

морем, где велико влияние теплых атлантических вод. В осадках преобладают полевошпат-кварцевые минералы, в составе тяжелой фракции присутствуют чернорудные минералы, гранат, магнетит, амфиболы, роговая обманка, пироксены, эпидот. Анализ содержания глинистых минералов в верхней части донных осадков показал, что в них преобладает иллит, на западе моря появляются смектиты и каолинит, в Русской Гавани отмечено резкое увеличение содержания хлорита. В осадках пролива Кембридж глинистые минералы имеют смешанный состав с преобладанием иллита и смектита.

**Источники финансирования.** Обработка мате-

риала проводилась в рамках базовой темы Госзадания ИО РАН № 0149-2019-0005 при поддержке Российского научного фонда (проект № 20-17-00157); подготовка статьи выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 19-05-50090). Экспедиционные исследования выполнены при поддержке госбюджета (финансирование морских экспедиций) и Российского научного фонда (проект № 14-27-00114 – 67 рейс НИС «Академик Мстислав Келдыш», проект № 14-50-00095 – 68 рейс НИС «Академик Мстислав Келдыш»; проект № 19-17-00234 – 75 рейс НИС «Академик Мстислав Келдыш»).

### 9.3. Некоторые геохимические особенности макроэлементного состава поверхностного слоя донных осадков Баренцева моря

*В.В. Гордеев, Л.Л. Демина, Т.Н. Алексеева*

*Институт океанологии им. П.П. Шишова РАН, Москва*

В разделе представлены результаты определения макроэлементного состава методом рентгено-флуоресцентного анализа 34 проб поверхностных донных осадков Баренцева моря. Рассмотрены основные источники поставки осадочного материала в море – речной сток, эоловые выпадения и другие. Показано, что имеющиеся собственные и литературные данные не позволяют дать адекватную оценку баланса поступающего осадочного материала. Сопоставление состава донных осадков (песков, алевритов, пелитов) с составом преобладающих пород водосборного бассейна показало, что преобладает снос терригенного материала. Детально рассмотрены взаимосвязи между всеми макроэлементами в донных осадках и их гранулометрическим составом. Установлено, что для всех элементов, кроме марганца, имеют место известные зависимости от величины пелитовой фракции осадков – увеличение содержания для всех элементов с ростом доли пелитов, за исключением  $\text{SiO}_2$  и  $\text{CaO}$ , которые отличаются высокими содержаниями в грубых фракциях. Необычно ведет себя марганец. Для образцов осадков из юго-западной части моря его содержание почти не зависит от пелитовой фракции, что весьма неожиданно, тогда как осадки северо-восточной части моря значительно обогащаются марганцем, достигая величин 1–1.5%. Обсуждаются причины такого распределения этого металла. На основе полученных данных построены фрагменты карт распределения в осадках окислов железа, алюминия и марганца. Делается заключение о том, что новые данные подтверждают классический тип преобладающего терригенного осадкообразования в Баренцевом море.

**Ключевые слова:** макроэлементы, донные осадки, гранулометрический состав, геохимия.

DOI: 10.29006/978-5-6045110-0-8/(30)

#### ВВЕДЕНИЕ

Баренцево море, наряду с Белым, Балтийским, Черным и Каспийским, вошло в программу комплексного изучения морей России, возглавляемую академиком РАН А.П. Лисицыным. По состоянию на 2018 г. по результатам этой программы, а также программы «Система Белого моря» (2000–2016 гг.), вышли из печати 4 тома монографии по Белому морю (2010, 2012, 2013, 2017) и, кроме того, по одному тому по Балтийскому (2016), Каспийскому (2017) и Черному (2018) морям.

Настоящий раздел является составной частью

коллективной монографии «Система Баренцева моря», завершающей серию монографий по итогам упомянутой программы.

Баренцево море – сравнительно мелководное окраинное море Западной Арктики (средняя глубина 222 м, максимальная 600 м). Оно по многим характеристикам заметно отличается от других морей, рассматриваемых в упомянутой выше программе. Отметим, по крайней мере, два важных отличия. Во-первых, Баренцево море в основном граничит с другими морями [Михайлов и др., 2007]. В условиях, когда

береговая линия (кроме берегов крупных островов Новой Земли, Земли Франца-Иосифа, Шпицбергена и севера Скандинавии и Кольского полуострова) достаточно далеко отстоит от водной толщи моря, можно предполагать, что важность континентальных источников поставки осадочного материала в море окажется ниже по сравнению с ролью мощных течений – в первую очередь Нордкапского со стороны Атлантического океана. Во-вторых, в отличие от других морей с обширной сетью рек, в Баренцево море практически не впадает крупных рек, кроме Печоры. В этом смысле весьма показательна отношение площади бассейна к площади моря – для Баренцева моря: оно равно 0.47, тогда как для Белого – 7.97, Карского – 7.53, Лаптевых – 5.58 [Михайлов и др., 2007].

Вероятно, некоторое значение для осадконакопления в Баренцевом море могут иметь стоки Северной Двины и Мезени, поступающие в него из Горла Белого моря.

Уже сказанного выше достаточно, чтобы считать, что условия осадконакопления в Баренцевом море имеют свои особые черты по сравнению с другими морями.

Цель данной работы состоит в том, чтобы показать особенности геохимического поведения элементов основного состава поверхностных осадков Баренцева моря, их взаимосвязи между собой, зависимости от гранулометрического состава осадков и составить схематические карты распределения ряда макроэлементов в тех областях моря, для которых имеется достаточное количество изученных проб.

#### **КРАТКАЯ ИСТОРИЯ ИЗУЧЕНИЯ ГЕОХИМИИ ДОННЫХ ОСАДКОВ БАРЕНЦЕВА МОРЯ**

Баренцево море давно привлекает внимание специалистов, изучающих процессы осадконакопления, литологии и геохимии донных осадков. Первым крупным обобщением полученных данных по геологии Баренцева моря стала монография М.В. Кленовой «Геология Баренцева моря» [1960]. Еще ранее были опубликованы данные о химическом составе типичных осадков Баренцева моря, включающих ряд основных окислов [Кленова, 1940].

Значительный вклад в изучение разных типов донных осадков моря внесли работы Ю.А. Павлидиса [1995], Ю.А. Богданова с соавторами [Богданов и др., 2001], В.И. Гуревича [2002], М.А. Левитана с соавторами [Левитан и др., 2007] и др.

Данные об основном химическом составе донных осадков Баренцева моря после работ М.В. Кленовой были опубликованы в монографии Г.И. Иванова [2006]. Современные измерения микроэлементов в осадках моря выполнены в работах [Гурвич и др.,

2001]; [Новиков, Жилин, 2016]. В настоящей монографии сведения о распределении широкого спектра редких и рассеянных элементов (более 50) в современных отложениях Баренцева моря представлены в разделе А.В. Маслова с соавторами, а формы нахождения группы химических элементов в колонках осадков описаны в разделе Л.Л. Деминой с соавторами.

#### **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ**

Образцы поверхностного слоя донных осадков Баренцева моря были отобраны в 67 (2016 г.) и 68 (2017 г.) рейсах НИС «Академик Мстислав Келдыш». Самый верхний слой осадка (0–1 см и 0–0.5 см) отбирался, высушивался и растирался до порошкообразного состояния после удаления гравийного и галечного материала в случае их присутствия в пробе. Анализы выполнялись методом рентгено-флюоресцентной спектроскопии (РФА). Контроль надежности данных проводился с помощью государственных стандартных образцов донных осадков СДО-1 и СДО-3.

Определения содержаний  $C_{орг}$  и  $CaCO_3$  (последний вычитанием содержаний  $C_{орг}$  из  $C_{общ}$ ) выполнялись путем регистрации  $CO_2$  при сжигании проб при  $t = +900^\circ C$  в токе воздуха на экспресс анализаторе АН-7560. Гранулометрический состав исходных образцов определялся методом водно-механического анализа по В.П. Петелину [1967].

#### **ОСНОВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ПОСТАВКИ ОСАДОЧНОГО МАТЕРИАЛА В МОРЕ**

Наиболее подробно об источниках поступления вещества в море говорится в статье Н.А. Айбулатова и др. [1999]. Это абразия берегов, эрозия дна, солифлюкция берегов, твердый сток рек, выпадения из атмосферы, а также поставка ледовая и техногенных веществ. Упомянутые авторы считают, что основные источники взвешенного материала и районы его депонирования находятся в самом Баренцевом море, а поступающая взвесь Белого и Карского морей и поставляемая Нордкапской ветвью Гольфстрима, количественно еще не оценены, предположительно менее значимы по сравнению с местными источниками.

Как уже упоминалось выше, лишь три достаточно крупных реки могут рассматриваться как потенциальные поставщики взвешенного материала в Баренцево море – Северная Двина, Мезень и Печора. Приведем некоторые характеристики и основной химический состав взвесей этих рек (табл. 9.3.1). Данные этой таблицы будут далее учтены при качественной оценке роли разных источников.

