

В. В. Иванова
Д. В. Кириевская
А. Е. Болотов

**ГЕОХИМИЧЕСКАЯ
ХАРАКТЕРИСТИКА
ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ
В ЗОНЕ ПОКМАРКОВ
В ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ
ФИНСКОГО ЗАЛИВА**



В юго-восточной части Финского залива по данным гидролокатора бокового обзора и профилографа впервые были отмечены покмаркоподобные структуры. Анализ распределения микрокомпонентов в донных отложениях покмарков свидетельствует о том, что осадки находятся в пограничной зоне геохимического барьера, где восстановительная среда поступающего минерализованного раствора гасится высокоокислительной средой морской воды. Гидродинамические и геохимические процессы в зоне покмарков создают очаговые участки аномальной микросреды, влияют на состав и развитие бентоса.

It is the first time pockmark-like structures have been identified in the south-eastern part of the Gulf of Finland with the help of a side-scan sonar and a profile recorder. The analysis of the distribution of microcomponents in the bottom sediment indicates that the pockmark area is located in the geochemical barrier border zone where the reducing environment of the incoming mineralized solution meets the high-oxidizing sea water medium. The hydrodynamic and geochemical processes in the pockmark zone create focal areas of anomalous microenvironment and affect the composition and development of benthos.

Ключевые слова: покмарк, Балтийское море, геохимический барьер, лантаноиды.

Key words: pockmark, Baltic Sea, geochemical barrier, rare earth elements.

Введение

В настоящей работе представлены результаты геолого-геохимических исследований, проведенных на поле покмарков в восточной части Финского залива.

Как и в других морских бассейнах, в толще голоценовых морских осадков Балтийского моря широко распространены газосодержащие грунты. Источником газа (в основном метана) являются процессы газообразования при разложении заключенной в грунте органики. Специфические морфоструктуры — покмарки — различного диаметра образуются, вероятно, в результате выноса частиц грунта мигрирующим биогазом. В начале 70-х гг. прошлого столетия впервые были обнаружены аномалии в распределении углеводородных газов в придонных водах Балтийского моря [1]. Геофизические и геологические исследования, проведенные в серии экспедиций в Балтийском море, показали, что повышенное содержание метана в придонных слоях водной толщи определяется разгрузкой газосодержащих флюидов, локализация которых приурочена к специфической геоморфологической картине дна (углубления, кратеры и т.д.). Метановые кратеры с характерными газонасыщенными осадками и повышенным содержанием метана в придонной воде были выявлены на акватории Балтийского моря в пределах Гданьской, Арконской и Готландской впадин [2]. Скопления покмарков могут служить индикаторами близости углеводородных проявлений, геохимических барьеров, линий перегибов погребенного рельефа, ослабленных зон и погребенных разрывных нарушений как в толще осадков, так и в фундаменте.

На площади восточной части Финского залива покмарки ранее не фиксировались. Они были отмечены впервые при проведении экспедиционных работ в юго-восточной части Финского залива (декабрь 2009 г.) авторами этой работы по данным гидролокатора бокового обзора и профилографа (рис. 1, 2). Форма воронок в плане — округлая, овальная, размеры в плане — от первых метров до первых десятков метров, относительная глубина — от первых десятков сантиметров до первых метров.

