

6.2. Элементный состав взвеси Баренцева моря

Д.П. Стародымова, А.И. Коченкова, М.Д. Кравчишина

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

Изучен элементный состав взвеси Баренцева моря по материалам 68-го рейса НИС «Академик Мстислав Келдыш», август 2017 г. методами ИСП-МС и ААС. Рассмотрено распределение литогенных, биофильных и редокс-чувствительных взвешенных форм элементов. Для взвеси поверхностного слоя моря характерна значительная неоднородность в элементном составе, которая обусловлена различиями хода биогеохимических процессов по акватории (например, высокие различия уровня продукции) и разным составом терригенного вещества от источников сноса. Распределение взвешенных элементов в придонном слое моря не имеет существенной связи с их распределением в поверхностном эуфотическом слое. Биофильные элементы значительно обогащают взвесь и наилкок относительно среднего состава земной коры, причем коэффициент обогащения взвеси выше, чем наилкок.

Ключевые слова: взвесь, микроэлементы, тяжелые металлы, взвешенная форма, биофильные элементы, наилкок.

DOI: 10.29006/978-5-6045110-0-8/(21)

ВВЕДЕНИЕ

Взвесь является тем материалом, из которого образуются донные осадки, а водная толща – местом, где происходит мобилизация рассеянного осадочного вещества. Вместе с тем рассеянное осадочное вещество толщи моря (морская взвесь) может значительно отличаться по составу от донных осадков, поскольку претерпевает существенную трансформацию в ходе осаждения из водной толщи. А значит, элементный состав взвеси отображает процессы, которые происходят с этим веществом в процессе седиментогенеза. Состав морской взвеси зависит не только от тесно связанных между собой биологических и физико-химических процессов, происходящих в водной толще (например, цветения водорослей, деградации органического вещества, окислительно-восстановительных реакций), но и гидрологических условий. Изучение некоторых элементов во взвеси имеет большое значение для установления закономерностей образования осадка, что может быть полезно для палеогеографических реконструкций по донным осадкам. Важно, что состав взвеси также отображает и антропогенное воздействие на море [Иванов, 2006; Гордеев, Демина, 2001; Научно-методические..., 1997], в том числе, поступление тяжелых металлов из атмосферы [Голубева и др., 2005].

Несмотря на то, что исследования взвешенного осадочного вещества в Баренцевом море ведутся уже 70 лет, до сих пор существует очень мало данных по элементному составу взвеси. Содержание микроэлементов и, особенно, тяжелых металлов, представляет огромный интерес как для изучения антропогенного влияния на экосистему Баренцева моря, так и для

изучения влияния биохимических процессов (цветения) на цикл микроэлементов в морской воде.

Исследования элементного состава взвеси Баренцева моря ведутся начиная с 1970-х гг. [Морозов и др., 1974]. В цитируемой работе проведен анализ взвеси устьевой зоны р. Печоры. Элементный состав открытых частей Баренцева моря начали изучать в 1990-е гг. На основе материалов, собранных в 13-м рейсе НИС «Академик Сергей Вавилов» (1998 г.), было изучено содержание многих микроэлементов во взвеси, в том числе редкоземельных элементов. По материалам, собранным в 2003 г. в ходе 56-го рейса НИС «Профессор Штокман», также были определены содержания некоторых микроэлементов во взвеси. Результаты этих исследований представлены в работе [Политова, 2007].

Данные по микроэлементному составу взвеси Баренцева моря опубликованы в работе [Иванов, 2006], где приведены результаты анализов 100 проб придонной взвеси, а также в статье [Русаков и др., 2004], где опубликованы результаты анализов взвеси, отобранной в Заливе Франц-Виктория на севере Баренцева моря. Стоит отметить, что предыдущие исследования элементного состава взвеси Баренцева моря были либо ограничены пространственно, либо не рассматривали распределения элементов в водной толще.

При изучении геохимии взвешенного вещества особое внимание уделяется основным образующим взвеси компонентам – углероду (органическому и карбонатному), кремнию, алюминию, фосфору [Политова и др., 2019]. Данные по этим компонентам во взвеси Баренцева моря приведены в разделе 6.1. В то же время для других морей России уже имеются

опубликованные материалы по элементному составу взвеси [Лукашин и др., 2017; Гордеев и др., 2012].

Элементный состав взвеси может быть описан с помощью двух взаимосвязанных величин: концентрации (измеряемые в мкг/л морской воды) и содержания (мкг/г). Первая величина может характеризовать «осадочную продуктивность» или «осадочный потенциал» какого-либо слоя воды в отношении данного элемента. Эта единица измерения используется при оценке соотношения взвешенной и растворенной фракции элементов в морской воде, часто применяется при проведении геоэкологических изысканий. Содержание элементов характеризует природу и происхождение вещества, которое находится в водной толще. При изучении седиментационных систем представляется целесообразным выражать данные о составе взвеси именно в единицах содержания в мкг/г. При наличии данных о массовой концентрации взвеси в морской воде, переход от одних единиц к другим не составляет труда.

