

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

УДК 551.464 (268.45)

ГЕОХИМИЯ ВЗВЕШЕННОГО ВЕЩЕСТВА ВБЛИЗИ АКТИВНОГО ЛЕДНИКА ПАВЛОВА (ЗАЛИВ ИНОСТРАНЦЕВА, АРХИПЕЛАГ НОВАЯ ЗЕМЛЯ)

© 2007 г. М.В. Митяев¹, М.В. Герасимова¹

Химический состав взвешенного вещества залива Иностранцева определяют литофильные и халькофильные элементы. При выходе из залива происходит качественное изменение взвешенного вещества и смена его геохимической специализации. Несмотря на большое количество взвешенного вещества, поступающего с ледниковыми водами, основная его масса аккумулируется в заливе, не распространяясь на открытый шельф. Изучение содержания, химического состава взвешенного вещества и его изменения от источника сноса до открытой акватории моря позволяет решать геоэкологические и седиментологические задачи, определять источники химических элементов во взвеси, выявлять районы, неблагоприятные для жизни планктонных и бентосных организмов, а также зоны повышенной биологической продуктивности.

Прибрежная зона шельфа является природной зоной, где протекают интенсивные процессы перераспределения осадочного вещества между морским дном и толщей воды. Именно здесь происходят резкие пространственно-временные изменения состава, содержания, условий формирования и седиментации взвеси. В прибрежных районах шельфа велика роль взвеси как фактора, определяющего самоочищение морской среды, условий существования планктонных, бентосных и водорослевых сообществ. Наиболее сильные изменения содержания и состава взвешенного вещества в пространстве и времени происходят в зоне смешения морских и пресных вод. Все это позволяет рассматривать латеральные потоки осадочного вещества как один из ключевых экологических факторов в прибрежной зоне моря.

Взвешенное вещество состоит из минеральных и биогенных частиц. Минеральные взвешенные частицы сами по себе инертны и не могут рассматриваться как интоксиканты, но частицы размером менее 10 мкм (наночастицы) являются сильными сорбентами, их суммарная поверхность под 1 м² только в открытом океане достигает 40 тыс. м², а с учетом коллоидной части – сотни тысяч квадратных метров [1]. До настоящего времени вопрос об изменении химического состава взвешенного

вещества в латеральных потоках изучен недостаточно детально.

Таким образом, цель наших исследований – выявить изменение содержания химических элементов в латеральном потоке взвешенного вещества в прибрежной зоне моря. Это актуально для решения седиментологических и геоэкологических задач, поскольку взвешенное вещество может очищать морскую среду от микроэлементов, но высокая концентрация во взвеси отдельных микроэлементов может негативно сказываться на жизнедеятельности биоты.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводили в заливе Иностранцева у ледника Павлова в середине августа 1995 г. Отбор проб воды для изучения взвешенного вещества осуществляли пластиковым батометром с горизонтов, определенных океанографическими исследованиями (SDT-зондом) [2]. Пробы отбирали с нулевого, придонного горизонта (в 3–5 м от морского дна), а также под пикноклином. На отдельных станциях (№ 1, 3) отбирали промежуточные горизонты. Фильтрацию морской воды проводили вакуумным насосом через предварительно взвешенные с точностью до 0,00001 грамма ядерные фильтры (размер пор 0,45 мкм, диаметр рабочей поверхности 47 мм). Фильтры со взвесью промывали дистиллированной водой в объеме не менее 0,5 л для удаления

¹ Мурманский морской биологический институт Кольского научного центра Российской академии наук, Мурманск.

морских солей, а затем высушивали в сушильном шкафу при температуре 40–60 °С до полного высыхания в течение 24 ч и повторно взвешивали на электронных весах с точностью до 0,00001 грамма [3, 4].

После определения массовой концентрации взвешенного вещества фильтр со взвесью делили на две части. Одну часть фильтра изучали под сканирующим электронным микроскопом в Институте океанологии РАН [5], вторую часть подвергали инструментальному нейтронно-активационному анализу в Московском инженерно-физическом институте. При подготовке к нейтронно-активационному анализу фильтры со взвесью и образцы стандартов (КН, ST, SGD, FFA, RUS-1) облучали в тепловом канале ядерного реактора Московского инженерно-физического института (поток нейтронов $2,8 \cdot 10^{13}$ н/см² · с) в течение 20 ч. Измерение гамма-излучения проводили 3 раза, согласно методике Г.М. Колесова [6].

В исследуемом районе обнажены слабометаморфизованные позднерифейские породы песчано-глинистого состава [7], поэтому все расчеты статистических показателей проводили относительно кларка содержания элементов в слабометаморфизованных сланцевых формациях [8]. Для сравнения использовали кларк содержания химических элементов в литосфере (по А.П. Виноградову [8]). Порядковый ряд элементов, кларк концентрации / рассеивания, коэффициент обогащения рассчитывали по методике А.А. Беуса, С.В. Григоряна [9].

ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ РЕЖИМ

Залив Иностранцева Северного острова архипелага Новая Земля подвержен воздействию двух покровных ледников – Павлова и Иностранцева (рис. 1). Ледники активны в настоящее время, поэтому залив по праву может называться областью перигляциальной седиментации. В водной массе залива сверху вниз выделяется два слоя: поверхностный ($S < 30,0\text{‰}$, $T < 3$ °С) и баренцевоморский ($S > 34,0\text{‰}$, $T > 3$ °С) [2]. Главный пикноклин расположен на глубине 15–20 м. Динамическая структура водной массы определяется поступлением талых ледниковых вод, шлейф которых, постепенно осолоняясь, трансформируется, смешиваясь с поверхностными водами [2]. На структуру прибрежных вод в открытой акватории моря талые ледниковые воды воздействуют незначительно. В общем виде в летний период в водной массе прибрежной зоны сверху вниз можно выделить три слоя: поверхностный ($S < 33,5\text{‰}$; $T > 4$ °С), баренцевоморский ($S > 34,5\text{‰}$; $1 > T > 4$ °С) и придонный ($S > 34,5\text{‰}$; $T < 0,5$ °С) [2]. Главный пикноклин расположен на глубинах 5–10 м. Динамическая структура водной массы определяется антициклоническим переносом баренцевоморских вод вдоль архипелага Новая Земля [10], которые при поступлении в залив охлаждаются и распресняются.