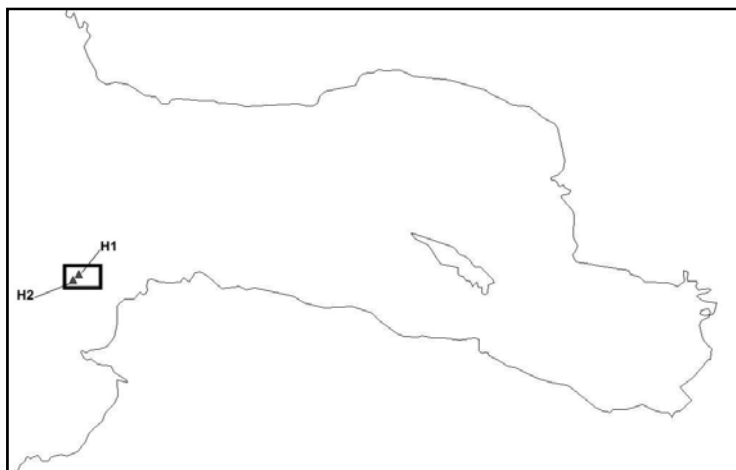


Рис. 1. Обзорная схема района работ

Покмарки обнаружены в районе с экзодинамической обстановкой преимущественного накопления осадков. Район распространения покмарков находится в зоне пересечения субширотной и субмеридиональной зон разломов кристаллического фундамента. Признаков присутствия свободного газа в поверхностных отложениях исследованного полигона на профилограммах отмечено не было.

На основе геофизических данных для дальнейшего изучения в различных частях исследованного полигона были выбраны две покмаркоподобные структуры N1 и N2 (рис. 1, 2).

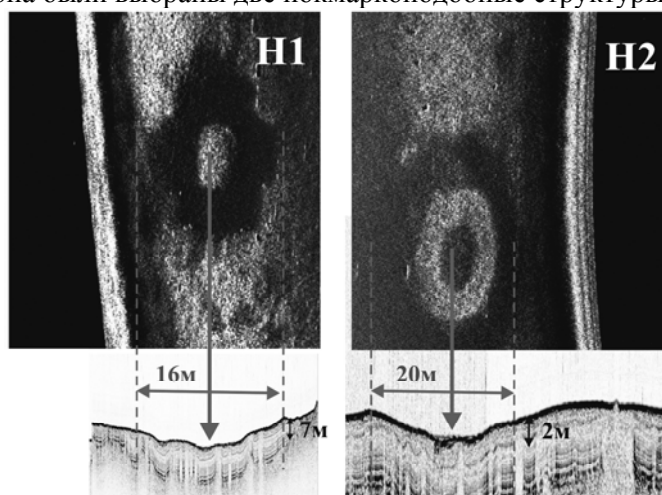


Рис. 2. Совмещение данных ГЛБО и профилографа

Материал и методы

На двух станциях наблюдения были отобраны пробы придонной и поверхностной воды, донных отложений, бентосных гидробиологических сообществ.

Опробование донных отложений проводилось дночерпателем "Van-Veen", изготовленным из нержавеющей стали. Глубина захвата грунта составляла до 50—55 см на алевритовых и алевропелитовых осадках. Пробы отбирались с обязательным измерением температуры и pH осадка.

Отбор гидробиологических проб производился дночерпателем, с последующей промывкой материала через сито с ячейей 1 мм и фиксированием формалином.

Отбор проб воды проводился пластиковым батометром "HYDROBIOS KIEL" объемом 5 л с придонного (0,3 м от дна) горизонта. Измерение температуры и pH воды производилось полевым pH-метром HI 8314 (Hanna Instruments).

В пробах воды и донных отложений методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ICP-MS) определено содержание макро- и микроэлементов, в пробах воды методом ионного электрофореза — содержание главных анионов и катионов, методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) — содержание органических соединений (лаборатория НПО «Водоканал-Санкт-Петербург»).

Результаты

Придонная вода покмарков характеризуется высокой для данных глубин и времени года температурой: +6,9° С, тогда как на фоновой станции вне района их распространения, на той же глубине, она не превышала +3,2° С.

Химический состав придонной воды покмарков характеризуется высокими содержаниями биогенов, а также марганца (при низком содержании железа) (табл. 1).