Целью настоящей работы является изучение закономерностей изменения элементного состава взвеси как по акватории моря, так и на глубинном профиле, выявление связи между микроэлементами и основными взвесеобразующими компонентами, а также установление источников поступления микроэлементов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Данный раздел написан на основе результатов анализа взвеси, отобранной в Баренцевом море в ходе 68-го рейса НИС «Академик Мстислав Келдыш» в 2017 г. [Кравчишина и др., 2019]. С целью изучения элементного состава взвеси было проанализировано 248 проб фильтрационной взвеси, отобранной на 50 станциях (рис. 6.2.1). В выборку вошли пробы, отобранные как в акватории Баренцева, так и на склоне Норвежского моря (Приложение 1). Помимо этого были проанализированы пробы фильтрационной взвеси из наилка и наддонной воды, собранной с помощью мультикорера (17 образцов), которая является переходным состоянием между рассеянной формой осадочного вещества и консолидированной (осадком). Координаты точек опробования приведены в Приложении 2.

Взвешенное вещество собирали методом вакуумной фильтрации через мембранные поликарбонатные ядерные фильтры диаметром 47 мм с диаметром пор 0.45 мкм. Анализ химического состава фильтрационной взвеси производился после кислотного разложения вещества, собранного на фильтрах [Гордеев и др., 2018]. Определение микроэлементного состава (от скандия до урана) взвеси было выполнено методом масс-спектрометрии с индуктивно-связан-

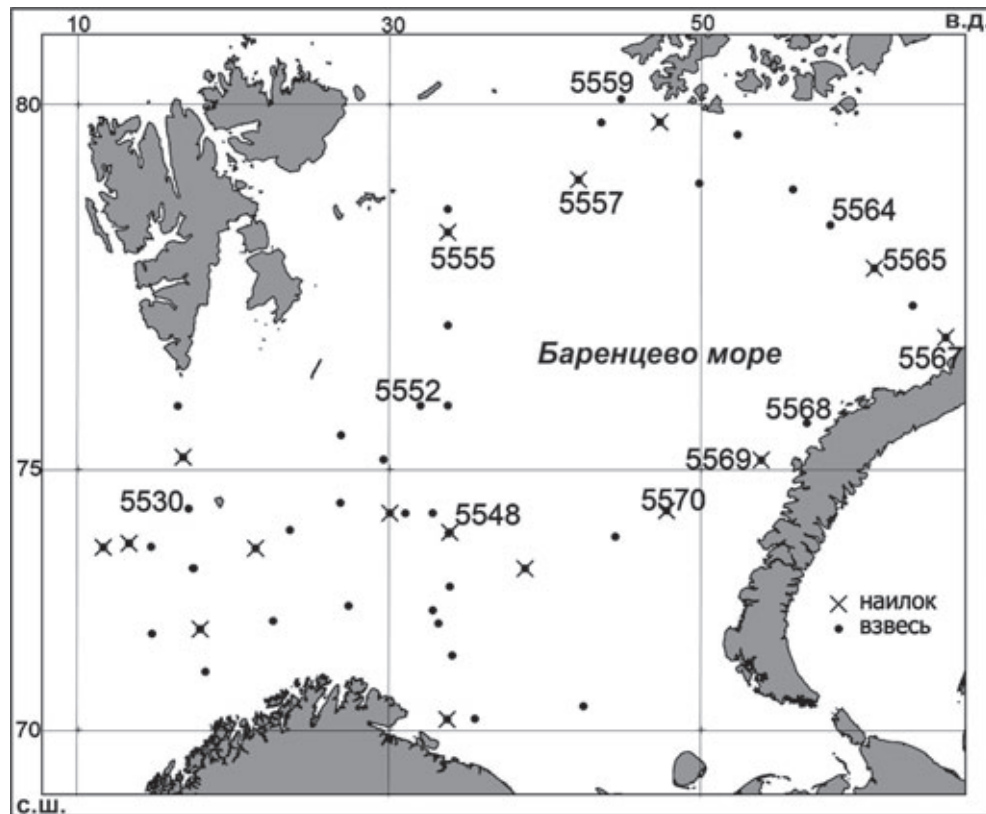


Рис. 6.2.1. Картограмма станций отбора проб взвеси и наилка в 68-м рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш», август 2017 г.

ной плазмой на квадрупольном масс-спектрометре Agilent 7500a, который позволяет анализировать низкие концентрации, что актуально, учитывая низкое содержание взвеси в открытых районах моря. Железо и марганец были определены методом пламенной атомно-адсорбционной спектроскопии.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Элементный состав взвеси отображает происхождение рассеянного осадочного вещества в толще воды, а также в некоторой степени историю его преобразования. Основными компонентами взвеси являются литогенный, биогенный и гидрогенный [Лукашин и др., 2017]. Поэтому содержания всех элементов определяются величинами основных компонентов, для разных элементов характерно тяготение к тому или иному компоненту.