Несбалансированность градиентов температуры и солености, равно как и вертикальное распределение этих параметров по типу поверхностных термо- и галоклина, свидетельствуют о незначительной роли вертикального перемешивания в формировании структуры прибрежной

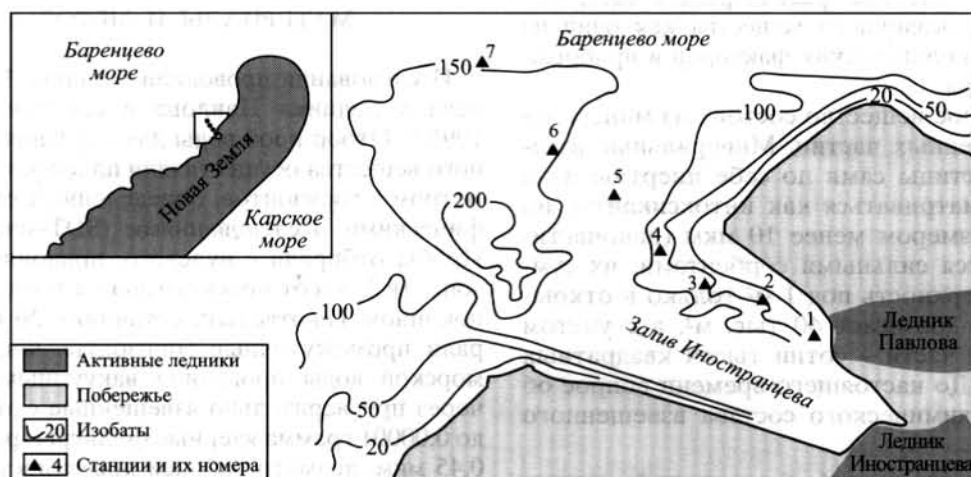


Рис. 1. Район исследований

водной массы [2]. Значение турбулентного переноса тепла в нижние слои прибрежных вод в период исследования было невелико. Следовательно, вся прибрежная зона характеризуется достаточно спокойной гидродинамической обстановкой [2].

КОНЦЕНТРАЦИЯ ВЗВЕШЕННОГО ВЕЩЕСТВА

Концентрация взвеси в заливе Иностранцева в исследуемый период изменялась от 0,65 до 13,05 мг/л (табл. 1), в целом уменьшаясь от ледника Павлова в сторону открытой акватории моря и от поверхностного слоя воды ко дну. Максимальное содержание взвеси было выявлено в поверхностном слое воды мощностью до 20 м в непосредственной близости от ледникового обрыва (станции 1, 2). По мере удаления от ледникового обрыва поверхностный слой воды (обогащенный взвесью) утончается, а концентрация взвешенного вещества уменьшается, и на выходе из залива концентрация взвеси не превышает 2 мг/л. В этом же направлении повышается прозрачность морской воды (с 0,5–1 м до 9–10 м), увеличивается содержание планктонного сестона [2].

Аналогичные концентрации и распределение взвешенного вещества в заливах архипелагов Новая Земля и Шпицберген были описаны и другими исследователями [5, 11–13]. Необходимо отметить, что в последнее десятилетие происходит ревизия ранее полученных данных по концентрации взвешенного вещества, так как количественные оценки его содержания были сильно завышены из-за несовершенства методик [12].

Не вызывает сомнения, что количество осадочного вещества, поставляемого в залив покровными ледниками, зависит от интенсивности

их абляции, которая определяется гидрометеорологическими причинами (сезоном года, температурой воздуха и морской воды, количеством атмосферных осадков, солнечной активностью и др.). Вероятно, в летний период 1995 г. абляция ледников Северного острова архипелага Новая Земля была не интенсивной, а скорее умеренной, что позволяет считать полученные данные близкими к фоновым значениям.

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ВЗВЕШЕННОГО ВЕЩЕСТВА

В содержании химических элементов во взвеси наблюдается четкая закономерность (табл. 2). Так, с удалением от края ледника во взвеси увеличивается содержание Na, K, Ca, Ba, Sb, Zn, Ni, Cr, Zr, As, Se, Br, U и уменьшается содержание Fe, Sc. Содержание Co, Th практически не меняется.

Статистические показатели химических элементов (среднее содержание, диапазон изменения, стандартное отклонение, коэффициент вариации) показаны в табл. 3, где хорошо видно, что литофильные, халькофильные и гидрофильные элементы характеризуются более высокими (65,3–147,1%), чем сидерофильные элементы (29,3–63,3%), коэффициентами вариации. Все элементы имеют логнормальное распределение, а порядковый ряд элементов выглядит следующим образом: $K > Fe > Ca > Na > Zn > Sb > Ba > Zr > Cr > As > U > Ni > Br > Se > Co > Th > Sc$.

При сравнении полученного порядкового ряда элементов с типовым порядковым рядом элементов в слабометаморфизованных позднерифейских породах песчано-глинистого состава [9] можно выявить высокие порядки K, Zn, Sb, U, Se и низкие – Ni, Co, Th, Sc, что, возможно, свидетельствует об обогащении взвеси первыми и обеднении вторыми элементами.