Если Печора впадает в Печорское море, рассматриваемое как южная часть Баренцева моря, то выносы рек бассейна Белого моря, Северной Двины и

Мезени, вероятно, в какой-то мере поступают в Баренцево море. Выяснение этого вопроса стоит в повестке дня Лаборатории физико-геологических исследований ИО РАН. Авторы работы [Айбулатов и др., 1999] задались важным вопросом: как далеко на север могут проникать беломорские воды (частично включающие стоки двух рек) в Баренцевоморский бассейн? С целью получить ответ на этот вопрос в 11 рейсе НИС «Академик Сергей Вавилов» (1997) ими

были проведены в Горле Белого моря синхронные измерения концентраций взвеси и течений на протяжении всего приливно-отливного цикла с дискретностью 2 часа. Было установлено, что на горизонте 30 м итоговый горизонтальный поток взвешенного материала во время эксперимента был направлен в сторону Баренцева моря при минимальном вертикальном потоке (Горло Белого моря является зоной неотложения).

**Таблица 9.3.1.** Содержания основных окислов во взвеси Северной Двины, Мезени и Печоры (%)

Река	Водный сток, км <sup>3</sup> /г	Твердый сток, 10 <sup>3</sup> т/г	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	MgO	CaO	K <sub>2</sub> O	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	TiO <sub>2</sub>	C <sub>орг</sub>	Ссылка
			%										
Северная Двина	108	4400	57.9	12.3	1.03	1.92	2.25	2.14	5.93	0.24	0.60	2.97	[Гордеев и др., 2012]
	–	–	57.9	12.32	1.70	1.92	2.95	1.78	5.93	0.24	0.60	2.97	[Шевченко и др., 2010]
Мезень	24.4	800	46.6	14.0	–	2.65	2.25	–	7.42	0.20	0.73	0.85	[Морозов и др., 1974]
Печора	130	8500	54.8	14.4	2.43	2.07	1.23	3.10	6.93	0.13	0.82		[Морозов и др., 1974]
Реки Мира	–	–	54.5	16.45	0.96	2.10	3.62	2.04	8.30	0.22	0.73	2.0	[Viers et al., 2009]
	–	–	62.26	18.53	1.26	2.70	4.12	2.94	8.19	0.115	0.43	2.00	[Савенко, 2006]

На выходе из Горла Белого моря поверхностный слой воды имел повышенную концентрацию взвеси от 0.2 до 1.6 мг/л (средняя для вод Белого моря концентрация близка к 1 мг/л по данным М.Д. Кравчишиной [2009]). Севернее происходит смешение этих вод с водами Баренцева моря (концентрации снижаются в верхнем слое вод до 0.6 мг/л). Полученные результаты авторы рассматривают как подтверждающие поступление замутненных беломорских вод в воды Карского моря.

Роль аэрозольного материала в поставке осадочного вещества в моря Арктики, и в Баренцево море в том числе, рассматривается в работах В.П. Шевченко и его монографии [2006], а также в специальном разделе этого автора в данной монографии. Среднее значение вертикального потока аэрозолей в Арктике оценивается им величиной около 600 мг/м<sup>2</sup>·год. Общее поступление аэрозолей в Северный Ледовитый океан (площадь 9.4 млн км<sup>2</sup>) составляет при этом 5.7 млн т/год. Вклад аэрозолей в седиментацию в Арктике оценивается примерно в 10%. Учитывая площадь Баренцева моря (1.424·10<sup>6</sup> км<sup>2</sup>) и при условии потока аэрозолей в море, равного среднему для всей Арктики, можно в первом приближении оценить

ежегодный объем выпадений в море. Он составляет при таких условиях около 0.85 млн т/год. Сравним эту величину с выносом трех рек (Северной Двины, Мезени и Печоры) – 13.7 млн т/год. Это валовый сток, который необходимо уменьшить на потери материала в маргинальных фильтрах рек. Если для Северной Двины потери были оценены нами примерно в 30%, то для Мезени и Печоры такие данные отсутствуют, и мы принимаем для них потери в 90% (глобальная средняя величина). В таком случае за пределы маргинальных фильтров рек будет вынесено примерно 4.3 млн т/год. Эти грубые оценки показывают, что речные выносы в сторону Баренцева моря примерно в 5 раз превышают выпадения аэрозолей на площадь моря. При этом очевидно, что влияние рек существенно важнее для южной части моря, тогда как аэрозоли примерно равномерно распределяются по всей его акватории. Для сопоставления разных источников поставки вещества в море необходима информация о химическом составе их вещества. В первую очередь для этих целей требуются данные о содержании в аэрозолях Si, Al, Mg и K, используемых далее для оценки роли разных источников. Учитывая, что в собранных в экспедициях с работами в Ба-

ренцевом море аэрозолях было определено более 30 химических элементов [Шевченко, 2006], оказалось довольно трудно найти в одних и тех же пробах указанные четыре макроэлемента. В 10 пробах аэрозолей, собранных в рейсе НИС «Профессор Смирнитский» (1991), по данным В.П. Шевченко содержались в среднем Al – 1.83%, Si – 9.1%, K – 1.42%. На норвежской станции Нью-Олесунн на о. Шпицберген по [Maenhaut et al., 1989] пробы аэрозолей собирались в течение трех зим (1983, 1984 и 1986 гг.) и одного лета (1984 г.). Они были проанализированы на несколько десятков элементов, включая все четыре нужных нам макроэлемента. Пробы содержали (в  $\text{нг}/\text{м}^3$ ):

	Si	Al	Mg	K
Зима (три сезона):	134	40	48	31
Лето (один сезон):	31	8.3	18.2	3.7.

Хорошо видно, что в разные сезоны концентрации этих и почти всех других определявшихся элементов максимальны в конце зимы – начале весны, что объясняется изменением положения арктического фронта, который отделяет полярные воздушные массы Северного полушария от более теплых умеренных широт [Raats, 1991]. Зимой он расположен значительно южнее, чем летом, что способствует поступлению аэрозолей из промышленных центров в Арктику [Шевченко, 2006].

Источники и распределение загрязняющих веществ (нефтяные углеводороды, полициклические ароматические углеводороды, фенолы, хлорорганические соединения, тяжелые металлы, радионуклиды) в воде и донных осадках Баренцева моря детально исследовались с 1991 по 1999 годы Г.И. Ивановым, результаты опубликованы им в монографии [Иванов, 2006].

Что касается других упомянутых выше источников осадочного материала в Баренцево море, таких как абразия берегов, эрозия дна, ледовая поставка, а также поступление в море взвешенных веществ с Нордкапским течением из Атлантического океана, на сегодняшний день дать какие-либо оценки роли этих источников в осадконакоплении в море не представляется возможным.

### ОСНОВНОЙ ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ДОННЫХ ОСАДКОВ БАРЕНЦЕВА МОРЯ

Результаты определения макроэлементного состава донных осадков Баренцева моря представлены в таблице 9.3.2. Показаны номера станций, их координаты, гранулометрический состав и содержание окислов основных элементов в донных осадках. В их числе 27 проб осадков, полученных в 68 рейсе НИС «АМК», и 8 проб из 67 рейса того же судна. Последние были любезно представлены авторами раздела

9.5 данной монографии, за что авторы настоящего сообщения выражают им глубокую признательность.

Основная часть поверхностных осадков дна Баренцева моря представляет собой тонкие пелитовые илы, на 70–98% состоящие из частиц размерами менее 0.01 мм. Именно эти фракции осадков представляют собой, как неоднократно было показано ранее и подтверждено в настоящей работе, особую важность в процессах транспортировки и накопления на морском дне. В Баренцевом море, как и в других регионах Западно-Арктического шельфа, господствующее положение занимают терригенные донные осадки (>80% по площади).

Представленные в табл. 9.3.2 результаты разбиты на три основные группы осадков – пески, алевриты и пелиты, хотя моногранулярных осадков, содержащих более 75% песков, алевритов или пелитов совсем немного (в сумме всего около 5% площади дна [Новиков, Жилин, 2016]) и распределены они по акватории фрагментарно. В таблице 9.3.3 показаны средние содержания окислов в основных гранулометрических фракциях осадков, которые сравниваются с данными предыдущих публикаций. Сравнение затруднено, по крайней мере, двумя обстоятельствами. Во-первых, сильно отличается количество образцов по всем типам осадков (М.В. Кленова подобрала для общего представления о химическом составе осадков разного типа по одной наиболее характерной пробе, тогда как Г.И. Иванов использовал более 180 проб). Во-вторых, судя по отношениям  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  и содержаниям в первую очередь  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  и  $\text{MnO}$ , под названиями «пески, алевриты и пелиты» каждый автор имел в виду довольно разные осадки. Например, М.В. Кленова в качестве песков выбрала почти чистый песок (данные о гранулометрическом составе отсутствуют), тогда как в нашей работе к пескам отнесены четыре пробы с содержанием песчаных фракций 43–80%, остальное приходится на пелиты, алевриты и гравий–гальку. Г.И. Иванов [2006] просто назвал три типа – грубозернистые, среднезернистые и тонкозернистые осадки, основываясь на результатах подсчитанного им гранулометрического индекса.