Элементный состав взвеси Баренцева моря характеризуется значительной изменчивостью как в пространстве, так и на вертикальном профиле. Содержание большинства элементов во взвеси возрастает с глубиной по мере уменьшения количества органического вещества. Исключение составляют биогенные элементы (Sr, Cu, Cd, U). Для этих элементов характерны наибольшие содержания в эуфотическом слое воды (табл. 6.2.1). В этом слое наблюдается пик массовой концентрации взвеси за счет продукции фитопланктона.

Наибольшая дисперсия в содержании элементов получена для поверхностного слоя воды (до глубины 10 м), в то время как взвесь, содержащаяся в остальной водной толще (глубже 10-метрового слоя), имеет более однородный состав. Так, содержание железа в поверхностном слое меняется от 0.03 до 1.4%, т. е. разброс его содержания в поверхностной взвеси достигает двух порядков величины. Повышенные содержания (более 0.3%) получены для станций вблизи архипелагов Земля Франца-Иосифа и Новая Земля, что определяется поставкой терригенного вещества из тающих ледников и береговой абразией. В то же время среди проб взвеси, отобранных вблизи берегов, есть как пробы с высоким содержанием железа, так и пробы, не превышающие средние для поверхностного слоя значения. В пробах с повышенным содержанием железа наблюдается также возрастание концентрации других литогенных элементов (скандий, титан, никель, торий и др.). Разброс содержания других элементов в поверхностной взвеси также составляет около двух порядков величин.

В придонной взвеси, отобранной на расстоянии 5–20 м от дна, их распределение более равномерное. Так, разброс содержания железа во взвеси этого слоя составляет от 0.4 до 4.4%, стронция от 70 до 500 мкг/г,

а кадмия от 0.26 до 6 мкг/г. Амплитуда содержания других элементов также составляет около одного порядка величины.

Сопоставление содержаний элементов с основными взвесеобразующими компонентами показывает, что элементы разделяются на несколько групп. Значимая положительная корреляция наблюдается для Si, Al и Fe. Соотношение содержаний алюминия и железа аппроксимируется прямой линейной регрессией с величиной достоверности аппроксимации $R^2 = 0,81$ ($n = 67$) (рис. 6.2.2). Положительная корреляция с содержанием алюминия получена для скандия, титана, галлия, рубидия, цезия, тория, что определяется их связью с литогенным веществом, которое для морской толщи является аллохтонным. Остальные элементы не демонстрируют значимой корреляционной связи с содержанием алюминия.

Выявлена положительная связь между медью, кадмием, ураном и органическим углеродом. Однако эта связь является статистически незначимой (рис. 6.2.2). Таким образом, эти элементы хоть и тяготеют к органическому веществу, но имеют смешанное происхождение. С остальными элементами органический углерод обнаруживает отрицательную корреляцию, что отображает разбавление вещества органикой. Карбонатный углерод демонстрирует положительную связь только со стронцием, что объясняется вхождением ионов стронция в структуру биогенных карбонатов.

Таким образом, железо, скандий, титан, галлий, рубидий, цезий, торий тяготеют к литогенному компоненту, стронций, медь, кадмий и уран частично к биогенному. Другие элементы не проявляют сродство с основными взвесеобразующими компонентами, а значит, они не тяготеют к какому-либо одному компоненту взвеси, а распределены между ними относительно равномерно.

Содержание элементов во взвеси также зависит от глубины отбора образцов. Установлена положительная связь между глубиной отбора и содержанием во взвеси железа, скандия, кобальта, ванадия, никеля, рубидия, цезия, лантана, церия, тория (рис. 6.2.3). Для некоторых других элементов (медь, кадмий, стронций, уран, барий) отмечено существенное возрастание дисперсии в верхних 50–100 м водной толщи. Во многом эта дисперсия объясняется большим разбросом содержания органического углерода в поверхностной взвеси: от 8 до 40%. Увеличение дисперсии не означает обратную корреляцию с глубиной, а только большую вероятность встретить высокое содержание этих элементов именно в поверхностном слое воды. Это также означает, что взвесь глубинных слоев воды имеет более однородный состав.

Таблица 6.2.1. Средние содержания элементов (мкг/г) в поверхностном слое (2–10 м), водной толще (глубина горизонтов 200–500 м) и в наилке в разных районах моря. В скобках даны стандартные отклонения

