезозойско-кайнозойские базальты;  $AR_{grn}$  – средние архейские граниты;  $AR_{kom}$  – архейские коматииты, все по (Condie, 1993).

с привлечением оригинальных данных для Баренцева моря, хорошо видно практически полное совпадение Sr и Nd изотопных характеристик осадков Карского, Восточно-Сибирского и Баренцева морей, а также моря Лаптевых, и отсутствие такового для осадков моря Бофорта и Баренцева моря (рис. 8а). Пробы донных осадков из различных районов Баренцева моря на этой же диаграмме образуют компактные области, отражающие петрографический состав пород, размываемых вблизи мест их отбора. Наиболее высокие значения  $\epsilon_{Nd}$  (–9.6...–4.8) демонстрируют пробы из окрестностей Земли Франца-Иосифа и Новой Земли. Это указывает на присутствие в них большой доли мантийного материала, и предполагает размыв магматических пород преимущественно основного состава. Отношение  $^{87}Sr/^{86}Sr$  в указанных

осадках заключено в пределах 0.7110...0.7160 и строго зависит от значения  $\epsilon_{Nd}$ , демонстрируя обогащение мантийного материала коровой компонентой.

Вторую группу (–13.5 <  $\epsilon_{Nd}$  < –11.8) образуют пробы, отобранные в зоне Нордкапского течения, входящего в Баренцево море со стороны Атлантики и влияющего на состав донных осадков в его южной части. Пробы данной группы отобраны вблизи каледонид Северной Норвегии, палеозойских осадочных образований Тимана и кристаллических пород Балтийского щита. Отношение  $^{87}Sr/^{86}Sr$  в пробах здесь не зависит от значений  $\epsilon_{Nd}$ . Наиболее низкие величины  $^{87}Sr/^{86}Sr$  (0.7107...0.7112) присущи пробам, взятым вблизи побережья Норвегии. В пробе, отобранной на ст. 5408 (Печорское море вблизи устья





**Рис. 7.** Распределение значений  $\epsilon_{Nd}$ ,  $^{87}Sr/^{86}Sr$  и  $^{207}Pb/^{206}Pb$  в поверхностных донных осадках моря Лаптевых, Карского и Баренцева морей, по данным (Maccali et al., 2018), и авторским данным. 1 – море Лаптевых; 2 – Карское море; 3 – Баренцево море, все по (Maccali et al., 2018); 4 – авторские данные для Баренцева моря.

р. Печора), отношение  $^{87}Sr/^{86}Sr$  увеличивается до 0.7137. В пробе со ст. 5411 (склон Канинской банки, траверс Балтийского щита) величина  $^{87}Sr/^{86}Sr$  достигает значения 0.7176. Указанный рост отношения  $^{87}Sr/^{86}Sr$  внутри данной группы достаточно хорошо согласуется с петрографическим составом пород предполагаемых питающих провинций: он пропорционален снижению доли карбонатных пород и увеличению доли кристаллических комплексов. Исключение из сказанного составляют лишь пробы, отобранные к югу (ст. 5441, желоб Стур-фьорд) и северу (ст. 5445) от берегов Шпицбергена. Первая на диаграмме  $^{87}Sr/^{86}Sr-\epsilon_{Nd}$  попадает в область смешения древних пород чехла и фундамента, вторая отвечает области основных пород, близких по составу раннемеловым базальтам Земли Франца-Иосифа.

Проба донных осадков, отобранная на южном склоне Шпицбергенской банки в зоне влияния Нордкапского течения (ст. 5438, граница Баренцева моря и Атлантического океана), демонстрирует самое низкое значение  $\epsilon_{Nd}$  (-16.2) при относительно невысоком отношении  $^{87}Sr/^{86}Sr$  (0.7108). Это дает основание предполагать, что поверхностные донные осадки данного района сложены продуктами размыва коровых пород, но пониженная величина  $^{87}Sr/^{86}Sr$  в них отражает, вероятно, присутствие биохемогенного карбонатного материала.