Для определения геохимической специализации взвешенного вещества рассчитаны коэффициенты концентрации / рассеивания элементов (КК) (табл. 4). По средним взвешенным значениям КК выделено четыре группы элементов.

1) Первая с КК – сотни, тысячи (Sb, Zn и Se). Такие значения КК у Sb, Zn и Se не встречаются в горных породах.

2) Вторая с КК – десятки, сотни (Zr, As, Br и U). Такие значения КК у Zr, As, Br и U часто встречаются у кислых магматических и метаморфических пород.

3) Третья с КК от двух до десяти (Na, Ca, K, Ba, и Cr). В эту группу вошли породообразующие

Таблица 1. Концентрация взвеси (мг/л)

№ станции	Горизонт опробования		
	поверхностный слой (нулевой горизонт)	под скачком плотности	придонный слой (5 м от дна)
1	10,15	7,50	3,12
2	13,05	2,95	0,65
3	4,60	2,05	0,93
5	1,82	1,47	1,40
6	0,93	1,91	1,53
7	1,53	1,93	1,77

Таблица 2. Содержание химических элементов во взвеси залива Индостана

№ станции	Горизонт отбора проб, м	%										г/г						
		Na	K	Ca	Ba	Fe	Sb	Zn	Ni	Cr	Co	Zr	As	Se	Br	U	Th	Sc
1	0	1,62	1,70	4,76	0,30	10,72	0,09	0,46	40,59	184,43	35,55	1286,70	78,03	7,45	6,96	25,22	18,45	34,96
	20	8,34	8,67	2,76	0,35	7,65	0,13	0,70	2,67	138,16	28,61	410,67	64,53	6,03	57,23	30,93	14,03	25,61
	30	9,70	4,35	0,96	0,45	7,30	0,29	0,79	35,76	207,15	29,70	1024,24	155,76	56,55	22,67	24,24	20,30	23,83
	40	4,90	1,08	6,02	0,47	14,78	0,26	0,61	5,13	259,54	46,25	3051,28	169,23	43,23	37,80	116,41	30,15	45,90
2	0	2,37	0,44	2,47	0,25	10,00	0,07	0,32	1,53	189,00	29,58	<45,98	65,29	5,73	5,49	14,41	14,36	30,15
	0	5,09	6,33	3,95	0,15	9,50	0,22	0,96	32,17	184,52	31,44	1334,78	22,26	73,13	22,04	30,00	12,87	23,74
	10	2,88	4,42	0,96	0,18	7,22	0,55	1,09	163,90	171,32	13,85	2341,46	186,34	37,76	48,39	219,51	20,88	20,39
	30	7,89	7,22	7,07	1,03	4,31	1,23	1,31	215,56	163,56	40,00	12800,0	351,11	62,44	72,44	80,00	7,87	15,11
3	45	1,96	30,21	20,72	0,10	8,13	1,26	2,19	21,05	224,21	40,63	27073,7	216,84	41,68	88,63	120,00	50,95	24,84
	0	7,62	11,00	9,64	0,02	4,64	0,90	2,60	18,18	74,18	22,18	4890,91	126,73	33,46	135,82	121,82	8,84	4,15
	120	8,76	27,33	7,18	0,30	8,06	0,94	2,50	19,05	133,52	14,86	5409,52	495,24	92,00	131,24	262,86	8,46	3,58
	0	6,60	12,29	7,43	1,02	6,14	1,49	6,43	225,71	361,14	25,14	5757,14	104,86	224,86	32,00	122,86	46,29	6,80
5	20	8,48	20,95	8,80	0,28	8,57	1,02	3,35	131,43	499,81	28,57	3657,14	286,67	56,19	6,10	160,00	24,19	7,79
	150	7,51	4,56	12,70	0,13	5,79	0,95	6,00	219,13	346,26	34,44	3930,44	63,83	29,57	43,48	321,74	12,49	9,18
	0	7,22	3,03	15,72	0,98	9,64	0,90	3,77	17,39	240,52	44,87	4773,91	229,57	128,35	374,09	288,70	24,87	7,01
	30	6,22	6,59	7,78	0,42	11,74	0,66	5,13	120,00	487,45	38,07	3710,35	333,79	35,59	61,10	71,72	3,26	6,48
6	150	6,94	6,78	7,20	0,33	7,84	1,30	2,42	190,59	427,77	37,65	43364,7	708,24	96,47	212,24	334,12	5,34	4,05

Таблица 3. Статистические показатели химических элементов во взвеси (количество проб – 17)

Элемент	Пределы изменения (с вероятностью 0,95)	Среднее содержание	Стандартное отклонение	Коэффициент вариации, %
Na	4–11	6,12	2,55	41,7
K	3–9	9,23	8,84	95,8
Ca	5–10	7,42	5,19	70,0
Ba	0–0,6	0,4	0,32	80,0
Fe	4–12	8,35	2,61	31,3
Sb	0,7–1,5	0,72	0,47	65,3
Zn	1,5–4,5	2,39	1,96	82,0
Ni	100–250	129,9	82,2	63,3
Cr	50–350	252,5	126,9	50,3
Co	10–60	31,85	9,34	29,3
Zr	500–9000	7801	11474	147,1
As	25–400	215,2	178,5	83,0
Se	5–80	60,62	53,83	88,8
Br	0–200	79,87	93,59	117,2
U	0–250	137,91	109,19	79,2
Th	0–35	19,04	13,36	70,2
Sc	15–45	17,27	12,61	73,0

элементы и элементы, определяющие солевой состав морской воды.

4) Четвертая с КК меньше двух (Fe, Ni, Co, Th и Sc). Такие значения КК у Ni, Co и Fe вполне обычны для кислых магматических и метаморфизованных осадочных пород.