Горизонт	Fe	Ti	V	Cr	Mn	Co	Ni	Cu	As
<i>склон Норвежского моря (n=8)</i>									
Поверхность	282	123	3.9	12.5	1445	1.81	3.7	46.6	8.9
	(220)	(63)	(3.2)	(9.8)	(876)	(0.78)	(1.7)	(25.3)	(9.9)
Толща	14400	1662	70.2	36.3	3097	10.25	28.2	82.2	16.5
	(3320)	(1082)	(18.0)	(14.1)	(1016)	(1.97)	(5.1)	(42.4)	(6.1)
<i>Возле побережий (Шпицберген и Земля Франца-Иосифа) (n=5)</i>									
Поверхность	3300	547	30.0	82.5	1780	6.9	11.3	40.2	20.3
	(6300)	(538)	(38.0)	(112)	(1547)	(8.5)	(11.8)	(26.3)	(31.8)
Толща	27800	1095	200	61.4	3570	12.7	34.6	51.6	63.0
	(9500)	(417)	(114)	(47.8)	(3110)	(3.9)	(9.1)	(36.6)	(36.8)
<i>Центральная часть моря (n=6)</i>									
Поверхность	414	110	5.38	32.3	1480	2.01	9.8	65.5	10.9
	(355)	(123)	(7.11)	(30.6)	(990)	(1.00)	(3.7)	(65.7)	(13.0)
Толща	17500	633	93.9	36.7	1870	6.19	16.3	62.5	35.6
	(8300)	(485)	(67.5)	(46.2)	(1063)	(3.38)	(9.0)	56.0	28.3)
<i>Наилки (среднее для моря) (n=16)</i>									
	25200	2432	174	68.5	3490	14.3	41.0	30.4	41.6
	(11100)	(1700)	(148)	(38.4)	(5400)	(4.6)	(10.5)	(7.2)	(32.3)
Продолжение таблицы 6.2.1									
Горизонт	Rb	Sr	Cd	Cs	Ba	La	Ce	Pb	U
<i>Склон Норвежского моря (n=8)</i>									
Поверхность	3.18	289	4.68	0.03	97	0.43	0.81	6.11	2.59
	(1.41)	(354)	(2.68)	(0.01)	(99)	(0.25)	(0.44)	(5.32)	(2.45)
Толща	45.8	261	2.10	1.77	348	17.11	40.0	36.4	2.38
	(20.8)	(75)	(0.59)	(0.52)	(87)	(5.45)	(10.4)	(10.9)	(1.45)
<i>Возле побережий (Шпицберген и Земля Франца-Иосифа) (n=5)</i>									
Поверхность	8.52	406	0.71	0.89	69	5.33	17.0	9.6	0.82
	(9.78)	(527)	(0.55)	(1.23)	(89)	(7.04)	(24.1)	(7.7)	(1.04)
Толща	43.17	159	2.18	2.71	300	19.17	48.1	27.0	1.47
	(12.26)	(52)	(1.08)	(0.58)	(168)	(3.48)	(8.2)	(9.1)	(0.51)
<i>Центральная часть моря (n=6)</i>									
Поверхность	1.69	286	5.19	0.02	54.5	1.59	1.60	8.75	2.02
	(1.22)	(214)	(2.11)	(0.02)	(56.1)	(1.09)	(0.78)	(5.35)	(2.07)
Толща	24.4	212	1.50	1.54	206.9	12.0	29.8	36.5	1.41
	(11.0)	(132)	(0.84)	(0.86)	(81.9)	(6.3)	(15.0)	(18.9)	(0.65)
<i>Наилки (среднее для всего Баренцева моря) (n=16)</i>									
	70.3	312	0.17	3.12	270	29.8	71.9	29.6	1.18
	(28.2)	(229)	(0.10)	(0.91)	(96)	(9.9)	(21.3)	(18.2)	(0.36)

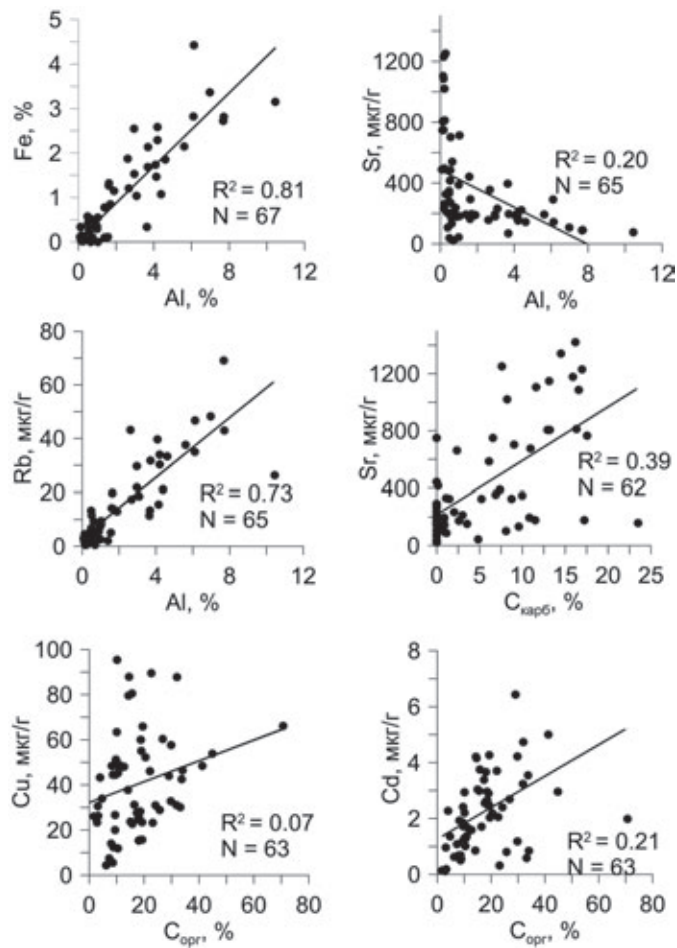


Рис. 6.2.2. Зависимости содержания элементов во взвеси от концентрации основных взвесеобразующих компонентов