Однако, несмотря на эти ограничения, данные всех представленных авторов указывают на одни и те же закономерности: снижение содержаний  $\text{SiO}_2$ , менее выраженное для CaO и отношения Si/Al, и повышение содержаний  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , MnO,  $\text{TiO}_2$  и менее выраженное для  $\text{K}_2\text{O}$ , MgO и  $\text{Na}_2\text{O}$ .

Упомянутые выше источники поставки осадочного материала, получающие его из всех семи геосфер Земли, потоками пресных вод, воздушным путем, при разрушении берегов и дна, морскими течениями

Таблица 9.3.2. Макроэлементный состав поверхностного слоя донных осадков Баренцева моря (в %)

№	Станция	Координаты с. ш.	Координаты в. д.	Глубина, м	Слой осадка, см	Права и галька	Песок	Алевриты	Пелиты (>0,01 мм)	Пелиты (<0,001 мм)	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	MgO	CaO	K <sub>2</sub> O	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	TiO <sub>2</sub>	ППП	Si/Al	Md, мм	lgMd
1	5433	72°67'	14°67'	733	0-1	11.5	43.79	10.4	34.37	19.19	66.65	11.54	2.35	1.8	6.51	2.05	3.91	0.064	0.574	4.4	5.14	0.284	2.45
2	5439	74°75'	17°53'	276	0-1	0.58	80.08	5.17	13.17	7.14	51.28	7.14	1.91	18.49	1.2	2.98	0.025	0.335	14.6	3.91	0.351	2.54	
3	5578	71°34'	34°00'	235	0-0.5	0.33	42.76	28.1	28.81	16.45	61.54	12.84	-	2.01	2.34	1.46	2.43	0.02	0.42	-	4.22	0.191	2.28
4	5580	70°12.8'	35°31.2'	171	0-0.5	-	-	-	-	-	59.86	12.54	-	2.2	2.12	1.66	2.66	0.03	0.46	-	4.2	-	-
<b>Алевриты</b>																							
1	5416	75°50'	54°00'	133	0-1	74.3	3.28	11.8	11.2	6.04	65.54	14.31	2.15	2.14	1.16	2.36	5.05	0.05	0.728	6.4	4.03	11.475	
2	5444	76°00'	33°50'	308	0-1	3.25	8.32	20.9	67.5	34.86	56.66	15.78	2.67	2.77	1.11	2.83	5.7	0.039	0.824	11.5	3.14	0.009	0.954
3	5445	80°50'	30°90'	175	0-1	76.6	3.5	14.9	5.03	2.84	61.09	15.08	2.72	2.76	2.18	3.35	4.48	0.042	0.678	7.5	3.14	10.992	
4	5553	76°01.3'	33°43.6'	297	0-0.5	2.98	13.34	23.04	60.64	37.35	50.53	17.17	-	2.979	0.97	2.66	6.05	0.04	0.79	-	2.59	0.009	0.954
5	5554	77°12.8'	33°43.6'	160	0-0.5	27.84	6.12	10.13	55.91	31.89	53.16	16.38	-	2.37	0.84	2.64	5.26	0.16	0.71	-	2.85	0.024	1.38
6	5559	80°03.4'	44°52.9'	326	0-0.5	1.64	16.63	28.78	52.95	30.01	47.76	17.76	-	2.71	0.96	2.53	8.39	0.25	0.77	-	2.36	0.035	1.54
7	5564	78°33.5'	58°17.8'	150	0-0.5	1.2	9.09	22.6	67.11	39.41	53.11	15.88	-	2.16	1.3	2.34	5.8	0.47	0.7	-	2.93	0.008	0.9
8	5579	70°13.3'	33°10.4'	248	0-0.5	0.51	14.84	23.48	61.17	40.56	53.05	14.49	-	3.1	2.61	2.61	3.92	0.06	0.57	-	3.25	0.008	0.9
<b>Пелиты</b>																							
1	5423	76°30'	62°60'	151	0-1	13.4	1.23	9.4	75.95	50.41	52.13	18.4	1.81	3.21	3.03	3.02	7.73	0.063	0.937	9.7	2.49	0.005	0.7
2	5424	76°20'	62°49'	176	0-1	0	0.14	5.88	93.98	45.82	52.5	17.67	2.69	3.74	2.91	2.85	7.52	0.017	0.912	9.3	2.61	0.006	0.78
3	5441	76°17'	17°49'	316	0-1	0.58	1.39	5.15	92.88	49.44	52.62	15.99	2.47	2.89	1.86	2.86	6.89	0.069	0.811	13.3	2.89	0.005	0.7
4	5548	73°54.9'	33°51.6'	322	0-0.5	1.47	2.67	16.86	79	44.74	47.4	15.74	-	2.99	1.45	2.49	6.04	0.04	0.65	-	3.32	0.006	0.78
5	5550	75°09.5'	29°35.5'	361	0-0.5	18.1	4.1	5.72	72.06	50.2	47.18	16.98	-	3.05	1.33	2.64	7.05	0.09	0.72	-	2.44	0.005	0.7
6	5551	75°33.3'	26°52.1'	213	0-0.5	0.27	1.93	4.54	93.26	64.07	50.39	16.82	-	2.71	0.92	2.77	5.4	0.05	0.61	-	2.63	0.004	0.6
7	5552	76°01.1'	31°58.1'	317	0-0.5	0.74	4.14	4.88	90.24	55.32	50.51	16.51	-	3.01	1.09	2.72	6.86	0.1	0.73	-	2.69	0.005	0.7
8	5555	78°28.3'	33°43.5'	192	0-0.5	1.85	4.46	7	86.69	53.49	49.93	16.52	-	2.72	0.98	2.64	6.8	0.42	0.72	-	2.66	0.005	0.7
9	5556	78°45.7'	33°44.8'	272	0-0.5	6.42	4.47	9.06	80.09	51.21	50.37	17.86	-	2.8	1.04	2.97	6.87	0.57	0.78	-	2.48	0.005	0.7
10	5557	79°07.7'	42°06.9'	360	0-0.5	0	0.51	0.9	98.5	58.21	44.25	17.47	-	2.89	0.91	2.48	8.78	1.53	0.65	-	2.23	0.004	0.6
11	5558	79°47.9'	43°34.8'	343	0-0.5	0	1.17	5.05	93.78	56.18	47.08	17.42	-	2.71	0.89	2.59	9.35	1.16	0.77	-	2.37	0.005	0.7
12	5560	79°48.3'	47°20.2'	350	0-0.5	0	4.63	7.01	88.36	51.99	46.54	17.06	-	2.76	1.14	2.43	9.14	0.88	0.77	-	2.4	0.005	0.7
13	5561	79°05.0'	49°52.2'	354	0-0.5	0.27	2.31	2.3	95.12	56.89	49.03	16.71	-	2.54	0.9	2.44	7.42	0.98	0.73	-	2.58	0.005	0.7
14	5562	79°37.5'	52°20.2'	430	0-0.5	0.17	1.72	10.43	87.68	54.93	46.84	17.31	-	2.78	0.97	2.47	10.2	0.51	0.79	-	2.38	0.005	0.7

№	Станция	Координаты с. ш.	Координаты в. д.	Глубина, м	Слой осад- ка, см	Гравий и галечка	Песок	Алевриты	Пелиты (>0,01 мм)	Пелиты (<0,001 мм)	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	MgO	CaO	K <sub>2</sub> O	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	TiO <sub>2</sub>	ППП	Si/Al	Md, мм	lgMd
15	5563	72°00.6'	55°52.7'	292	0-0.5	0.5	0.96	6.09	92.45	53.89	49	16.93	-	2.66	0.87	2.41	8.5	1.01	0.77	-	2.55	0.005	0.7
16	5565	77°60.0'	61°06.9'	370	0-0.5	0.28	1.16	4.04	94.52	55.35	46.57	16.78	-	2.91	0.94	2.32	8.29	1.38	0.71	-	2.44	0.005	0.7
17	5567	77°02.3'	65°41.8'	229	0-0.5	0.12	0.96	5.43	93.49	55.03	48.29	16.87	-	2.68	0.88	2.46	8.59	0.05	0.79	-	2.52	0.005	0.7
18	5568	75°44.5'	56°42.2'	172	0-0.5	5.7	4.93	9.09	80.28	49.45	44.06	17.38	-	3.47	1.68	2.41	7.62	0.05	0.74	-	2.23	0.005	0.7
19	5569	75°09.0'	53°50.6'	230	0-0.5	1.98	2.66	2.65	92.71	57.39	48.83	16.68	-	3.3	1.22	2.58	8.28	0.05	0.72	-	2.57	0.004	0.6
20	5570	74°17.2'	47°44.4'	330	0-0.5	0.71	2.72	7.21	89.36	55.17	44.75	14.91	-	2.69	1.57	2.4	10.38	0.06	0.61	-	2.63	0.005	0.7
21	5571	73°42.2'	44°29.7'	359	0-0.5	1.18	14.62	8.1	76.1	47.04	43.67	15.62	-	2.99	1.48	2.59	9.79	0.06	0.5	-	2.46	0.006	0.78
22	5572	73°15.3'	38°41.1'	256	0-0.5	0.27	6.02	15.66	78.05	50.41	47.77	15.8	-	2.61	1.21	2.47	5.57	0.03	0.59	-	2.65	0.005	0.7
23	5573	74°15.0'	30°00.2'	336	0-0.5	0.24	5.65	13.67	80.44	50.57	50.29	18.89	-	2.89	2.04	2.89	5.76	0.12	0.69	-	2.78	0.005	0.7

привносят вещество разного состава и происхождения в морской водоем, где происходит его смешение и в конечном итоге осаднение на дно. Большую роль в этих процессах принимает вновь образующееся

биогенное вещество *in situ*. Представляет значительный интерес получить хотя бы качественные оценки вклада наиболее важных источников в формирование состава донных отложений.