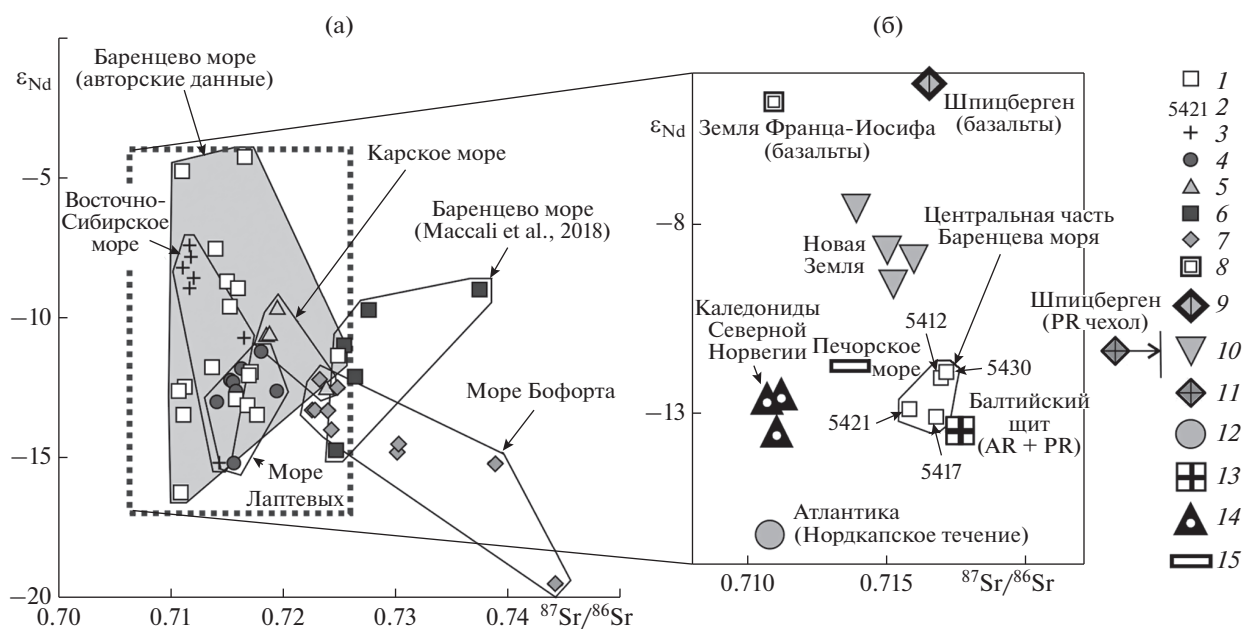
Анализ изотопного состава Nd и Sr в донных осадках центральной части Баренцева моря (станции 5412, 5417, 5421 и 5430) показывает, что значе-

ния  $\epsilon_{Nd}$  и  $^{87}Sr/^{86}Sr$  в них заключены в узких пределах (соответственно -11.9...-13.1 и 0.7158-0.7171) (рис. 8б). На диаграмме  $^{87}Sr/^{86}Sr-\epsilon_{Nd}$  точки указанных проб сгруппированы в поле, находящемся на пересечении Nd- и Sr-изотопных характеристик осадков из окружающих прибрежных провинций. При этом точки приближены к областям изотопных характеристик Балтийского щита и палеозойского чехла платформы. Это подчеркивает, что в составе осадков центральной части моря присутствует материал из всех окружающих районов, но максимальный вклад вносит континент.