Таблица 1

**Химический состав придонной воды покмарков
в восточной части Финского залива**

Параметр	Проба 1 (Н1)	Проба 2 (Н2)	Фоновое содержание
Глубина, м	30	28	31
pН, ед.	6,46	6,73	7,64
Температура, град	6,9	6,9	3,2
Al, мкг/дм ³	87,00	73,00	91,00
V, мкг/дм ³	1,19	1,17	1,00
Cr, мкг/дм ³	1,35	1,33	1,26
Mn, мкг/дм ³	179,30	169,70	105,00
Co, мкг/дм ³	0,20	0,14	3,06
Ni, мкг/дм ³	1,22	1,07	4,77
Cu, мкг/дм ³	2,62	1,75	2,93
Zn, мкг/дм ³	2,96	1,71	6,68
As, мкг/дм ³	3,84	3,49	1,50
Rb, мкг/дм ³	16,30	15,31	14,30
Sr, мкг/дм ³	966,80	906,80	770,00
Ba, мкг/дм ³	25,22	22,32	37,00
Pb, мкг/дм ³	0,21	0,04	3,94
U, мкг/дм ³	0,18	0,13	0,11
Fe, мкг/дм ³	44,00	32,00	19,10
Si, мкг/дм ³	480,00	420,00	840,00
Ti, мкг/дм ³	3,00		3,00
Mo, мкг/дм ³	2,10	2,00	1,4
Li, мкг/дм ³	20,00	20,00	20,00
Ca, мг/дм ³	65,00	60,00	60,00
Mg, мг/дм ³	150,00	140,00	135,00
K, мг/дм ³	52,00	50,00	53,00
Na, мг/дм ³	1200,00	1100,00	1200,00
P, мг/дм ³	0,06	0,05	0,04
S, мг/дм ³	105,00	100,00	90,00
Cl ⁻ , мг/дм ³	2050,00	1930,00	1520,00
SO ₄ ²⁻ , мг/дм ³	310,00	300,00	208,00
Br ⁻ , мг/дм ³	6,50	6,30	3,10
NO ₃ ⁻ , мг/дм ³	0,42	0,37	0,11
Соленость, ‰	3,81	3,6	2,65
Минерализация, мг/дм ³	3941	3688	3178

Повышенные относительно фоновых содержаний концентрации главных катионов и анионов (K⁺, Na⁺, Mg²⁺, Ca²⁺, Cl⁻, SO₄²⁻ и Br⁻) в придонных водах зоны покмарков (повышенная соленость), вероятно, являются свидетельством фильтрации воды с другим, отличающимся от морского, солевым составом.

Содержания приоритетных органических поллютантов находятся ниже порога обнаружения, за исключением устойчивых соединений ряда фталатов (табл. 2).

Вскрытые в пределах структур отложения с поверхности (0—3 см) представлены вязким однородным алевропелитом коричневого цвета с примесью органического вещества черного цвета. Ниже (3—15 см) прослой алевролитистого темно-серого песка с примесью органического вещества. Горизонт 15—50 см представлен прослоем мыльной на ощупь плотной серо-желтой глины. Минеральные включения — кварцем и ожелезненным плагиоклазом. Донные отложения не обнаружили характерных признаков разгрузки газа, таких как газонасыщенность отложений, запах сероводорода и т. д.

Химический состав донных отложений покмарков приведен в таблице 3.