**Таблица 9.3.3.** Средние содержания основных окислов в донных осадках Баренцева моря по данным разных авторов (в %)

Тип осадка	Число проб	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	MgO	CaO	K <sub>2</sub> O	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	TiO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub> / Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Автор(ы)
Пески	4	59.3	11.01	2.13	1.98	7.36	1.59	3.00	0.035	0.45	5.43	Данная работа
	1	84.81	7.00	–	0.78	2.43	–	1.32	–	0.29	12.03	[Кленова, 1960]
	27	50.7	9.1	1.78	2.0	15.2	1.60	4.2	0.07	0.50	7.8	[Иванов, 2006]
Алевриты	8	55.11	15.85	2.51	2.62	1.39	0.72	5.48	0.139	0.72	3.48	Данная работа
	1	79.88	8.78	–	0.55	2.76	–	2.16	–	0.26	9.10	[Кленова, 1960]
	36	73.8	8.0	1.79	1.33	4.52	1.85	2.80	0.033	0.48	10.6	[Иванов, 2006]
Пелиты	23	48.26	16.88	2.32	2.91	1.36	2.60	7.77	0.40	0.73	2.86	Данная работа
	1	58.21	19.73	–	2.62	1.76	–	4.97	–	–	2.95	[Кленова, 1960]
	127	61.4	13.4	2.77	2.30	2.03	2.77	5.90	0.079	0.78	3.83	[Иванов, 2006]

Породы водосбора Баренцева моря отличаются большим разнообразием по составу и возрасту (см. раздел 9.5). Кольский полуостров сложен преимущественно гранито-гнейсами архея. На севере Урала и на юге Новоземельской области преобладают палеозойские осадочные, магматические и метаморфические комплексы. На северной границе моря выделяются крупные архипелаги – Земля Франца-Иосифа, Шпицберген и Новая Земля. На ЗФИ распространены терригенные отложения триаса и юры, а также базальты и долериты [Чернышева и др., 2003].

#### **О ВОЗМОЖНОМ ВЛИЯНИИ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПОРОД ВОДОСБОРА НА СОСТАВ ДОННЫХ ОСАДКОВ БАРЕНЦЕВА МОРЯ**

Складчатые структуры Урала продолжают и на архипелаге Новая Земля, где распространены мраморы, кристаллические сланцы, амфиболиты и отложения протерозоя и кембрия–силура (см. раздел 9.5). В центральной части архипелага встречаются метаосадочные и мета-вулканические породы, также распространены карбонатные породы.

В работе [Viscosy-Shirley et al., 2003] был предложен довольно простой способ выявления геохимических взаимосвязей между породами водосбора и составом донных осадков морей арктического шельфа. Этот прием был применен нами к осадкам Белого моря и позволил сделать некоторые существенные заключения [Гордеев, Лисицын, 2017].

Для разных типов донных осадков моря (в данном случае это пески, алевриты и пелиты) сравниваются соотношения Si/Al и Mg/K с теми же соотношениями для материала, поставляемого наиболее важными источниками осадочного материала (речные взвеси, аэрозоли, почвы, глины-сланцы, песчаники, базальты и т. д.) (рис. 9.3.1). Из рисунка следует, что фигуративные точки, соответствующие трем типам донных осадков, располагаются в довольно узком диапазоне отношений – по величине Si/Al – от 2.3 до 5.1 (со средними значениями для песков, алевритов и пелитов 4.37, 3.04 и 2.56) и по величинам Mg/K – от 0.62 до 1.15 (соответственно 0.79, 0.74 и 0.81).

Диапазон отношений для песков вытягивается по значениям Si/Al по данным разных авторов от





щую роль сноса терригенного осадочного материала с окружающих Баренцево море территорий суши. Данные по  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и их отношению показывают, что в поступающем в море материале преобладают осадочные и кислые породы, гораздо реже встречаются средние, практически отсутствуют основные и ультраосновные породы.

### ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ДОННЫХ ОСАДКОВ

Давно установлена тесная связь между химическим и гранулометрическим составом осадков [Глаголева, 1959; Лубченко, Белова, 1973; Холодов и др., 1979; Гордеев, 1983; Whitney, 1975 и др.]. Гранулометрический (механический) состав донных осадков – одна из важнейших характеристик осадочных пород, контролирующая их химический состав.

Как видно из таблицы 9.3.1, основная часть донных осадков Баренцева моря – это тонкие пелитовые илы, на 70–98% состоящие из частиц размерами менее 10 мк. Именно эти частицы представляют особую важность на стадиях переноса и накопления на дне моря.

Отметим, что особенно в группе алевритов (очевидно, в виду малочисленности проб песка) встречаются образцы с большим содержанием гравия и гальки (от первых процентов до 76%). Эти фракции удалялись перед анализом проб, именно поэтому (при пересчете на оставшуюся часть) доли остальных фракций возросли, и эти пробы были отнесены к группе алевритов.

Здесь следует подчеркнуть, что современные средства пробоотбора (боксореры, трубка Неймисто) позволяют отобрать самый верхний ненарушенный слой осадков – 0–0.5 – 1.0 см, включающий тонкий наилот как материал переходный от взвешенных в воде частиц к уплотненному донному осадку. Такие приборы появились последние десятилетия и не были доступны в упоминавшихся выше работах предшественников.

Подробнее распределение гранулометрических фракций в донных осадках Баренцева моря рассмотрено в разделе 9.2 данной монографии. Гранулометрический анализ выделяет фракции пелитов (<0.01 мм) и субколлоидов (<0.001 мм). Из таблицы 9.3.1 следует, что по 23 пробам пелитовых осадков среднее содержание пелитовых фракций (<0.01 мм) равно 86.8%, в том числе субколлоидной (<0.001 мм) – 52.6%, т. е. на долю крупных пелитов (0.01–0.001 мм) приходится 34.2%. Но между двумя фракциями очень тесная линейная связь с высоким коэффициентом корреляции ( $R^2=0.953$ ), поэтому с одинаковой надежностью устанавливаются корреляционные связи элементов можно и с фракциями крупного и сред-

него пелита, и с субколлоидной фракцией. Между алевритами и пелитами такой связи не наблюдается ( $R^2=0.239$ ), правда за счет проб с заметной долей фракций гравия и гальки.

Средняя статистическая крупность осадка хорошо выражается величиной медианного диаметра частиц  $M_d$ . Отношение Si/Al четко зависит от их крупности (рис. 9.3.2, а). Наибольшие концентрации  $\text{SiO}_2$  характерны для песков с высоким содержанием кварца, о чем говорилось выше, содержание  $\text{Al}_2\text{O}_3$  максимально в илах. Пелиты в Арктике характеризуются высоким содержанием тонкого детрита (обломочных минералов), что усиливает связи  $\text{SiO}_2$  с пелитами именно в ледовых зонах [Лисицын, 1994а] (рис. 9.3.2, б). Возрастание содержания  $\text{Al}_2\text{O}_3$  в пелитовых илах явно прослеживается на рис. 9.3.2, в. Зависимости от пелитовой фракции других основных окислов –  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , CaO, MgO,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{TiO}_2$  и MnO показаны на рис. 9.3.2 (г, д, е, ж, з, и).