Если рассмотреть вертикальное распределение содержания элементов во взвеси для отдельных станций (рис. 6.2.4), то можно выделить несколько типов этого распределения:

- содержание литогенных элементов монотонно возрастает с глубиной. На некоторых станциях для литогенных элементов получено скачкообразное возрастание в придонном горизонте, что определяется влиянием нефелоидного слоя и, соответственно, возрастанием вклада литогенного вещества. Такой тип распределения характерен для Fe, Ti, Sc, Ni, Co, Ga, Rb, Cs, La, Ce, Th, а также (в большинстве случаев) для Pb. Распределение этих элементов изменяется в нескольких пробах, отобранных вблизи Новой Земли (например, ст. 5568), где наблюдается увеличение доли литогенного вещества в поверхностном слое воды, предположительно за счет поступления терригенного вещества из тающего ледника.

- элементы, ассоциирующиеся с органическим веществом, характеризуются максимальными содержаниями в поверхностной или подповерхностной

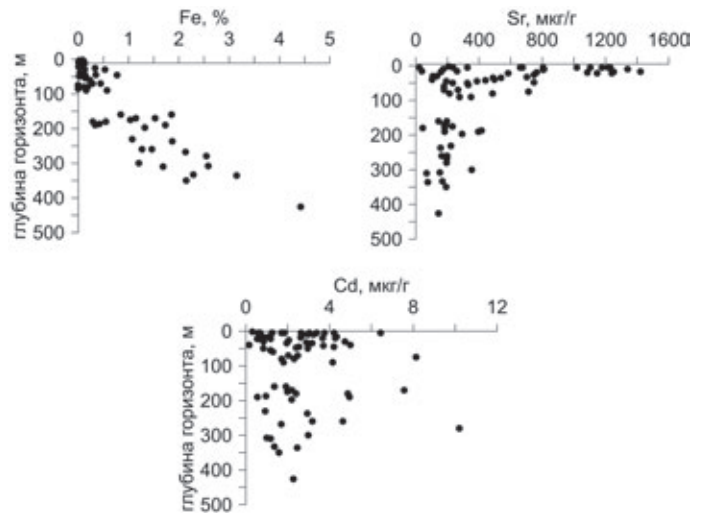


Рис. 6.2.3. Зависимость содержания элементов во взвеси от глубины горизонта отробования

взвеси (до глубины 50 м). К этим элементам относятся Sr, Cd, Cu, U. Надо отметить, что поведение этих элементов на вертикальном разрезе в целом сложное (например, глубина максимального их содержания может значительно варьировать в пределах верхних 50 м воды), поскольку контролируется биологическими процессами, для которых характерна значительная пространственная и временная изменчивость (включая суточные циклы) и которые сложно учесть. Примеры такого типа распределения приведены на рис. 6.2.3 для стронция. Отметим, что такой биофильный элемент, как марганец, не относится к этой группе.

- распределение редокс-чувствительных элементов характеризуется максимумом содержания в промежуточном слое. К этой группе отнесен марганец. Глубина максимальной концентрации различна для разных станций и зависит, по-видимому, от распределения растворенного кислорода. На отдельных станциях (5557, 5559, 5564, 5565, 5567, 5568, 5569) распределение марганца ближе к литогенному типу, что свидетельствует о том, что его источником во взвеси является как литогенное, так и гидрогенное вещество. Железо, несмотря на то, что оно также является редокс-чувствительным элементом, по характеру распределения во взвеси относится однозначно к литогенной группе. На ст. 5530, 5552, 5557, 5564, 5567, 5570 отмечены пики содержаний хрома, которые соответствуют минимумам марганца, что также может быть связано с кислородными условиями, поскольку хром переходит в более растворимую форму в окислительных условиях [Calvert, Pedersen, 2007].

- Отметим, что барий, связанный с биологическими процессами [Dehairs et al., 1980], довольно сложно на основании наших данных отнести к какой-либо

одной группе. На многих станциях в его распределении прослеживается два пика – в подповерхностном горизонте и в промежуточном водном слое.

Для сопоставления состава придонной взвеси, отобранной на расстоянии 2–20 м от дна, с составом наилка, отобранного с помощью мульткорера, содержания элементов во взвеси были нормированы на их содержания в наилке:

$$C_n = C_{\text{придон.}} / C_{\text{наилк.}}$$

где $C_{\text{придон.}}$ и $C_{\text{наилк.}}$ – содержания элемента в придонной взвеси и в наилке соответственно.