Таблица 2

**Результаты хромато-масс-спектрометрической идентификации
компонентного состава проб воды (придонный горизонт)**

Вещество	Уровень концентраций, мкг/дм ³	
	Проба 1 (Н1)	Проба 2 (Н2)
Дихлорметан	< 5	< 5
Тетрахлорэтилен	< 0,04	< 0,04
Трихлорэтилен	< 0,1	< 0,1
1,1-Дихлорэтилен	< 1	< 1
1,2-Дихлорэтан	< 1	< 1
Тетрахлорметан	< 0,01	< 0,01
1,1,2,2-Тетрахлорэтан	0,1	0,1
Бензол	< 1	< 1
Толуол	< 10	< 10
Ксилолы	< 10	< 10
Кумол	< 10	< 10
Стирол	< 10	< 10
Этилбензол	< 5	< 5
Мезитилен	< 10	< 10
Хлорбензол	< 5	< 5
Нафталин	< 5	< 5
Фенол	< 0,1	< 0,1
Хлорфенол	< 0,5	< 0,5
Дихлорфенол	< 0,5	< 0,5
2,4,6-Трихлорфенол	< 1	< 1
2,3,4,6-Тетрахлорфенол	< 0,5	< 0,5
Пентахлорфенол	< 1	< 1
Гексахлорбензол	< 0,05	< 0,05
Линдан	< 0,1	< 0,1
ДДТ и его метаболиты	< 0,1	< 0,1
Полихлорированные бифенилы	< 0,002	< 0,002
Хлоруксусная кислота	< 0,5	< 0,5
Дихлоруксусная кислота	< 0,5	< 0,5
Трихлоруксусная кислота	< 0,5	< 0,5
2-Этилгексановая кислота	< 0,1	< 0,1
Ди(н-бутил)фталат	0,40	0,94
Диизобутилфталат	0,38	0,82
Бензилбутилфталат	< 0,1	0,36
Ди(2-этилгексил)фталат	0,64	2,1

Таблица 3

Химический состав донных отложений, мкг/кг

Параметр	Фоновое содержание для алевропелитов*	Проба 1 (Н1)	Проба 2 (Н2)
рН, ед.	—	6,33	6,75
Температура, град	—	7,05	6,84
Со	9,53	13	10
Сu	12,85	41	24
Ni	14,61	32	27
Zn	69,36	227	118
Sn	0	4,65	3,65
W	0	3,65	2,10
Mo	0	4,94	3,92
Cd	0,424	0,94	0,59
U	3,748	3,21	3,14
Pb	26,56	50	29

Cr	25	84,0	62
V	0	58,00	55,00
As	0	9,40	7,60
MnO	0,04	0,05	0,10
Fe ₂ O ₃	2,66	3,66	3,54
P ₂ O ₅	0,14	0,09	0,11
Na ₂ O	2,69	1,43	1,40
MgO	0,76	0,87	0,81
Al ₂ O ₃	12,66	5,27	6,00
K ₂ O	3,17	3,10	2,98
CaO	1,71	0,76	0,83
TiO ₂	0,41	0,31	0,31

* Фоновые содержания для алевропелитов восточной части Финского залива приведены по данным ВСЕГЕИ, 2008.

Донные отложения покмарков отличаются существенно железистым, по отношению к фоновым алевропелитам, составом, повышенными содержаниями практически всех микрокомпонентов.

При быстром накоплении осадков в их толще возникают восстановительные условия, в которых Mn растворяется и мигрирует вверх, обогащая окисленные слои осадков и придонную воду. Fe в восстановительных условиях может осажаться в форме сульфидных минералов, входить в состав соответствующих глинистых минералов и др. Это первый этап разделения Mn и Fe в морской среде. Сопоставление распределения железа и марганца в придонных водах и в осадках покмарков дает возможность сделать вывод о том, что донные отложения покмарков находятся в пограничной зоне геохимического барьера, где восстановительная среда поступающего минерализованного раствора гасится высокоокислительной средой морской воды. Это объясняет повышенные содержания в осадках Fe, накапливающегося за счет образования органических полисульфидов, глинистых минералов и т. д.

Следует отметить, что отложения из зон изученных покмарков резко различаются по составу и ряду компонентов. Так, отложения из покмарка Н1 (проба 1) обогащены цинком и вдвое меньше содержат марганца, т.е. более окислены. Очевидно, эта генерация подверглась локальному промыванию струйным потоком морской воды. Это течение обладало более высокими окислительными свойствами, чем окружающая морская среда, что объясняет повышенные содержания в осадке цинка, накапливающегося преимущественно за счет сорбционного связывания его из морской воды, гидрогенным путем. Наличие высокоокислительной среды в зоне покмарка Н1 подтверждается и более низкими, по сравнению с покмарком Н2, содержаниями соединений ряда фталатов (табл. 2).