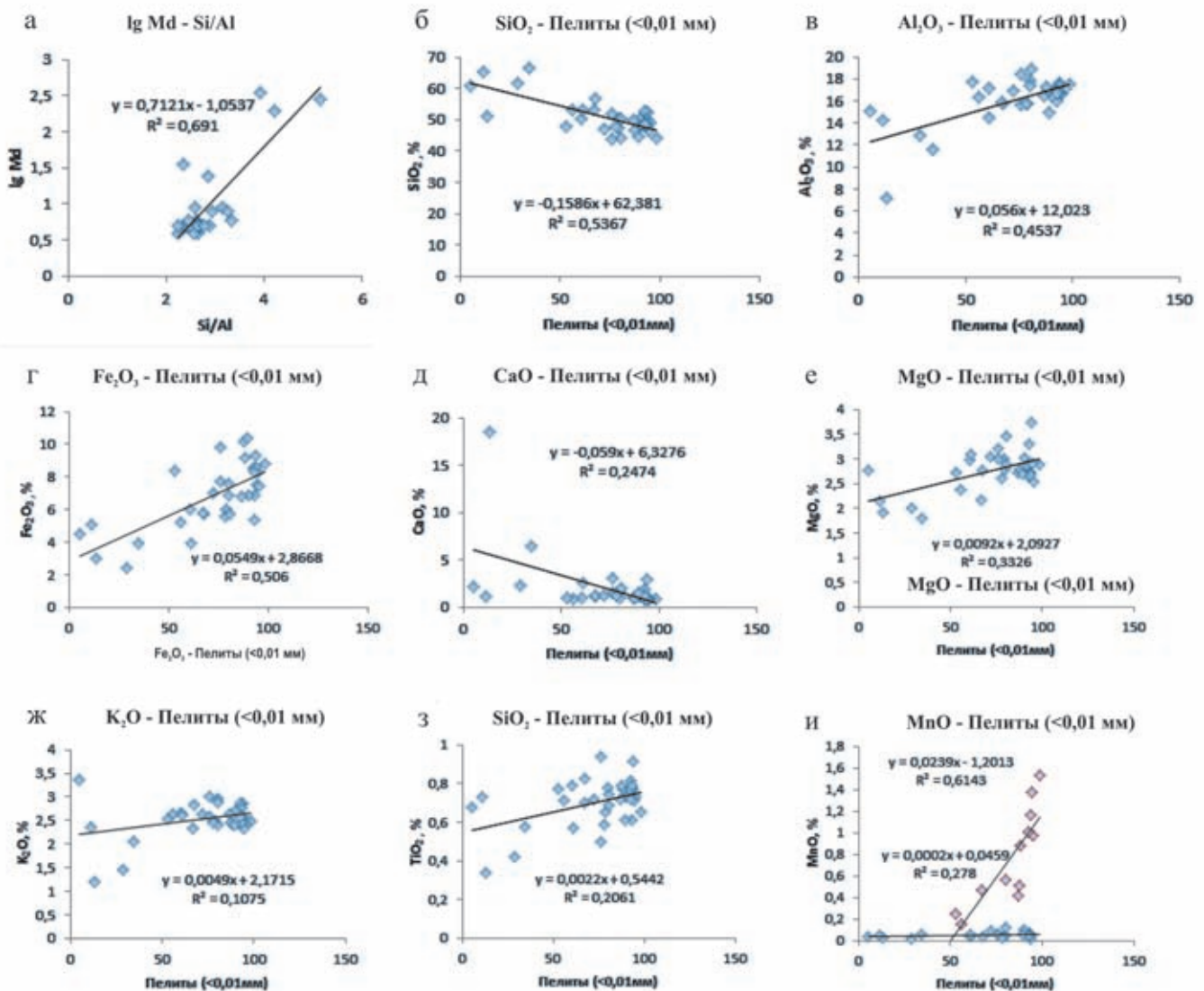
Помимо  $\text{SiO}_2$  только CaO показывает понижение содержания с ростом доли пелитовой фракции (или, что то же, возрастание с укрупнением частиц). Заметно выделяется станция 5439, песок которой обогащен карбонатом кальция. Для всех остальных окислов прослеживается явная тенденция к росту по мере уменьшения диаметра частиц. Такое их поведение вполне ожидаемо и привычно. Еще ранее подобные закономерности были установлены в речных взвесах и донных осадках рек бассейна Каспийского моря [Гордеев, 1983]. Однако, довольно неожиданно и совсем не так, как было установлено в работах [Гордеев, 1983; Иванов, 2006], ведет себя в зависимости от доли пелитов MnO. В этих работах было показано, что в донных осадках и взвесах рек бассейна Каспийского [Гордеев, 1983] и Баренцева [Иванов, 2006] морей происходит почти линейное возрастание содержания Mn с увеличением доли пелитовой фракции, при этом в субколлоидной фракции речных осадков содержание металла оказалось даже ниже, чем в пелитовой фракции (<0.01 мм). В то же время в осадках моря возрастание в субколлоидных частицах продолжалось. На рис. 9.3.2, и отчетливо видно, что при возрастании доли пелитовой фракции в донных осадках Баренцева моря происходит размежевание образцов на две отдельные группы.

В образцах группы 1 при достижении фракции <0.01 мм содержания 30% начинается возрастание содержания MnO, причем не линейно, а близко к экспоненте, и при доле пелитовой фракции более 80% содержание MnO достигает 1% и более (максимум 1.53% почти в чистых пелитах – 98.5%). В то же время в другом множестве образцов (группа 2) с ана-

логичным содержанием тонких пелитовых частиц не наблюдается заметного увеличения содержания MnO. Как в песках и грубых алевритах, эти пелиты содержат порядка 0.02–0.06%, что в 20–75 раз ниже, чем пелиты группы 1. В чем же дело, почему образцы группы 2 не подчиняются нормальным геохимическим закономерностям?

При нормальном процессе дезинтеграции более крупных частиц в более тонкие происходит резкое увеличение площади поверхности, при этом, соответственно, возрастает и их сорбционная емкость. Этот процесс приводит к обогащению тонких частиц большинством химических элементов. Сепарация частиц

также концентрирует в пелитовой фракции глинистые минералы. Предыдущие исследования показывают, что содержание многих металлов более или менее равномерно увеличивается с ростом доли пелитовой фракции. На рис. 9.3.2, и можно видеть, что рост содержания MnO идет более быстрыми темпами по сравнению с обычными процессами увеличения его содержания. Одна из причин представляется очевидной – идет диагенетический подток Mn из более глубоких горизонтов осадочной толщи к самому верхнему слою осадков, которые мы и изучаем. Процессы диагенеза довольно широко распространены, они были описаны недавно в осадках Белого моря [Розанов и др., 2017].



**Рис. 9.3.2.** Зависимость отношения Si/Al от lg Md, где Md – медианный диаметр частиц (в микронах) (а) и зависимости основных окислов в донных осадках от пелитовой фракции (< 0.01мм) (б – и):

а – зависимость Si/Al от lg Md – медианного диаметра частиц (в микронах); зависимость основных окислов в донных осадках от пелитовой фракции (<0.01 мм): б – SiO<sub>2</sub>, в – Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, г – Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, д – CaO, е – MgO, ж – K<sub>2</sub>O, з – TiO<sub>2</sub>, и – MnO

Более детальное рассмотрение образцов двух групп показывает, что они пространственно отделены друг от друга. Все пробы осадков, обогащенных марганцем (группа 1), сосредоточены в северной, центральной и восточной частях моря к югу от ЗФИ (севернее 78° с. ш.). Образцы группы 2 концентрируются в основном в относительно мелководной части моря между 73° и 76° с. ш. Глубины, на которых расположены образцы группы 1, колеблются в диапазоне 192–430 м (в среднем 304 м), тогда как образцы группы 2 больше тяготеют к относительно меньшим глубинам (151–361 м, средняя – 260 м). Содержание пелитовой фракции (<0.01 мм) в осадках двух групп различается незначительно (в среднем 90.9% в группе 1 и 84.5% в группе 2). Вклады субколлоидной фракции также близки, хотя в группе 1 они больше, чем в группе 2 (соответственно 54.7% и 48.5%). При этом на долю грубых пелитов (т. е. разницу <0.01 – <0.001 мм) в обеих группах приходится практически одинаковые объемы (соответственно 36.2% и 36.0%). Это весовые доли фракции, но вполне очевидно, что количество частиц крупных пелитов несравненно меньше числа субколлоидных частиц. На несущественную роль этой фракции указывает и зависимость MnO от субколлоидной фракции (рис. 9.3.3), свидетельствующая о почти полной идентичности зависимости MnO – фракция <0.01 мм (рис. 9.3.2, и).

Интересно посмотреть есть ли существенные различия между двумя группами пелитов по их сорбционной емкости. Относительная сорбционная емкость определяется наличием сорбента и его сорбционными свойствами. Г.И. Иванов [2006] предлагает простой способ оценки сорбционной емкости осадков по формуле:

$$CE_{расч} = 100 - Q_{расч},$$

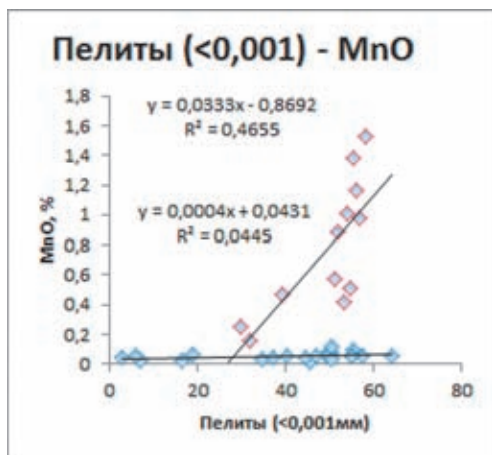


Рис. 9.3.3. Зависимость MnO от субколлоидной фракции пелитов (<0.001 мм)

где  $CE_{расч}$  – относительная сорбционная емкость,  $Q_{расч}$  – расчетное содержание кварца в осадке ( $Q_{расч} = SiO_2 - 2.67 \times Al_2O_3$ ).