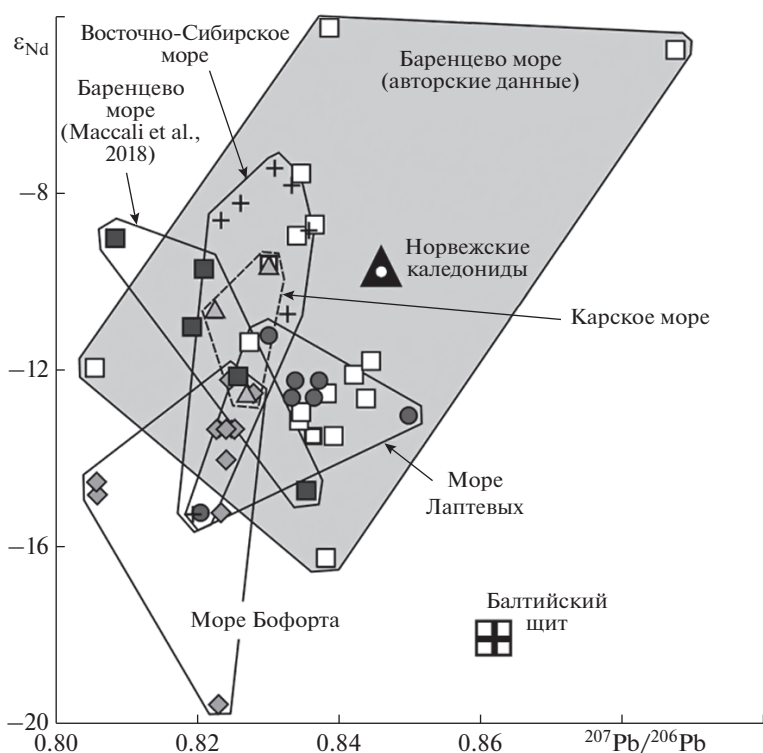
На диаграмме  $^{207}Pb/^{206}Pb-\epsilon_{Nd}$  поля, образуемые пробами осадков Баренцева моря (наши данные и данные (Maccali et al., 2018)), Восточно-Сибирского и Карского морей, а также моря Лаптевых, обладают почти 90-процентным перекрытием (рис. 9). В этой же области расположена референтная точка “Норвежских каледонид” (Маслов и др., 2018а), тогда как такая же точка Балтийского щита, характеризующаяся существенно более низким значением  $\epsilon_{Nd}$  -18.0, (Маслов и др., 2018б и ссылки в этой работе), занимает обособленное положение в нижней части рассматриваемого графика.

### ВЫВОДЫ

Полученные данные позволяют считать, что преобладающая часть поверхностных донных осадков Баренцева моря сложена зрелым в геохимическом отношении материалом. Этот материал представляет собой смесь тонкой силикокласти-



**Рис. 8.** Диаграмма  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ – $\epsilon_{\text{Nd}}$  для поверхностных отложений ряда морей Евразийской части Северного Ледовитого океана и моря Бофорта, по (Maccali et al., 2018) (а), и проб донных осадков, отобранных в Баренцевом море в 67 рейсе НИС “Академик Мстислав Келдыш” (б). 1 – донные осадки Баренцева моря, настоящая работа; 2 – номер станции, на которой отобрана проба в 67 рейсе НИС “Академик Мстислав Келдыш”; 3–7 – данные для осадков из (Maccali et al., 2018) (3 – Восточно-Сибирское море, 4 – море Лаптевых, 5 – Карское море, 6 – Баренцево море, 7 – море Бофорта); 8–14 – изотопные характеристики предполагаемых источников кластики (8 – базальты ЗФИ, 9 – базальты Шпицбергена, 10 – Новая Земля, 11 – протерозойский чехол Шпицбергена, 12 – Нордкапское (Атлантическое) течение, 13 – Балтийский щит, комплексы пород архея и протерозоя, 14 – каледониды Северной Норвегии); 15 – осадки Печорского моря.



**Рис. 9.** Распределение точек донных осадков из морей Евразийской части Северного Ледовитого океана и моря Бофорта, по (Maccali et al., 2018) и авторским данным для Баренцева моря, на диаграмме  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ – $\epsilon_{\text{Nd}}$ . Условные обозначения см. рис. 8.

ки, поступающей из нескольких источников. Главным источником является взвесь Нордкапского течения, формировавшаяся при размыве западного и северного побережья Скандинавии (норвежские каледониды) и эрозии дна в ряде районов моря. Часть указанного материала образована также за счет размыва комплексов пород Кольского полуострова, Новой Земли и Земли Франца-Иосифа. Определенный вклад вносят и выносы р. Печора. Ранее на преимущественно гранитоидный состав питающих провинций Печорского моря обращали внимание авторы работы (Levitan, Lavrushin, 2009).

Основной вклад в формирование изотопного состава Nd и Sr донных осадков Баренцева моря вносят, по всей видимости, породы Северо-Европейской континентальной окраины. Материал с островных поднятий (Земли Франца-Иосифа, Новая Земля), сложенных в существенной части магматическими породами основного состава, вместе с арктическими течениями, несомненно, поступает в северную часть Баренцева моря, накапливаясь в пределах первых десятков километров от их берегов. Однако он не оказывает заметного влияния на изотопные характеристики донных осадков центральных районов моря.

Сравнение значений  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  в донных осадках центральной части Баренцева моря (станции 5412, 5415, 5417, 5421, 5430, 5450) и в инкорпорированном во льды осадочном материале (ice-rafted sediments), переносимым Трансполярным дрейфом (Маслов и др., 2018а, 2018б), показывает их существенное различие. Сказанное позволяет думать, что вклад ледового разноса в формирование поверхностных донных осадков Баренцева моря относительно невелик.