Анализ лантаноидов в донных отложениях покмарков выявляет определенные закономерности в распределении редких земель.

Геохимические особенности редкоземельных элементов (РЗЭ) служат индикатором окислительно-восстановительных геохимических процессов. Традиционно изучение их геохимии использовалось при петрогенетическом изучении магматических пород, однако в последние годы активно изучаются закономерности их распределения в различных водных геохимических системах [8; 9; 13]. Изучение поведения РЗЭ в различных типах поверхностных и грунтовых вод показало [10; 11], что в общем случае поверхностные и подземные воды могут наследовать состав и особенности распределения РЗЭ от пород или других водных масс, с которыми они взаимодействуют.

Большой интерес представляет изучение влияния коллоидов гидроксида алюминия и железа в реках, эстуариях и морской воде на процессы фракционирования РЗЭ (соотношение легких (La-Nd), средних (Sm-Gd), тяжелых (Tb-Lu)).

РЗЭ трехвалентны, за исключением церия (обычно 4+) и европия (обычно 2+), поэтому поведение этих элементов в сравнении с другими РЗЭ обычно используется как индикатор редокс-условий. Геохимическое своеобразие европия состоит в том, что его валентность переменна: в условиях земной поверхности, при свободном доступе кислорода, он, как и прочие РЗЭ, трехвалентен, но в прогретых глубинах Земли, в отсутствие свободного кислорода, он восстанавливается до двухвалентного состояния и становится более подвижным, переходя в циркулирующие по трещинам горных пород гидротермальные растворы значительно интенсивнее остальных РЗЭ.

Однако европий может переходить в двухвалентное состояние не только в глубинах Земли, но и в условиях восстановительного диагенеза осадков, накапливаясь в формирующихся там новообразованиях.

При изучении геохимии РЗЭ обычно используются нормированные на NASC (North American Shale Composite) [12] содержания, для того, чтобы устранить влияние различной распространенности химических элементов (четные более распространены, чем нечетные). Изучаются также величины цериевой и европиевой аномалии, выраженные как $Ce^* = 3Ce_n / (2La_n + Nd_n)$ [9, p. 216]; и $Eu^* = 2Eu_n / (Sm_n + Gd_n)$, где индекс «n» означает, что используются нормированные на NASC содержания.

Известно, что большую часть РЗЭ осадок получает из воды [4, с. 132]. Редкоземельные элементы в осадках тесно связаны с фосфором. Исключение составляет церий, который накапливается в оксигидроксидных аутигенных отложениях Fe-Mn. Механизм накопления РЗЭ(III) можно объяснить сорбцией/соосаждением РЗЭ на оксигидроксидах железа.

В ходе диагенеза форма спектра РЗЭ остается практически неизменной, отражающей первичные условия осадконакопления.

Для определения условий осадкообразования применены следующие критерии оценки составов лантаноидов [7, с. 1104—1105]:

- 1) $\Sigma(REE+Y)$;
- 2) индикаторы фациальных обстановок La/Yb, La/Sm, Ce/Sm, Yb/Sm, Y/Sm: для прибрежных фаций возрастают значения La/Yb, La/Sm, Ce/Sm, убывают Yb/Sm, Y/Sm; для более глубоководных или удаленных в пелагиаль — наблюдается обратная зависимость;
- 3) индикатор климата $\Sigma Ce / \Sigma Y$, где $\Sigma Ce: (La-Eu)$, $\Sigma Y: (Gd-Lu, Y)$, <2,5 — аридный; 2,5—4,0 переходные условия; >4 — гумидный;
- 4) индикатор обстановок осадкообразования Ce^* ,
- 5) индикатор восстановительных условий осадкообразования Eu^* .