Простые расчеты показывают, что в осадках группы 1 кварца практически нет ( $CE_{расч} \cong 100$ ), тогда как в осадках группы 2 в среднем около 5% кварца ( $CE_{расч} \cong 95$ ), т. е. пелитовые осадки, бедные MnO, характеризуются немного меньшей сорбционной емкостью в сравнении с осадками группы 1.

Итак, отмечаем небольшие отличия двух групп пелитовых осадков: богатые марганцем осадки Баренцева моря тяготеют к несколько большим глубинам дна, содержат немного больший процент пелитовой фракции и слегка более высокую сорбционную емкость. Но вряд ли такие отличия могут быть основной причиной столь резкого различия в содержании MnO в осадках двух групп. Тогда каковы же причины этого факта?

Их, на наш взгляд, по крайней мере, несколько.

Во-первых, скорее всего, в осадках группы 2 процессы диагенетического перераспределения либо сильно ослаблены, либо вообще отсутствуют.

Во-вторых, преобладание в субколлоидной фракции литогенных обломочных минералов (кварц, полевые шпаты, амфиболы, пироксены) над группой глинистых минералов, как было показано на примере осадков Белого моря [Дара, Мамочкина, 2015]. По данным этих авторов содержание обломочных минералов в тонкодисперсных поверхностных осадках Белого моря может достигать почти 90%, при среднем значении 63.3%. Тонкие кварцевые и полевошпатовые частицы, естественно, гораздо беднее Mn по сравнению с глинистыми минералами.

На связи MnO – SiO<sub>2</sub> (рис. 9.3.4) ясно видно, что рост содержаний MnO в группе 1 почти не зависит

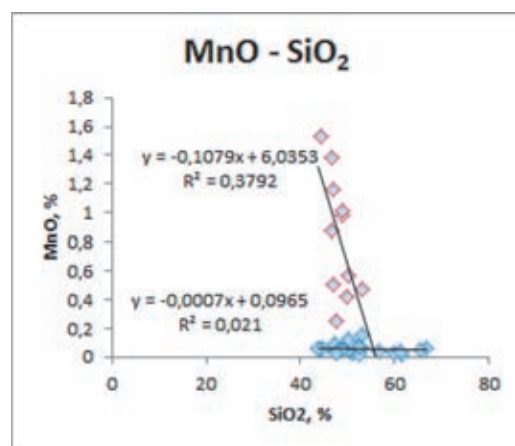


Рис. 9.3.4. Взаимосвязь между MnO и SiO<sub>2</sub>

от содержаний  $\text{SiO}_2$ . Обломочные минералы разбавляют, таким образом, глинистые минералы и почти ничего не добавляют к росту сорбционной емкости субколлоидных частиц. Но такое разбавление воздействует не только на содержание марганца, причем как в первой, так и во второй группе, оно влияет на содержания и других макроэлементов и потому является далеко не главной причиной разделения пелитов на две группы. Главную роль в этом играют, скорее всего, диагенетические процессы, являющиеся ключевыми для марганца, малозаметными для железа и практически незначимыми для других макроэлементов.

Следующая возможная причина – активные придонные течения на малых глубинах моря, создающие неблагоприятные условия для накопления в самом верхнем слое донных осадков  $\text{MnO}$  (удаление поступающего  $\text{Mn}$  из донных осадков, если диагенетические процессы существуют, отсутствие так называемого наилка и т. д.).

Важную роль в повышении содержания марганца в осадках может играть наличие в них железо-марганцевых микроконкреций и даже вынос из глубин марганца гидротермального происхождения, однако никаких фактов наличия в Баренцевом море подобных процессов нам не известно.

### О КОРРЕЛЯЦИОННЫХ СВЯЗЯХ МЕЖДУ ОСНОВНЫМИ ОКИСЛАМИ

В таблице 9.3.4 показаны коэффициенты корреляции между окислами поверхностных донных осадков Баренцева моря. Данные таблицы подтверждают и более полно представляют связи между окислами, пелитовой фракцией и отношением  $\text{Si}/\text{Al}$ , показанные на рисунках и описанные выше в данной работе.

$\text{SiO}_2$  имеет отчетливые отрицательные связи с фракцией пелитов и окислами  $\text{Fe}$ ,  $\text{Al}$ ,  $\text{Mg}$ , слабые отрицательные или отсутствие связей с окислами  $\text{K}$ ,  $\text{Mn}$ ,  $\text{Ti}$  и прямую связь с  $\text{CaO}$ .  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , как и ожидалось, имеет положительную связь с окислами  $\text{Fe}$ ,  $\text{Mg}$ ,  $\text{K}$ ,  $\text{Ti}$ , пелитовой фракцией и отрицательные коэффициенты корреляции с  $\text{CaO}$  и  $\text{Si}/\text{Al}$ . Обращают внимание весьма низкие коэффициенты корреляции между  $\text{MnO}_2$  и практически всеми окислами, отношением  $\text{Si}/\text{Al}$  и слабую зависимость от процента пелитовой фракции в осадках. Из представленных выше рисунков 9.3.2, и, 9.3.3 и 9.3.4 вполне определенно можно сделать вывод, что причина подобного положения состоит в том, что основной источник марганца в тонком слое поверхностных осадков – диагенетический подток из толщи осадков – практически не оказывает влияния на все остальные окислы и параметры, включенные в таблицы 9.3.2 и 9.3.4.

**Таблица 9.3.4.** Коэффициенты корреляции между основными окислами донных осадков, пелитовой фракцией и отношением  $\text{Si}/\text{Al}$ \*

1	$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{CaO}$	$\text{MgO}$	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{MnO}$	$\text{TiO}_2$	$\Phi_{p<0.01}$	$\text{Si}/\text{Al}$
$\text{SiO}_2$	1									
$\text{Al}_2\text{O}_3$	-0.25	1								
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	-0.50	0.41	1							
$\text{CaO}$	0.04	-0.61	-0.18	1						
$\text{MgO}$	-0.31	0.46	0.27	-0.15	1					
$\text{K}_2\text{O}$	-0.04	0.56	0.14	-0.32	0.41	1				
$\text{MnO}$	-0.14	0.10	0.21	-0.05	0.00	0.00	1			
$\text{TiO}_2$	-0.04	0.61	0.29	-0.27	0.33	0.52	0.03	1		
$\Phi_{p<0.01}$	-0.54	0.45	0.51	-0.25	0.33	0.11	0.18	0.21	1	
$\text{Si}/\text{Al}$	0.72	-0.64	-0.61	0.23	-0.49	-0.32	-0.15	-0.32	-0.53	1

**Примечание.** \* Коэффициенты корреляции подсчитаны для всех 34 образцов донных осадков Баренцева моря.  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{C}_{\text{орг}}$  и  $\text{CaCO}_3$  не включены в таблицу в связи с явно недостаточным количеством их парных с другими окислами определений.

### ФРАГМЕНТЫ КАРТ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОКИСЛОВ АЛЮМИНИЯ, ЖЕЛЕЗА И МАРГАНЦА В ДОННЫХ ОСАДКАХ БАРЕНЦЕВА МОРЯ

Фрагменты карт распределения в осадках моря  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  и  $\text{MnO}$  (к сожалению, имевшиеся в рас-

поряжении авторов образцы осадков не покрывали значительную часть площади дна моря) представлены на рис. 9.3.5–9.3.7. Выше было показано, что все три металла положительно коррелируют с пелитовой фракцией осадков, однако каждый со своими особен-

ностями. Зависимости алюминия и железа от пелитовой фракции (рис. 9.3.2, б, в) носят сходный характер, но угол наклона линейной зависимости у железа больше, чем у алюминия. Связи между содержанием марганца и пелитовой фракцией значительно отличаются от таковых для первых двух металлов. Как было показано выше, пелитовые осадки моря разбиваются на две группы. Осадки первой мало зависят от доли

пелитовой фракции, второй группы, напротив, резко увеличивают содержание Mn с ростом этой фракции (рис. 9.3.2, и). Предполагаемые причины такого поведения марганца были представлены ранее.