В наилке взвесь из рассеянной формы существования вещества переходит в связанную и образует новый вещественный комплекс – донный осадок. Это верхний флокулированный слой над осадком, состоящий из частиц пелитовой и алевропелитовой размерности и имеющий влажность $\geq 90\%$. Наддонная взвесь образуется в результате взаимодействия двух процессов – взмучивания осадков и осаждения частиц из вышележащих слоев воды, обогащенная новообразованным (микробным) органическим веществом [см. раздел 7.1]. На рис. 6.2.5 приведены средние значения C_n и диапазон изменчивости этой величины. Для большинства элементов характерно значение $C_n \leq 1.2$, что говорит о близком сродстве составов взвеси и наилка; при значении $C_n \geq 1.2$ – указывает на обеднение придонной взвеси относительно наилка. Такое обеднение может быть вызвано разбавлением литогенного материала органическим

веществом. Содержание органического углерода в наилке составило от 1 до 3.7%, а в придонной взвеси – от 4.5 до 15.7%. Для марганца, меди, стронция, молибдена, кадмия, бария характерно обогащение в придонной взвеси относительно наилка. Эти элементы характеризуются сродством с органическим веществом. Обогащение марганцем определяется изменением окислительно-восстановительных условий при переходе от придонной взвеси к осадку.

Для выявления источников поступления вещества были рассчитаны коэффициенты обогащения (КО) относительно среднего состава земной коры [Rudnick, Gao, 2003] по формуле:

$$КО = \frac{(\text{Эл.}/Ti)_{\text{проба}}}{(\text{Эл.}/Ti)_{\text{з.к.}}}$$

где $(\text{Эл.}/Ti)$ – это отношение содержания элемента в пробе и в земной коре соответственно. Ti был использован в качестве индикатора литогенного источника вещества. Для того, чтобы проверить правомерность использования титана в качестве индикатора литогенного источника, были сопоставлены значения КО, вычисленные на меньшей выборке с использованием алюминия в качестве индикатора литогенного источника. Значения КО для разных элементов существенно отличались. В частности, для самого титана все значения КО были ниже единицы, отображая закономерное обеднение взвеси (состоящей из тонкой фракции) этим элементом, который обогащает грубозернистую часть осадка. Однако тенденции в изменении КО для разных элементов были схожими. Значения КО, превышающие 3, свидетельствуют о дополнительном источнике вещества, отличном от литогенного. Рассмотрим средние значения КО для взвеси трех диапазонов глубины (0–50, 50–200, 200–500 м) и наилка (рис. 6.2.6). Ряд элементов (скандий, торий, галлий, железо, цезий, рубидий, лантан, церий, ванадий) характеризуется значениями КО около единицы и незначительными их различиями для трех разных

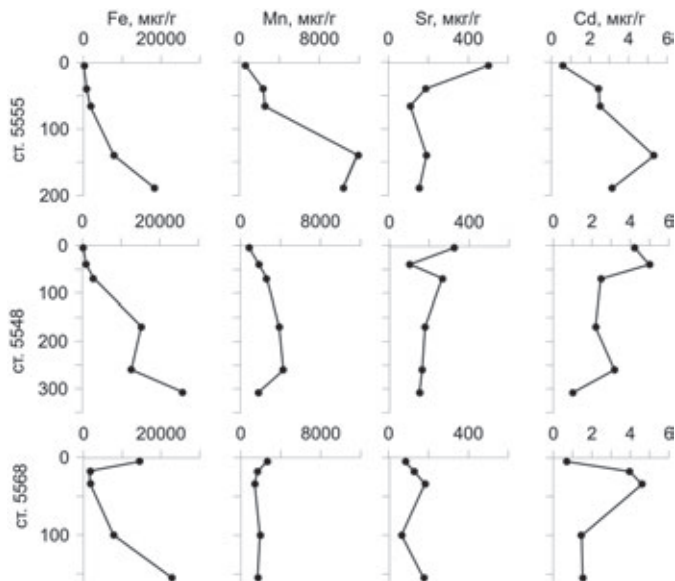


Рис. 6.2.4. Вертикальное распределение элементов во взвеси на примере станций 5555 (центральная часть моря), 5548 (центральная часть моря, кокколитофоридное цветение) и 5568 (у берегов Новой Земли)

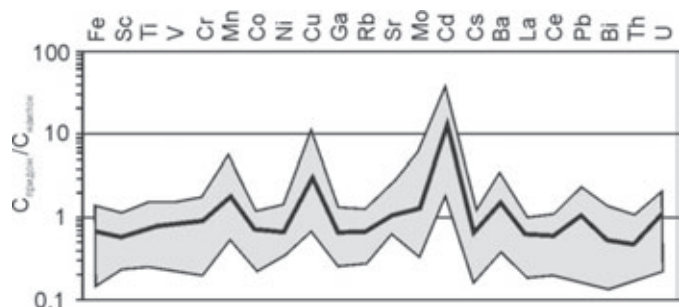


Рис. 6.2.5. Средние содержания элементов в придонной взвеси, нормированные на состав наилка (C_n), и диапазон значений C_n