Содержания РЗЭ, значения цериевой и европиевой аномалии и других геохимических коэффициентов в донных отложениях покмарков приведены в таблице 4.

Таблица 4

Содержания РЗЭ (мкг/г), значения геохимических коэффициентов в донных отложениях покмарков

Параметр	Проба 1 (H1)	Проба 2 (H2)
La	37	40
Ce	72	78
Pr	8,72	9,50
Nd	32	34
Sm	5,80	6,31
Eu	1,10	1,15
Gd	5,31	5,83
Tb	0,80	0,88
Dy	4,06	4,64
Er	2,25	2,59
Yb	2,13	2,56
Lu	0,36	0,43
Y	19	19
Ce^*	0,94	0,94
Eu^*	1,02	0,95
LREE/HREE	10,46	9,99
$\Sigma(REE+Y)$	189,77	204,96

Окончание табл. 4

Параметр	Проба 1 (H1)	Проба 2 (H2)
$\Sigma Ce / \Sigma Y$	5,64	5,81
La/Yb	17,19	15,43
La/Sm	6,33	6,27
Ce/Sm	12,39	12,39

Yb/Sm	0,37	0,41
Y/Sm	3,28	3,01

Спектры распределения РЗЭ (рис. 3) для изученных отложений однотипны, характеризуются избытком легких лантаноидов, при дефиците тяжелых, что не характерно для морских осадков, где наблюдается обратная закономерность, а типично для отложений континентального стока. Цериевая аномалия отрицательна, по своим значениям (табл. 3) соответствует окраинно-континентальным обстановкам осадконакопления [7, с. 1104].

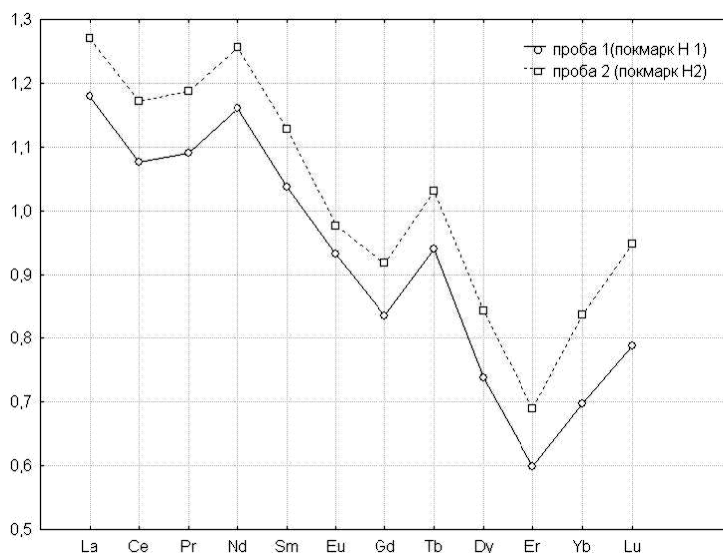


Рис. 3. Спектры распределения РЗЭ (содержания РЗЭ нормированы на NASC)

Значения La/Yb, La/Sm, Ce/Sm, Yb/Sm, Y/Sm соответствуют значениям, характеризующим прибрежные фации [6, с. 75]. Относительно высокие La/Yb, La/Sm, Ce/Sm обусловлены, видимо, влиянием поступающего в зону покмарков метеорного раствора.

Значение показателя $\Sigma Ce / \Sigma Y$ отвечает гумидному типу литогенеза.

Отмечаются пониженное и близкое к кларковому для NASC (199 мкг/г) содержание $\Sigma(REE+Y)$, при увеличении суммы в образце с высоким содержанием органики.