Три рассматриваемых металла существенно различаются по уровню контрастности содержания в образцах донных осадков. Так, диапазон  $Al_2O_3$  (если не учитывать пробу песков со ст. 5439 – 7.14%) от

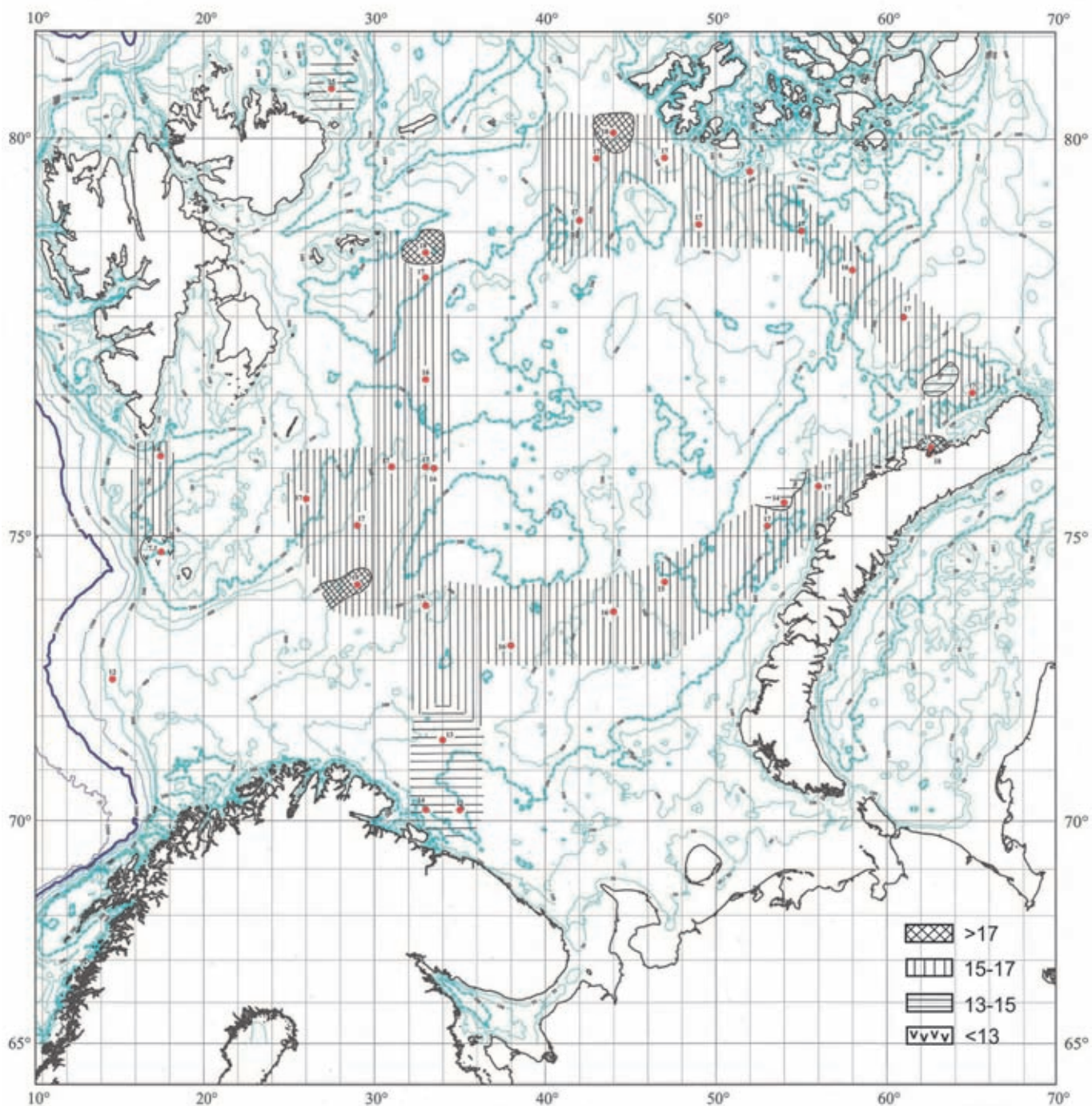


Рис. 9.3.5. Фрагменты карты распределения  $Al_2O_3$  (%) в поверхностных донных осадках Баренцева моря

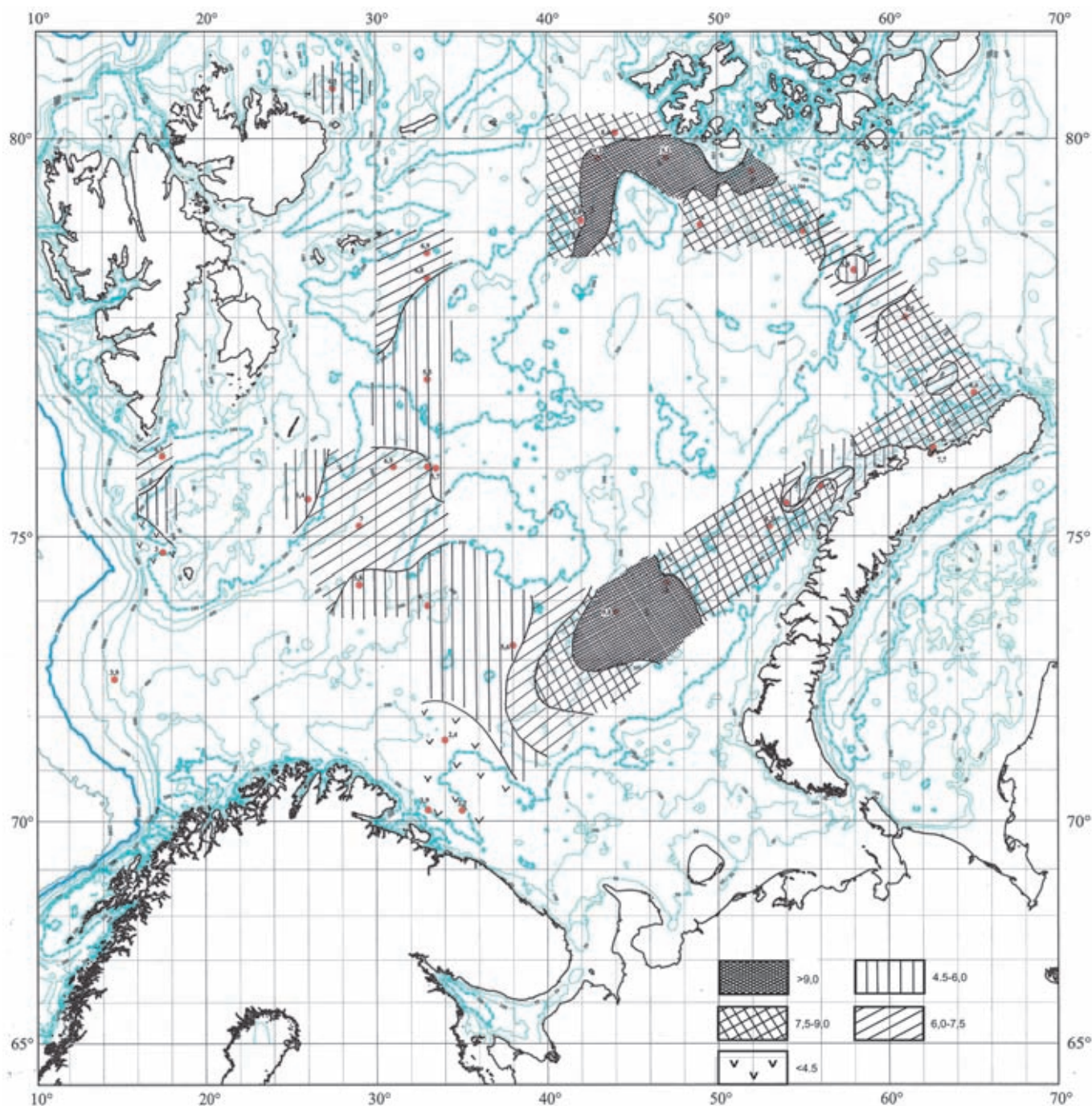


Рис. 9.3.6. Фрагменты карты распределения  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (%) в поверхностных донных осадках Баренцева моря

12.5 до 18.9% (различие в 1.5 раза), для  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  диапазон от 2.5 до 10.4% (различие в 4.1 раза), при этом для  $\text{MnO}$  различия могут достигать более 76 раз (1.53–0.02%).

Рассматривая все три карты, легко видеть у них общие черты, хотя и выраженные, как отмечалось, в разной степени.