По КК третья и четвертая группы элементов очень близки и их разделение довольно условно, только у двух элементов – Ni и Sc наблюдается устойчивое рассеивание по сравнению с содержанием этих элементов в большинстве горных пород и литосфере в целом. В общем, элементы, объединенные в третью и четвертую группы, характеризуются содержанием, близким к региональному кларку.

Первая и вторая группы образуют единую ассоциацию элементов, которая не характерна для магматических и метаморфических горных пород. Подобная ассоциация элементов встречается у гидротермальных пород (особенно у жильных тел с сульфидной минерализацией). В подобных гидротермальных телах элементы, объединенные в четвертую группу, не концентрируются. Тогда элементы первой, второй и четвертой группы поступают в залив в результате денудации одних и тех же пород (предположительно гидротермальных тел).

Для определения источников химических элементов во взвешенном веществе была рассчитана корреляционная матрица (табл. 5). Проверку

полученных коэффициентов корреляции проводили по критерию t-Стьюдента при 15 степенях свободы и уровне значимости 0,01. В результате выделили три группы элементов.

1) Первая (Sb, Zr, Zn, As, Se, Br, U, K и Ca) – элементы имеют друг с другом положительную корреляционную связь и отрицательную корреляционную связь с концентрацией взвеси.

2) Вторая (Na, Ba, Cr, Co, Th и Ni) – элементы не имеют никаких корреляционных связей.

3) Третья (Fe, Sc) – элементы имеют друг с другом и с концентрацией взвеси положительную корреляционную связь и отрицательную корреляционную связь с первой группой элементов.

Как видно, элементы, характеризующиеся повышенными КК, имеют друг с другом положительную корреляционную связь, а также значимую корреляционную связь с Ca и K, что, в частности, характерно для кварц-микроклиновых и кальцит-микроклиновых гидротермальных тел с сульфидной минерализацией.

Отрицательная корреляционная связь элементов первой группы с концентрацией взвеси, возможно, обусловлена тем, что жильные тела имеют небольшие размеры, а продукты их разрушения строго фиксированы определенным объемом. Увеличение продуктов разрушения вмещающих пород (в целом менее устойчивых к денудации) ведет к повышению содержания взвеси и

Таблица 4. Коэффициенты концентрации / рассеяния элементов во взвеси

№ стан-ции	Горизонт отбора проб, м	Na	K	Ca	Ba	Fe	Sb	Zn	Ni	Cr	Co	Zr	As	Se	Br	U	Th	Sc
1	0	0,58	0,63	1,61	5,17	2,23	600	48	0,60	2,05	1,87	8,04	6,00	14,90	1,74	10,09	1,54	2,69
	20	3,00	3,21	0,93	6,03	1,59	867	74	0,04	1,54	1,51	2,57	4,96	12,10	14,31	12,37	1,17	1,97
	30	3,49	1,61	0,32	7,76	1,52	1933	83	0,53	2,30	1,56	6,40	11,98	113,1	5,67	9,70	1,69	1,83
	40	1,76	0,40	2,03	8,10	3,08	1733	64	0,08	2,88	2,43	19,07	13,02	86,50	9,45	46,56	2,51	3,53
2	0	0,85	0,16	0,83	4,31	2,08	467	34	0,02	2,10	1,56	0,29	5,02	11,46	1,37	5,76	1,20	2,32
	0	1,83	2,34	1,33	2,59	1,98	1467	101	0,47	2,05	1,66	8,34	1,71	146,3	5,51	12,00	1,07	1,83
	10	1,04	1,64	0,32	3,10	1,50	3667	115	2,41	1,90	0,73	14,63	14,33	75,52	12,10	87,80	1,74	1,57
	30	2,84	2,67	2,39	17,8	0,90	8200	138	3,17	1,82	2,11	80,00	27,01	124,9	18,11	32,00	0,66	1,16
3	45	0,71	11,2	7,00	1,72	1,69	8400	231	0,31	2,49	2,14	169,0	16,68	83,40	22,16	48,00	4,25	1,91
	0	2,74	4,07	3,26	0,34	0,97	6000	274	0,27	0,82	1,17	30,57	9,75	66,90	33,96	48,73	0,74	0,32
	120	3,15	10,1	2,43	5,17	1,68	6267	263	0,28	1,48	0,78	33,81	38,1	184,0	32,81	105,1	0,71	0,28
	0	2,37	4,55	2,51	17,6	1,28	9933	677	3,32	4,01	1,32	35,98	8,07	450,0	8,00	49,14	3,86	0,52
5	20	3,05	7,76	2,97	4,83	1,79	6800	353	1,93	5,55	1,50	22,86	22,05	112,4	1,53	64,00	2,02	0,60
	150	2,70	1,69	4,29	2,24	1,21	6333	632	3,22	3,85	1,81	24,57	4,91	59,10	10,87	128,7	1,04	0,71
	0	2,60	1,12	5,31	16,9	2,01	6000	397	0,26	2,67	2,36	29,84	17,66	256,7	93,52	115,5	2,07	0,54
	30	2,24	2,44	2,63	7,24	2,45	4400	540	1,77	5,42	2,00	23,19	25,68	71,20	15,28	28,69	0,27	0,50
6	150	2,50	2,51	2,43	5,69	1,63	8667	255	2,80	4,75	1,98	271,0	54,48	192,9	53,06	133,7	0,45	0,31
	0	2,60	1,12	5,31	16,9	2,01	6000	397	0,26	2,67	2,36	29,84	17,66	256,7	93,52	115,5	2,07	0,54
	30	2,24	2,44	2,63	7,24	2,45	4400	540	1,77	5,42	2,00	23,19	25,68	71,20	15,28	28,69	0,27	0,50
	150	2,50	2,51	2,43	5,69	1,63	8667	255	2,80	4,75	1,98	271,0	54,48	192,9	53,06	133,7	0,45	0,31