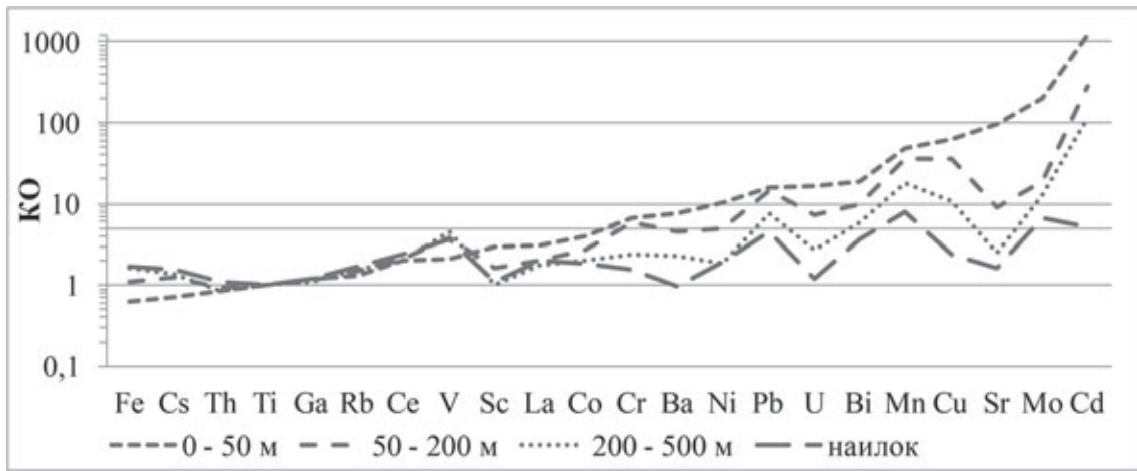


Рис. 6.2.6. Средние значения коэффициентов обогащения во взвеси разных горизонтов водной толщи