Распределение  $\text{Al}_2\text{O}_3$  на всех изученных участках дна моря отличается незначительными вариация-

ми. Из 34 проб осадков лишь в двух – ст. 5423 и 5473 (Русская Гавань и Медвежинский желоб) содержание  $\text{Al}_2\text{O}_3$  превышало 18% (максимум 18.8% или 10.0% Al). Еще в девяти пробах, семи пелитовых и двух алеврито-пелитовых илах, оно было более 17%. Основное же количество и тех, и других типов осадков находилось в диапазоне от 15 до 17%  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (практически от 8 до 9% Al). Эти области занимают основную часть площади моря – от области к юго-западу

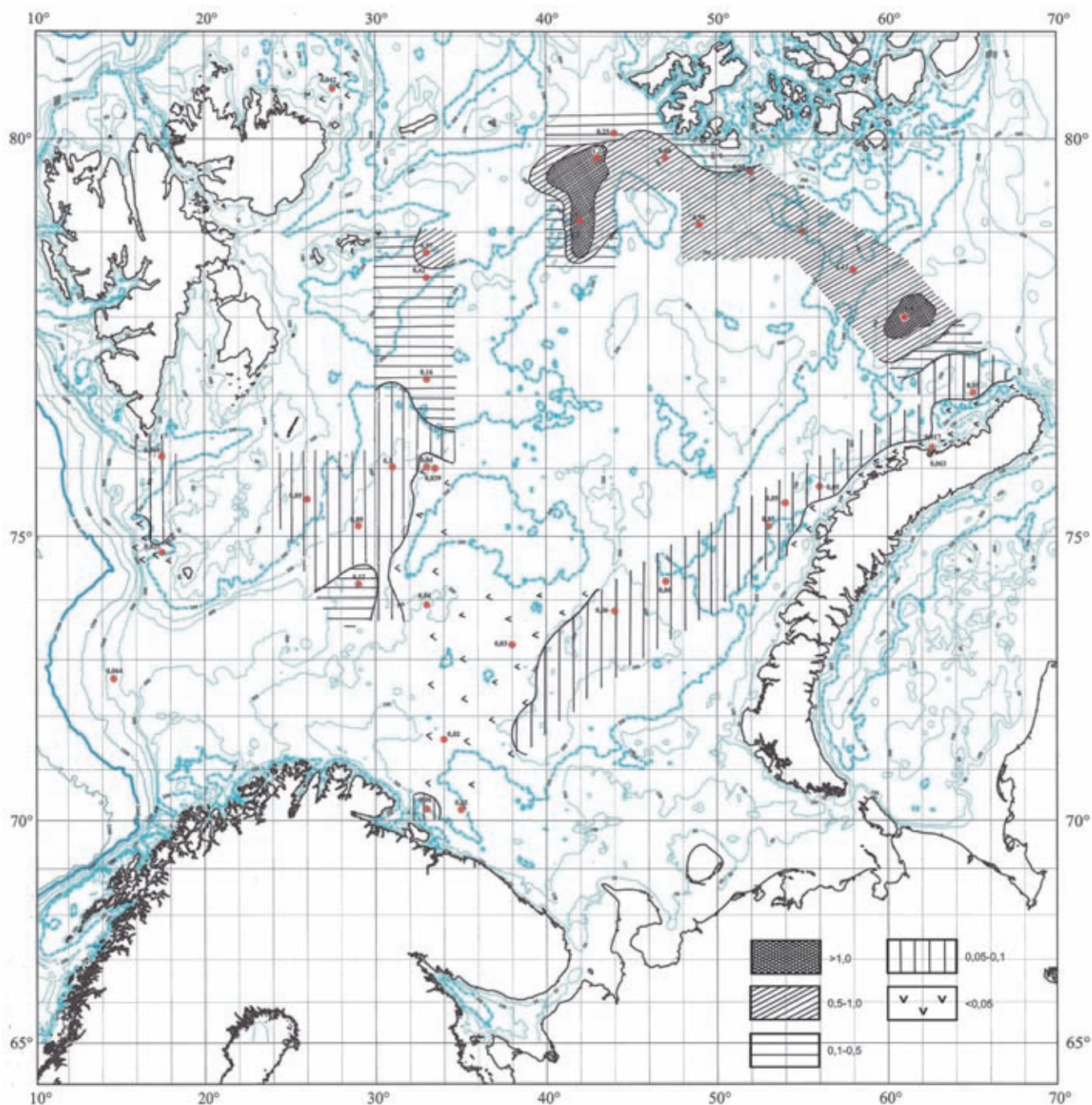


Рис. 9.3.7. Фрагменты карты распределения  $MnO$  (%) в поверхностных донных осадках Баренцева моря

и югу от архипелага Земля Франца-Иосифа, затем к югу от западного склона Новой Земли и восточной части Штокмановского (или Центрально-Баренцевоморского региона) и далее на запад до  $32-36^\circ$  в. д. и на север по  $32-36^\circ$  в. д. до ст. 5555–5556. И только примерно от  $72^\circ$  с. ш. на юг до Кольского полуострова, где преобладают более грубые по механическому составу осадки (пески, нередко с примесью гальки и гравия), содержание  $Al_2O_3$  снижается до 13–15% и

менее ( $<6.9\%$  Al). Излишне редкая сетка станций не позволяет выделить отдельные мелководные участки дна с более низким содержанием металла.

В целом, картина распределения  $Al_2O_3$  достаточно типична для морей с явным преобладанием терригенного осадкообразования.

Распределение в осадках  $Fe_2O_3$  во многом повторяет рассмотренную выше картину распределения  $Al_2O_3$ . Стоит выделить области с превышением окиси

железа более 9% (>6.3% Fe), с максимумом на ст. 5562 (10.2%) и ст. 5570 (10.38%) (у южного побережья ЗФИ и на Штокмановском полигоне). Минимальные содержания  $Fe_2O_3$ , как и в случае  $Al_2O_3$ , характерны для грубозернистых осадков к северу от Кольского полуострова (минимальное содержание  $Fe_2O_3$  – 2.43% или 1.7% Fe).

Более интересна картина распределения окиси марганца в донных осадках моря. Выполненное выше разбиение всех пелитовых и отчасти алевроито-пелитовых илов на две группы (с низким содержанием MnO – менее 0.1%, чаще в пределах 0.04–0.06%) и высоким содержанием (более 0.12%, с максимумом 1.53% MnO или 1.18% Mn). Эти группы донных осадков вполне определенно разделяются и по расположению станций, на которых они были обнаружены. Разделение проходит примерно по  $77^{\circ}30'$  с. ш. – на всех станциях к северу от этой параллели и к востоку от примерно  $30^{\circ}$  в. д. илистые отложения характеризуются высоким содержанием марганца, а к югу от этой параллели илы с повышенным содержанием этого металла нам не встречались. Вероятные причины такой необычной картины обсуждались выше: это разный состав глинистых минералов в осадках двух групп, значительная доля обломочных минералов, даже в субколлоидной фракции, наличие или отсутствие развитых диагенетических процессов в толще осадков, воздействие мощных океанских течений, в первую очередь, к югу от указанной параллели. Вполне вероятно наличие в осадках микроконкреций с высоким содержанием Mn, однако фактическими данными по этому вопросу мы не располагаем. В то же время по данным В.И. Гуревича [2002] крупные Fe-Mn конкреции Баренцева моря обеднены марганцем (<1% Mn).

И последнее, что, по-видимому, следует упомянуть – нельзя исключить фактор гидротермального подтока этого металла. Хотя на сегодняшний день никаких фактов на этот счет не существует, предположение эндогенного воздействия в области севернее  $78^{\circ}$  с. ш. вполне допустимо.

Очевидно, необходимы новые более детальные исследования донных осадков этого интересного для изучения моря.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Макроэлементный состав поверхностного слоя донных осадков Баренцева моря, как подтверждают наши исследования, соответствует классическому типу преобладающего терригенного осадкообразования.

Анализ наших данных и обзор данных литературы показал, что основные источники поставки осадочного материала в море изучены недостаточно. Нет никаких оценок роли одного из важнейших для данного моря источников – поступления взвешенного материала с внедряющимися в водоем атлантическими водами. Наши оценки, полученные посредством сравнения состава донных осадков Баренцева моря с составом осадочных (глины, сланцы) и основных пород (базальты и др.), а также с составом источников осадочного вещества (речная взвесь, аэрозоли, почвы и т. д.), показали, что донные осадки полностью соответствуют по составу глинам и сланцам, а основные и средние породы не оказывают заметного влияния.

Сравнение содержаний основных окислов донных осадков с их гранулометрическим составом выявило надежную положительную связь между содержанием окислов и пелитовой фракции в осадке (за исключением  $SiO_2$  и  $CaO$ ). У кремнезема и окиси кальция связи с пелитами отрицательные, что вполне соответствует классическим представлениям. Нельзя не упомянуть необычное геохимическое поведение марганца. Показано, что пелитовые илы южнее  $77$ – $78^{\circ}$  с. ш. и западнее  $30^{\circ}$  в. д. слабо реагируют на увеличение доли пелитовой фракции до 90% и более, оставаясь по содержанию MnO на уровне 0.04–0.06%, максимум 0.10–0.12%, тогда как в пелитах к востоку и северу от указанных параллели и меридиана наблюдается резкое увеличение содержания MnO до 1.0–1.5%. Рассматривались возможные причины этого факта, но полного понимания наблюдаемой картины пока нет. Построены фрагменты карт (имеющиеся образцы осадков не покрывали всю площадь дна) распределения  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$  и MnO. Основные закономерности вполне ожидаемы – все три окисла накапливаются в тонких осадках (с оговоркой относительно Mn) и содержатся в низких концентрациях в более грубозернистых осадках. Разница заключается в уровне контрастности изменений – малые вариации у  $Al_2O_3$ , промежуточные у  $Fe_2O_3$  и максимальные у MnO.

Колебания содержаний в разных типах осадков остальных окислов ( $SiO_2$ , MgO,  $K_2O$ ,  $TiO_2$ ) довольно слабые. Учитывая корреляционные связи между окислами, можно полагать, что распределения в осадках MgO,  $K_2O$  и  $TiO_2$  должны быть сходны с представленными здесь картами.