Таблица 5. Корреляционная матрица элементов
(верхняя часть таблицы – значимые коэффициенты корреляции при $R = 15$, $P = 0,01$)

Элемент	Na	K	Ca	Ba	Fe	Sb	Zn	Ni	Cr	Co	As	Zr	Se	Br	U	Th	Sc	Конц. взвеси
Na	◆◆																	
K	0,392	◆◆				0,676	0,510					0,605					-0,534	-0,660
Ca	0,056	0,47	◆◆			0,657	0,753					0,698		0,498	0,580		-0,487	-0,672
Ba	0,249	-0,172	-0,152	◆◆														
Fe	-0,485	-0,429	-0,055	0,082	◆◆	-0,488												0,547
Sb	-0,268	0,676	0,657	0,115	-0,488	◆◆	0,743	0,632			0,548	0,909	0,600		0,696		-0,645	-0,888
Zn	0,324	0,510	0,753	0,041	-0,331	0,743	◆◆	0,529				0,637			0,684		-0,792	-0,712
Ni	0,078	0,248	0,172	0,131	-0,480	0,632	0,529	◆◆										
Cr	-0,115	-0,052	0,385	0,216	0,338	0,378	0,441	0,397	◆◆									
Co	-0,309	-0,321	0,318	0,345	0,439	0,046	-0,086	0,38	◆◆									
As	0,250	0,343	0,285	0,338	0,025	0,548	0,299	0,203	0,201	0,184	◆◆	0,620	0,485	0,561			-0,624	-0,502
Zr	0,110	0,605	0,698	0,085	-0,365	0,909	0,637	0,451	0,189	0,208	0,620	◆◆	0,578	0,691	0,674		-0,652	-0,905
Se	0,289	0,287	0,221	0,472	-0,128	0,600	0,431	0,336	0,260	0,105	0,485	0,578	◆◆				-0,515	-0,542
Br	0,226	0,360	0,498	0,083	-0,277	0,474	0,414	-0,034	-0,179	0,206	0,561	0,691	0,336	◆◆	0,588		-0,586	-0,601
U	0,223	0,351	0,580	-0,074	-0,314	0,696	0,684	0,392	0,267	-0,071	0,451	0,674	0,451	0,588	◆◆		-0,664	-0,609
Th	-0,306	-0,078	0,066	0,055	0,191	0,009	-0,101	-0,157	0,208	0,078	-0,228	-0,130	0,118	-0,302	-0,034	◆◆		
Sc	-0,468	-0,534	-0,487	-0,002	0,360	-0,645	-0,792	-0,385	-0,137	0,297	-0,624	-0,652	-0,515	-0,586	-0,664	0,471	◆◆	0,626
Конц. взвеси	-0,29	-0,660	-0,672	-0,126	0,547	-0,888	-0,712	-0,448	-0,053	-0,041	-0,502	-0,905	-0,542	-0,601	-0,609	0,023	0,626	◆◆

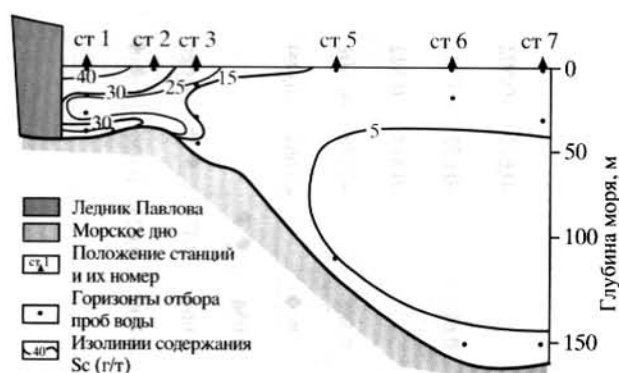


Рис. 2. Распределение содержания Sc (г/т) по вертикали в заливе Иностранцева

относительному уменьшению содержания элементов, сконцентрированных в жильных телах.

Часть элементов не имеет никаких корреляционных связей, возможно, существует несколько источников поступления этих элементов во взвесь. Они могут приноситься с продуктами денудации побережья, сорбироваться из морских солей и поступать с продуктами жизнедеятельности биоты.

В третью группу входит два элемента – Fe и Sc. Наиболее сильная связь с концентрацией взвеси выявлена у скандия. Скандий относится к химическим элементам, которые могут попадать в морскую среду только с побережья при денудации горных пород. При этом биогенное накопление Sc отсутствует [8]. Он инертен в щелочной среде, поэтому его устойчивая корреляционная связь с концентрацией взвеси свидетельствует о том, что именно терригенные частицы определяют весовую концентрацию взвеси в высоких широтах Арктики, в особенности в перигляциальных районах. Об этом свидетельствует и то, что с удалением от береговой линии концентрация Sc резко уменьшается (рис. 2). Уменьшение концентрации Sc с удалением от ледника свидетельствует о смене качественного состава взвеси (с удалением от края ледника во взвеси увеличивается доля биогенных частиц, что подтверждается данными электронной микроскопии [5]), вызванного осаждением минеральных частиц при транспортировке. Тогда можно предположить, что основная масса взвеси поступает в залив Новой Земли в результате абляции ледниковых покровов, так как профиль станций был заложен от края ледника вдоль береговой линии (рис. 1). Часть взвешенного вещества попадает в залив в результате денудации побережья, продукты разрушения которого приносят с собой эле-

менты, объединенные нами в первую группу (Sb, Zr, Zn, As, Se, Br, U, Ca, K).