*Авторы признательны экипажу НИС “Академик Мстислав Келдыш”, Д.В. Ерошенко, С.М. Исаченко, Г.В. Малафееву и А.В. Булохову за помощь в экспедиции, М.В. Митяеву и И.В. Мискевичу за предоставленные пробы донных осадков, Н.С. Глушковой за подготовку иллюстраций, В.Б. Ершовой за подбор ряда литературных источников и академику А.П. Лисицыну за ценные советы.*

*Исследования проведены при поддержке РФФ (гранты 14-27-00114, экспедиция, и 14-27-00114-П, интерпретация результатов) и проекта УрО РАН 18-9-5-1 “Источники осадочного материала и особенности формирования современных донных осадков Баренцева моря: геохимические и Sr-Nd-Pb-изотопные ограничения” (№ госрегистрации АААА-А18-118053090043-4).*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Айбулатов Н.А., Матюшенко В.А., Шевченко В.П., Политова Н.В., Потехина Е.М. (1999) Новые данные о поперечной структуре лагеральных потоков взвешенного вещества по периферии Баренцева моря. *Геоэко-*

*логия. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология* (6), 526-540.

Ветрин В.Р., Туркина О.М., Nordgulen O. (2001) Гомологи “серых гнейсов” среди архейских пород Кольской Сверхглубокой скважины (опыт петролого-геохимического моделирования состава нижней коры и условия образования тоналит-трондьемитовых пород). *Российский журнал наук о Земле* 3(3) <http://elpub.wdcb.ru/journals/gjes/rus/v03/gje01060/gje01060.htm>

Ветрин В.Р., Чупин В.П., Яковлев Ю.Н. (2013) Метаосадочные породы фундамента палеопротерозойской Печенгской структуры: источники терригенного материала, палеогеодинамические условия формирования. *Литосфера* (5), 3-25.

Геологическое строение СССР и закономерности размещения полезных ископаемых (1984) Л.: Недра. Т. 9. Моря Советской Арктики. 280 с.

Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР (1990). Т. 1. Баренцево море. Вып. 1. Л.: Гидрометеоздат, 280 с.

Горохов И.М., Мельников Н.Н., Кузнецов А.Б., Константинова Г.В., Турченко Т.Л. (2007) Sm-Nd систематика тонкозернистых фракций нижнекембрийских “синих глин” Северной Эстонии. *Литология и полезные ископаемые* (5), 536-551.

Государственная геологическая карта Российской Федерации. М-б 1 : 1000000 (третье поколение). Серия Северо-Карско-Баренцевоморская. Лист Т-41-44 — мыс Желания (2013) Объяснит. зап. СПб.: Картфабрика ВСЕГЕИ, 200 с.

Гуревич В.И. (2002) Современный седиментогенез и геоэкология Западно-Арктического шельфа Евразии. М.: Научный мир, 135 с.

Гусев Е.А., Кузнецов А.Б., Талденкова Е.Е., Николаев С.Д., Степанова А.Ю., Новихина Е.С. (2017) Скорость и условия накопления позднекайнозойских осадков поднятия Менделеева: Sr-изотопная и  $\delta^{18}\text{O}$  хемостратиграфия. *ДАН* 473(3), 336-340.

Кравчишина М.Д., Новигатский А.Н., Саввичев А.С., Паутова Л.А., Лисицын А.П. (2019) Исследование седиментосистем Баренцева моря и Норвежско-Гренландского бассейна в 68-м рейсе научно-исследовательского судна “Академик Мстислав Келдыш”. *Океанология* 59(1), 173-176.

Кудряшов Н.М., Мокрушин А.В. (2011) Мезоархейский габбро-анортозитовый магматизм Кольского региона: петрохимические, геохронологические и изотопно-геохимические данные. *Петрология* 19(2), 173-189.

Кузнецов А.Б., Овчинникова Г.В., Крупенин М.Т., Горохов И.М., Маслов А.В., Каурова О.К., Эльмис Р. (2005) Формирование и преобразование карбонатных пород и сидеритовых руд бакальской свиты нижнего рифея (Южный Урал): Sr-изотопная характеристика и Rb-Pb возраст. *Литология и полезные ископаемые* (3), 227-249.