Наблюдаемое распределение лантаноидов соответствует невысоким скоростям осадконакопления [4]. Eu^* превышает среднее значение в осадочных породах фанерозоя ($Eu/Eu^* = 0,61—0,72$) [7, с. 1105]. Такое значение Eu^* подтверждает наличие пограничной зоны окислительно-восстановительного барьера на границе донные отложения — вода в зоне покмарков.

В гидробиологических пробах было обнаружено пять видов и таксонов надвидового ранга (табл. 5, рис. 4).

Таблица 5

Видовой состав бентоса и распределение биомассы

Вид	Род	Проба 1 (H1)		Проба 2 (H2)	
		Численность, экз./м ²	Биомасса, г/м ²	Численность, экз./м ²	Биомасса, г/м ²
Saduria entoma	Crustacea	10	0,2	10	8
Spionidae	Polychaeta	430	0,75	800	3,9
Oligochaeta	Oligochaeta	30	0,1	70	0,3
Amphipoda	Crustacea	30	0,15	20	0,12
Macoma baltica	Bivalvia	10	1,45		
<i>Итого на станции</i>		510	2,65	900	12,32

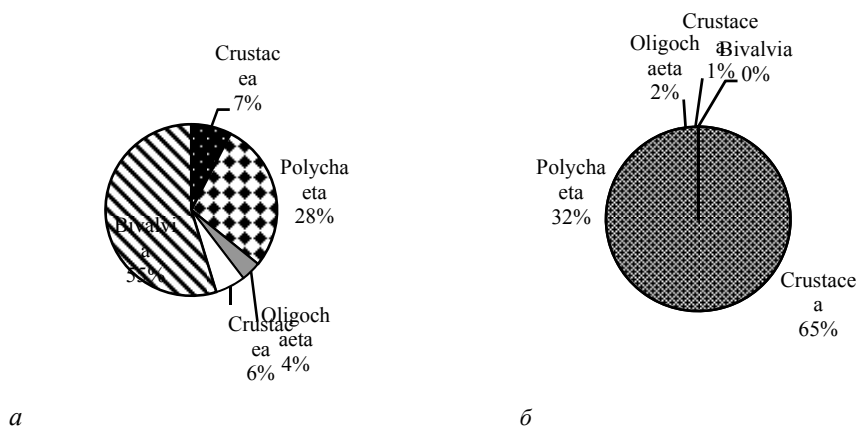


Рис. 4. Видовой состав бентоса и распределение биомассы:
 а — доли биомассы в пробе 1; б — доли биомассы в пробе 2

Основу биомассы составляли изоподы *Saduria entoma* и моллюски *Macoma baltica*, основу численности — полихеты. Пробы имеют заметные различия как в представленности таксонов, так и в степени их доминирования. Такая пестрая картина на небольшом участке говорит о дискретности распределения бентосных организмов.

Вместе с тем полученные данные вполне сравнимы с литературными. Так, распространение большинства видов макробентоса в заливе (а всего их около 40) ограничено мелководными, хорошо прогреваемыми участками, а остальные заселены всего несколькими видами, преимущественно реликтовыми ракообразными. Для района прибрежной части Копорской губы с глубинами 14—29 м биомасса макрозообентоса составляла 0,04—1,34 г/м² [5, с. 429].

Таким образом, наблюдаемые в зоне покмарков значения биомассы (2,65—12,32 г/м²) превышают фоновые для данной акватории. Очевидно, что фильтрация раствора иного, чем морская вода, солевого состава и наличие пограничной зоны окислительно-восстановительного барьера на границе донные отложения — вода в зоне покмарков создает очаговые участки аномальной микросреды, влияет на состав и развитие бентоса.

Заключение

На основе приведенных материалов можно сделать следующие выводы.

1. Повышенные относительно фоновых содержаний концентрации главных катионов и анионов в придонных водах зоны покмарков (повышенная соленость), вероятно, являются свидетельством фильтрации воды с другим, отличающимся от морского, солевым составом.