Исходя из предположения, что Sc приносится только с берега, были рассчитаны коэффициенты обогащения (КО) относительно Sc как отношение содержания элемента к содержанию Sc, нормированное на отношение кларка элемента к кларку Sc. Изменение КО в поверхностном слое воды (рис. 3) начинается в 5 милях от ледникового обрыва, где происходит резкое увеличение КО практически у всех элементов. Это вызвано качественным изменением состава взвеси на выходе из залива, что подтверждается данными электронной микроскопии. При дальнейшем удалении от береговой линии у одних элементов КО уменьшается (Sb, Zn, K, Ni, Cr, Se, Th), у других остается постоянным либо немного увеличивается (Na, As, Fe, Ca, U, Zr, Ba), у третьих наблюдаются резкие скачки (Co, Br). Вероятно, у одних элементов устанавливается равновесие, характеризующее открытую акваторию моря, для других это зона щелочного барьера, на котором они быстро концентрируются и осаждаются (Ni, Sb, Zn, Cr), а третьи подчиняются своим собственным законам (так, уменьшение КО калия может быть вызвано осаждением глинистых частиц, а увеличение КО кальция – увеличением доли динофлагеллят с карбонатным скелетом). В любом случае качественное изменение взвешенного вещества на выходе из залива отражается в поведении элементов во взвеси.

Более сложное распределение КО наблюдается в толще воды (рис. 4). В заливе у ледникового обрыва КО многих элементов увеличивается от поверхности воды к морскому дну, а в придонном горизонте вновь уменьшается. Вероятно, в придонном горизонте воды происходит взмучивание оседающей взвеси и разрушение нефелоидного слоя осадков. Такое распре-

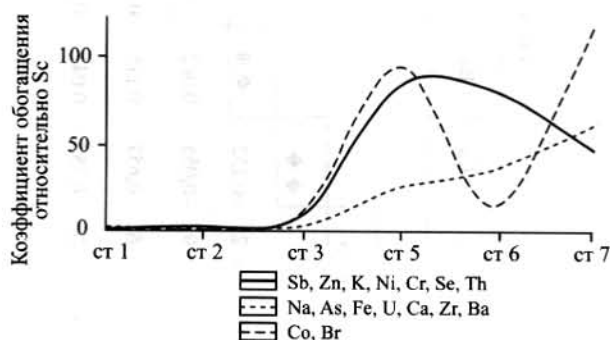


Рис. 3. Обобщенные графики латерального изменения коэффициента обогащения элементов относительно Sc в поверхностном слое воды

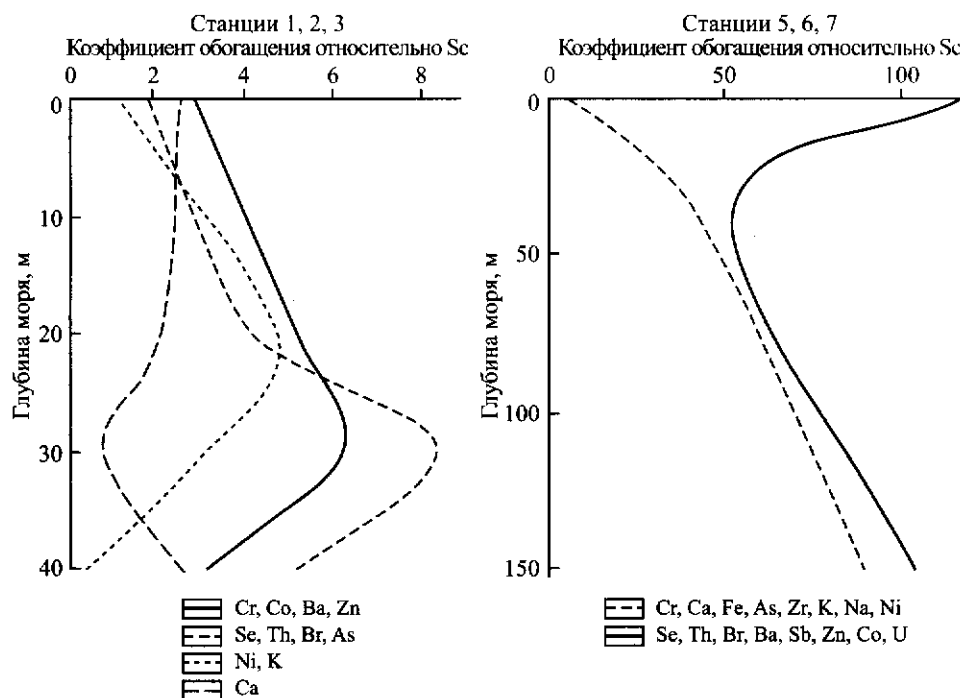


Рис. 4. Обобщенные графики вертикального изменения коэффициента обогащения элементов относительно Sc в заливе (станции 1, 3) и открытой акватории моря (станции 5, 6, 7)

деление КО может указывать на то, что у покровного ледника существует два независимых потока талой воды. Один по поверхности ледника, второй – по ледниковому ложу. Подошва ледника Павлова располагается ниже уровня моря и, вероятно, лежит на морском дне, а ледниковые воды, насыщенные взвесью, поступают непосредственно в придонные слои моря и, перемешиваясь с морскими водами, создают придонное течение, которое препятствует формированию нефелоидного слоя осадка и переносит осаждающуюся взвесь в глубоководную часть залива. На выходе из залива глубина моря резко увеличивается до 100 м, а придонный горизонт воды характеризуется более спокойной гидродинамической обстановкой, что позволяет формироваться нефелоидному слою осадков. Поэтому в открытой акватории моря у большинства элементов наблюдается увеличение КО с глубиной.