Кузнецов А.Б., Семихатов М.А., Горохов И.М. (2018) Стронциевая изотопная хемостратиграфия: основы метода и его современное состояние. *Стратиграфия. Геологическая корреляция* 26(4), 3-23.

Лисицын А.П. (2001) Нерешенные проблемы океанологии Арктики. *Опыт системных океанологических исследований в Арктике*. М.: Научный мир, 31-75.

Маслов А.В., Шевченко В.П., Кузнецов А.Б., Штайн Р. (2018а) Геохимическая и Sr-Nd-Pb-изотопная характеристика осадочного материала, переносимого дрейфу-



- ющими льдами Северного Ледовитого океана. *Геохимия* (8), 729-744.
- Maslov A.V., Shevchenko V.P., Kuznetsov A.B., Stein R. (2018a) Geochemical and Sr–Nd–Pb–Isotope Characteristics of Ice-Rafted Sediments of the Arctic Ocean. *Geochem. Int.* **56**(8), 751–765.
- Маслов А.В., Шевченко В.П., Кузнецов А.Б., Штайн Р., Герланд С. (2018б) Изотопно-геохимическая характеристика осадочного материала из дрейфующих льдов Западной Арктики. *ДАН* **479**(6), 682–687.
- Маслов А.В., Шевченко В.П., Подковыров В.Н., Ронкин Ю.Л., Лепихина О.П., Новигатский А.Н., Филиппов А.С., Шевченко Н.В. (2014) Особенности распределения элементов-примесей и редкоземельных элементов в современных донных осадках нижнего течения р. Северная Двина и Белого моря. *Литология и полезные ископаемые* (6), 463–492.
- Минц М.В., Глазнев В.Н., Конилов А.Н., Кунина Н.М., Никитичев А.П., Раевский А.Б., Седых Ю.Н., Ступак В.М., Фонарев В.И. (1996) Ранний докембрий северо-востока Балтийского щита: палеогеодинамика, строение и эволюция континентальной коры. М.: Научный мир, 278 с.
- Митрофанов Ф.П. (Ред.) (2001) Геологическая карта Кольского региона. М-б 1 : 500000. Апатиты: МПР России, ГИ КНЦ РАН, 2001.
- Мыскова Т.А., Милькевич Р.И. (2016) Глиноземистые гнейсы кольской серии Балтийского щита (геохимия, первичная природа и возраст протолита). *Труды Карельского научного центра РАН. Сер. Геология докембрия* (10), 1–29.
- Овчинникова Г.В., Кузнецов А.Б., Мележик В.А., Горохов И.М., Васильева И.М., Гороховский Б.М. (2007) Pb–Pb возраст ятулийских карбонатных пород: туломозерская свита юго-восточной Карелии. *Стратиграфия. Геологическая корреляция* **15**(4), 20–33.
- Петелин В.П. (1961) Новый метод водно-механического анализа морских осадков. *Океанология* **1** (1), 144–148.
- Политова Н.В., Новигатский А.Н., Козина Н.В., Терпугова С.А. (2018) Мультидисциплинарные исследования в Баренцевом море в 67-м рейсе НИС “Академик Мстислав Келдыш”. *Океанология* **58**(3), 534–536.
- Сироткин А.Н. (2012) Возраст, состав и структурная характеристика метаморфического комплекса Дувфьорд (о. Северо-Восточная Земля, арх. Шпицберген). *Региональная геология и металлогения* (51), 32–41.
- Сорохтин Н.О., Никифоров С.Л., Кошель С.М., Козлов Н.Е. (2016) Геодинамическая эволюция и морфо-структурный анализ западной части арктического шельфа России. *Вестник МГТУ* **19**(1/1), 123–137.
- Столбов Н.М. (2005) Архипелаг Земля Франца-Иосифа — геологический репер Баренцевоморской континентальной окраины. *Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук.* СПб.: СПбГУ, 19 с.
- Чернышева Е.А., Харин Г.С., Столбов Н.М. (2003) Новые данные по геохимии базальтов архипелага Земля Франца-Иосифа. *ДАН* **390** (2), 238–241.
- Шевченко В.П., Виноградова А.А., Иванов Г.И., Лисицын А.П., Серова В.В. (1997) Распределение и состав аэрозолей Западной Арктики. *ДАН* **355** (5), 673–676.
- Arribas J., Johnsson M.J., Critelli S. (Eds) (2007) Sedimentary Provenance and Petrogenesis: Perspectives from Petrography and Geochemistry. *Geol. Soc. Am. Spec. Pap.* 420. 396 p.