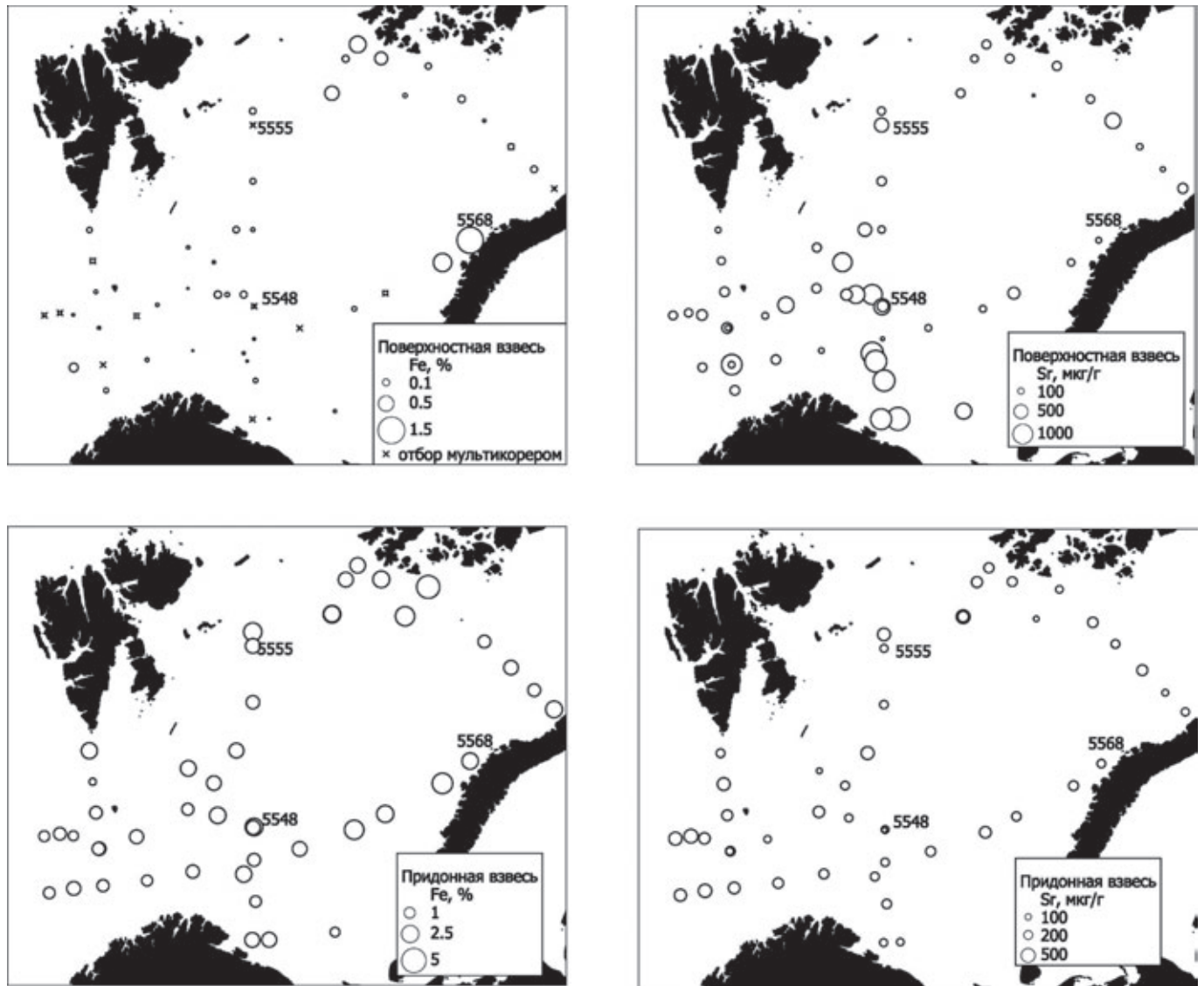


Рис. 6.2.7. Карта-схема распределения железа и стронция во взвеси поверхностного (2–10 м) и придонного (2–20 м от дна) слоев водной толщи

слоев взвеси и наилка. Для взвеси верхних 50 м характерны более высокие (по сравнению с остальной толщей воды и наилком) значения КО для бария, урана, стронция, никеля, висмута, меди, свинца, кадмия, марганца. Это обогащение может объясняться сродством с органическим или биогенным карбонатным веществом (что ранее было показано для стронция, меди, кадмия, урана). Обогащение этими элементами может быть также обусловлено сорбцией элементов на органических частицах при низком содержании литогенной компоненты. Значение КО стронция резко уменьшается при переходе от слоя 0–50 м к слою 50–200 м, что связано с растворением карбонатов в глубинной водной толще. Для других элементов значения КО постепенно убывают с глубиной.

В целом, состав взвеси и наилка очень близок к среднему составу земной коры (с поправкой на разбавление органическим веществом). КО только двух элементов, таких как марганца и молибдена, превышает значение 5. Эти же элементы, а также свинец, висмут, медь и кадмий обогащают взвесь толщи воды (от 200 до 500 м). При этом значения КО во взвеси глубинного водного слоя могут на порядки превышать значения КО в наилке. Так, КО кадмия составляет 110 и 5 в толще воды и в наилке соответственно. Значительное количество микроэлементов переходит в растворенную форму из взвешенной по мере осаждения на дно, тем не менее, состав осадка в целом наследует состав взвеси, преобразованной в ходе седиментогенеза и ранней стадии диагенеза (в наилке).

Пространственное распределение элементов во взвеси значительно различается для поверхностного (2–10 м) и придонного слоев. Выше уже упоминалось, что максимальные содержания железа в поверхностной взвеси получены в пробах, отобранных вблизи западного берега Новой Земли (рис. 6.2.7). Распределение железа в придонной взвеси более равномерно, не зависит от близости берегов. Наибольшие содержания стронция в поверхностной взвеси получены для южных областей моря (к югу от Полярного фронта), что связано с цветением кокколитофорид (см. раздел 8.1). Стронций в придонной взвеси распределяется более равномерно, но наблюдается тенденция к уменьшению его содержания в направлении с запада на восток. Следовательно, повышение концентрации стронция в поверхностном слое не отображается в глубинных слоях. Причина этого – растворение карбонатного вещества глубинными во-

дами, которое усиливается в восточном направлении [Steinsund, Hald, 1994].

ВЫВОДЫ

Элементы во взвеси Баренцева моря распределяются в соответствии с содержанием основных взвесеобразующих компонентов. Железо, скандий, титан, рубидий, цезий и торий связаны с литогенным веществом; стронций – с биогенным карбонатным; медь и кадмий – с органическим.

Для поверхностной взвеси Баренцева моря характерна значительная неоднородность в элементном составе, которая определяется, во-первых, пространственной изменчивостью биологических процессов (уровень первичной продукции, обилие и состав фитопланктона), во-вторых, различиями в поступлении терригенного осадочного вещества на акваторию моря от источников сноса.

При рассмотрении вертикального распределения содержаний элементов выделяются литогенные и биогенные элементы. Для литогенных элементов характерно постепенное возрастание содержаний во взвеси с глубиной. Биогенные элементы отличаются пиком содержания во взвеси поверхностного или подповерхностного слоя воды, а с глубиной их содержание резко уменьшается.

Биофильные элементы значительно обогащают вещество взвеси и наилка относительно среднего состава земной коры. При этом, коэффициент обогащения ряда элементов во взвеси выше, чем в наилке, что обусловлено существенной трансформацией рассеянного осадочного вещества в процессе образования осадка, то есть уже на первых этапах ранней стадии диагенеза.

Закономерности распределения элементов в придонной взвеси не наследуются их распределением в эуфотическом слое. Максимумы содержания стронция в поверхностном и придонном слоях не совпадают, что определяется растворением карбонатного вещества в глубинной водной толще.

Благодарности. Авторы благодарят А.Н. Новигатского, Н.М. Махнович и А.С. Лохова за помощь при отборе проб воды, а также всех участников экспедиции и экипаж НИС «Академик Мстислав Келдыш».

Источники финансирования. Подготовка статьи проводилась в рамках государственного задания (тема № 0149-2019-0007). Анализ проб выполнен при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 19-05-50090).