ВЛИЯНИЕ ВЗВЕШЕННОГО ВЕЩЕСТВА НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ БИОТЫ

Комплексный анализ содержания и химического состава взвешенного вещества с распределением и биомассой фитопланктона и макробентоса позволил выявить четкую взаимо-

связь между ними. Заливы, подверженные воздействию современных ледниковых покровов, являются районами стрессовых условий существования фитопланктона и бентосных сообществ. Фитопланктон в заливе Иностранцева не развивается даже в вегетационный период, а биомасса макробентоса не превышает 100 г/м² с доминированием фильтраторов [2]. Выход из залива – это барьерная зона, где резко снижается концентрация взвеси и меняется ее химический состав. Здесь фиксируется резкое увеличение численности и биомассы фитопланктона (более 40 мкг/л) и макробентоса (более 1 кг/м²), хотя среди бентосных организмов сохраняется доминирование фильтраторов, но появляются хищники и грунтоеды [2]. В открытой прибрежной зоне концентрация и химический состав взвешенного вещества не испытывает резких изменений, численность и биомасса фитопланктона (менее 10 мкг/л) и макробентоса (0,1–0,5 кг/м²) уменьшаются, по типу питания в макробентосе доминируют хищные виды [2]. Таким образом, перигляциальные условия, характеризующиеся большим содержанием взвешенного вещества в водной толще и высокой скоростью осадконакопления, являются неблагоприятными условиями для жизнедеятельности биологических сообществ.

ществ. Узкая зона разгрузки водной толщи от взвешенного вещества по своему воздействию аналогична "полярному фронту", здесь происходит резкое увеличение видового разнообразия и биомассы планктонных и бентосных организмов [2].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Подводя итог проведенным исследованиям, можно сделать некоторые выводы.

1. При поступлении взвешенного вещества с тальными ледниковыми водами основная его масса аккумулируется в заливе и не распространяется на открытый шельф. Это подтверждается уменьшением концентрации взвеси от ледникового обрыва к открытой акватории моря.

2. Химический состав взвешенного вещества залива Иностранцева определяют литофильные и халькофильные элементы. При выходе из залива происходит качественное изменение взвеси и смена ее геохимической специализации.

3. По динамике изменения содержания элементов во взвеси выделено три группы:

– Na, Ba, Cr, Co, Th и Ni, их содержание не зависит ни от концентрации взвеси, ни от содержания других элементов. В морском бассейне содержание этих элементов во взвеси определяется минеральным составом взвешенного вещества тальных ледниковых вод, интенсивностью сорбции из морских солей и продуктами жизнедеятельности биоты;

– Sc и Fe, их содержание во взвеси определяется минеральным составом взвешенного вещества тальных ледниковых вод, а основная масса этих элементов аккумулируется в заливе;

– Sb, Zn, Zr, As, Se, Br, U, Ca, K, их содержание обратно пропорционально концентрации взвеси. Основным их источник, по-видимому, морские соли и продукты жизнедеятельности биоты.

4. Вероятно, сток тальных вод с ледникового покрова осуществляется по кровле ледника и по его ложу, на это указывает характер распределения КО элементов. Талые воды, стекающие по ледниковому ложу, поступают непосредственно в придонные горизонты водной толщи залива.

Авторы выражают благодарность ведущему научному сотруднику Института океанологии РАН, кандидату геолого-минералогических наук В.П. Шевченко за помощь в организации лабораторных исследований взвешенного вещества.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лисицын А.П. Процессы океанской седиментации: Литология и геохимия. М.: Наука, 1978. 392 с.
2. Научный отчет экспедиции ММБИ "Ясногорск-95". Морские биологические и геологические исследования у ледников Новой Земли и в желобе Святой Анны / Корсун С.А. (сост.). Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 1996. 72 с.
3. Лисицын А.П. Методы сбора и исследований водной взвеси для геологических целей // Труды ИО АН СССР. 1956. Т. 19. С. 204–231.
4. Биогеохимия пограничных зон Атлантического океана. М.: Наука, 1994. 400 с.
5. Шевченко В.П., Герасимова М.В., Корсун С.А. и др. Количественное распределение и состав водной взвеси в зоне влияния ледников Северного острова архипелага Новая Земля // Биологические процессы и эволюция морских экосистем в условиях океанического перигляциала: Междунар. конф., Мурманск, 22–23 октября, 1996. Мурманск, 1996. С. 71–72.
6. Колесов Г.М. Определение микроэлементов нейтронно-активационным анализом в геохимии и космохимии // Журн. аналит. химии. 1994. Т. 49. № 1. С. 160–171.
7. Объяснительная записка к тектонической карте Баренцева моря и северной части Европейской России масштаба 1 : 2 500 000 / Под ред. Богданова Н.А., Хайна В.Е. М.: Изд-во ИЛ РАН, 1996. 94 с.
8. Беус А.А., Грабовская Л.И., Тихонова Н.В. Геохимия окружающей среды. М.: Недра, 1976. 248 с.
9. Беус А.А., Григорян С.В. Геохимические методы поисков и разведки месторождений твердых полезных ископаемых. М.: Недра, 1975. 280 с.
10. Адров Н.М. Исторические и современные представления о морских водах района Новой Земли // Среда обитания и экосистемы Новой Земли. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 1995. С. 20–29.
11. Медведев В.С., Потехина Е.М. Вынос терригенной взвеси ледниками Новой Земли в Баренцево море // Современные процессы осадконакопления на шельфах Мирового океана. М.: Наука, 1990. С. 103–110.
12. Политова Н.В., Шевченко В.П., Айбулатов Н.А. и др. Влияние ледников Новой Земли на современное осадконакопление на примере залива Русская гавань (Северный остров архипелага Новая Земля) // Геодинамика и геологические изменения в окружающей среде северных регионов. Архангельск: Изд-во АГТУ, 2004. Т. 2. С. 172–176.
13. Романкевич Е.А., Корнеева Г.А., Шевченко В.П. и др. Взвешенное органическое вещество в Баренцевом море // Океанология. 2000. Т. 40. № 2. С. 208–216.