- Condie K.C. (1993) Chemical composition and evolution of the upper continental crust: contrasting results from surface samples and shales. *Chem. Geol.* **104**(1–4), 1–37.
- Cullers R.L. (2002) Implications of elemental concentrations for provenance, redox conditions, and metamorphic studies of shales and limestones near Pueblo, CO, USA. *Chem. Geol.* **191**(4), 305–327.
- Dibner V.D. (Ed.) (1998) *Geology of Franz Josef Land*. Oslo: Norsk Polarinstitut, 190 p.
- Dipre G.R., Polyak L., Kuznetsov A.B., Oti E.A., Ortiz J.D., Brachfeld S.A., Xuan C., Lazar K.B., Cook A.E. (2018) Plio-Pleistocene sedimentary record from the Northwind Ridge: new insights into paleoclimatic evolution of the western Arctic Ocean for the last 5 Ma. *Arctos* **4**, 4–24.
- Dou Y., Yang S., Liu Z., Clift P.D., Shi X., Yu H., Berne S. (2010) Provenance discrimination of siliciclastic sediments in the middle Okinawa Trough since 30 ka: Constraints from rare earth element compositions. *Marine Geol.* **275**(1–4), 212–220.
- Elverhoi A., Pfirman S.L., Solheim A., Larssen B.B. (1989) Glaciomarine sedimentation in epicontinental seas exemplified by the northern Barents Sea. *Marine Geol.* **85**(2–4), 225–250.
- Floyd P.A., Leveridge B.E. (1987) Tectonic environment of the Devonian Gramscatho basin, south Cornwall: framework mode and geochemical evidence from turbiditic sandstones. *J. Geol. Soc. (London)* **144**(4), 531–542.
- Goldstein S.L., Hemming S.R. (2003) Long-lived isotopic tracers in oceanography, paleoceanography, and ice-sheet dynamics. *Treatise on geochemistry*. (Eds. Holland H.D., Turekian K.K.). Oxford: Pergamon, 453–489.
- Lentz D.R. (Ed.) (2003) *Geochemistry of Sediments and Sedimentary Rocks: Evolutionary Considerations to Mineral Deposit-Forming Environments*. *Geol. Ass. Canada. GeoText*, 4, 184 p.
- Levitan M.A., Lavrushin Yu.A. (2009) *Sedimentation history in the Arctic Ocean and Subarctic seas for the last 130 kyr*. Heidelberg: Springer, 387 p.
- Maccali J., Hillaire-Marcel C., Not C. (2018) Radiogenic isotope (Nd, Pb, Sr) signatures of surface and sea ice-transported sediments from the Arctic Ocean under the present interglacial conditions. *Polar Res.* **37**. 1442982. <https://doi.org/10.1080/17518369.2018.1442982>
- McLennan S.M., Hemming S.R., McDaniel D.K., Hanson G.N. (1993) Geochemical approaches to sedimentation, provenance and tectonics. *Processes controlling the composition of clastic sediments*. (Eds. Johnsson M.J., Basu A.). *Geol. Soc. Am. Spec. Pap.* 284, 21–40.
- Siedlecka A., Iversen E., Krill A.G., Lieungh B., Oftefn M., Sandstad J.S., Solli A. (1985) Lithostratigraphy and correlation of the Archean and Early Proterozoic rocks of Finnmarksvidda and the Sorvaranger district. *Nor. Geol. Unders. Bull.* (403), 7–36.
- Taylor S.R., McLennan S.M. (1985) *The Continental Crust; Its composition and evolution; an examination of the geochemical record preserved in sedimentary rocks*. Oxford: Blackwell, 312 p.
- Vogt C., Knies J. (2009) Sediment pathways in the western Barents Sea inferred from clay mineral assemblages in surface sediments. *Norwegian J. Geol.* **89**, 41–55.
- Yan B., Yan W., Miao L., Huang W., Chen Z. (2012) Geochemical characteristics and provenance implication of rare earth elements in surface sediments from bays along Guangdong Coast, Southeast China. *Environ. Earth Sci.* **65**(7), 2195–2205.