**GEOCHEMISTRY OF SUSPENDED MATTER NEAR
THE ACTIVE PAVLOV GLACIER
(INOSTRANTSEVA BAY, ARCHIPELAGO NOVAYA ZEMLYA)**

M.V. Mityaev, M.V. Gerasimova

Chemical composition of the suspension of Inostrantseva Bay is determined by lithophile and chalcophile elements. At an output from the bay there is a change of the suspension geochemical specialization. Despite of a plenty of the suspension inflowing with glacial waters, the basic mass is accumulated in the bay, not being distributed on an open shelf. Studying of the contents and chemical compound of the suspension and its changing from a drift source towards the open water sea area allows solving geoecological and sedimentological problems, to determinate the sources of chemical elements in the suspension, to reveal areas, unfavourable for planktonic and benthic organisms, and zones of the increased biological efficiency.

REFERENCES

1. Lisitsyn A.P. 1978. *Protsessy okeanskoy sedimentatsii: litologiya i geokhimiya*. [Processes ocean sedimentation, lithology and geochemistry]. Moscow, Nauka Publ.: 392 p. (In Russian).
2. Korsun S.A. (Compiler). 1996. *Nauchnyy otchet ekspeditsii MMBI "Yasnogorsk-95". Morskie biologicheskie i geologicheskie issledovaniya u lednikov Novoy Zemli i v zhelobe Svyatoy Anny*. [Scientific report of the expedition MMBI "Yasnogorsk-95". Marine biological and geological studies in the glaciers of Novaya Zemlya and in the channel of St. Anne]. Apatity, KSC RAS Publ.: 72 p. (In Russian).
3. Lisitsyn A.P. 1956. [Methods of collection and studies of the aqueous slurry for geological purposes]. In: *Trudy IO AN SSSR*. [Proceedings of the Institute of Oceanology of the USSR Academy of Sciences]. Vol. 19. P. 204–231. (In Russian).
4. *Biogeokhimiya pogranichnykh zon Atlanticheskogo okeana*. [Biogeochemistry of the border areas of the Atlantic Ocean]. 1994. Moscow, Nauka Publ.: 400 p. (In Russian).
5. Shevchenko V.P., Gerasimova M.V., Korsun S.A. et al. 1996. [The quantitative distribution and composition of an aqueous suspension in the zone of influence of the glaciers of the North Island of Novaya Zemlya]. In: *Biologicheskie protsessy i evolyutsiya morskikh ekosistem v usloviyakh okeanicheskogo periglyatsiala: Mezhdunar. konf., Murmansk, 22–23 oktyabrya, 1996*. [Biological processes and evolution of marine ecosystems in terms of oceanic periglacial: Intern. Conf., Murmansk, October 22–23, 1996]. Murmansk: 71–72. (In Russian).
6. Kolesov G.M. 1994. [Determination of trace elements by neutron activation analysis in geochemistry and Cosmochemistry]. *Zhurnal analiticheskoy khimii*. 49(1): 160–171. (In Russian).
7. Bogdanov N.A., Khayn V.E. (Ed.). 1996. *Ob'yasnitel'naya zapiska k tektonicheskoy karte Barentseva morya i severnoy chasti Evropeyskoy Rossii masshtaba 1 : 2 500 000*. [Explanatory note to the tectonic map of the Barents Sea and the northern part of European Russia, scale 1 : 2 500 000]. Moscow: 94 p. (In Russian).
8. Beus A.A., Grabovskaya L.I., Tikhonova N.V. 1976. *Geokhimiya okruzhayushchey sredy*. [Environmental Geochemistry]. Moscow, Nedra Publ.: 248 p. (In Russian).
9. Beus A.A., Grigoryan S.V. 1975. *Geokhimicheskie metody poiskov i razvedki mestorozhdeniy tverdykh poleznykh iskopaemykh*. [Geochemical methods of prospecting and exploration of solid minerals]. Moscow, Nedra Publ.: 280 p. (In Russian).
10. Adrov N.M. 1995. [Historical and current understanding of the marine waters of Novaya Zemlya region]. In: *Sreda obitaniya i ekosistemy Novoy Zemli*. [Habitats and ecosystems of the "Novaya Zemlya"]. Apatity, KSC RAS Publ.: 20–29. (In Russian).
11. Medvedev V.S., Potekhina E.M. 1990. [Removal of terrigenous suspension glaciers of Novaya Zemlya in the Barents Sea]. In: *Sovremennye protsessy osadkonakopleniya na shel'fakh Mirovogo okeana*. [Contemporary processes of sedimentation on the shelves the World Ocean]. Moscow, Nauka Publ.: 103–110. (In Russian).
12. Politova N.V., Shevchenko V.P., Aybulatov N.A. et al. 2004. [Influence of the glaciers of Novaya Zemlya on the example of the current sedimentation Bay of "Russkaya gavan" (north island of Novaya Zemlya)]. In: *Geodinamika i geologicheskie izmeneniya v okruzhayushchey srede severnykh regionov*. [Geodynamics and geological changes in the environment of the northern regions]. Vol. 2. Arkhangelsk: 172–176. (In Russian).
13. Romankevich E.A., Korneeva G.A., Shevchenko V.P. et al. 2000. [Suspended organic matter in the Barents Sea]. *Okeanologiya*. (Oceanology). 40(2): 208–216. (In Russian).