2. Сопоставление распределения железа и марганца в придонных водах и в осадках покмарков и анализ распределения лантаноидов в донных отложениях свидетельствует о том, что донные отложения покмарков находятся в пограничной зоне геохимического барьера, где восстановительная среда поступающего минерализованного раствора гасится высокоокислительной средой морской воды. Высокоокислительная среда в зоне покмарка Н1 подтверждается и более низкими, по сравнению с покмарком Н2, содержаниями устойчивых органических соединений.

3. Фильтрация раствора иного, чем морская вода, солевого состава и наличие пограничной зоны окислительно-восстановительного барьера на границе донные отложения — вода в пределах покмарков создает очаговые участки аномальной микросреды, влияет на состав и развитие бентоса.

4. Несмотря на имеющиеся данные, свидетельствующие о фильтрации минерализованного раствора в зоне покмарков, вопрос об их происхождении остался невыясненным и требует дальнейших исследований. Для этого, в первую очередь, необходим отбор и изучение более глубоких горизонтов осадочных отложений.

Список литературы

1. Геодекян А. А., Троцюк В. Я. и др. Углеводородные газы в водах Балтийского моря // Океанология. 1979. Т. 19, №4. С. 638—643.
2. Геоакустические и газо-литогеохимические исследования в Балтийском море. Геологические особенности районов разгрузки флюидных потоков / под ред. А. А. Геодекяна [и др.]. М., 1990. С. 81—93.
3. Геохимия вод и донных осадков Балтийского моря в районах развития газовых кратеров и геоакустических аномалий / под ред. А. А. Геодекяна [и др.]. М., 1997. С. 101—117.

4. *Балашиов Ю. А.* Геохимия редкоземельных элементов. М., 1976.
5. *Ляхин Ю. И., Макарова С. В.* и др. Экологическая обстановка в восточной части Финского залива в июле 1996 года // Проблемы исследования и математического моделирования экосистемы Балтийского моря. Вып. 5: Экосистемные модели. Оценка современного состояния Финского залива / под ред. И. Н. Давидана, О. П. Савчука. СПб., 1997. С. 416—434.
6. *Шатров В. А., Войцеховский Г. В.* К проблеме поведения лантаноидов в водах и осадочных образованиях современного Мирового океана // Вестник ВГУ. Сер. Геология. 2010. № 1. С. 73—83.
7. *Шатров В. А., Войцеховский Г. В.* Реконструкция обстановок фосфатообразования (по данным распределения лантаноидов) // Геология и геофизика. 2009. Т. 50, № 10. С. 1104—1118.
8. *Elderfield H.* The oceanic chemistry of the rare-earth elements // Phil. Transactions R. Soc. London A. 1988. M.325. P. 105—126.
9. *Elderfield H., Greaves M. J.* The rare earth elements in seawater // Nature (London). 1982. V.296. P. 214—219.
10. *Fee J. A., Gaudette H. E.* et al. Rare earth element distribution in the Lake Tyrrell groundwaters, Victoria, Australia / W. B. Lyons [et al.] The Geochemistry of Acid Groundwater Systems. Chem. Geol., 1992. V.96. P. 67—93 (special issue).
11. *Gosselin D. G., Smith M. R.* et al. Rare earth elements in chloride-rich groundwater, Palo Duro Basin, Texas, USA // Geochim. Cosmochim. Acta. 1992. V. 56. P. 1495—1505.
12. *Gromet L. P., Dymek R. F.* et al. The North American Shale Composit: Its composition, major, and trace element characteristics // Ibid. 1984. V.48. P. 2469—2482.
13. *Johannesson K. H., Stetzenbach K. J.* et al. Rare earth elements as geochemical tracers of regional groundwater mixing // Ibid. 1997. V. 61, № 17. P. 3605—3618.

Об авторах

Иванова Варвара Викторовна, кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник, заведующая сектором, Всероссийский научно-исследовательский институт геологии и минеральных ресурсов Мирового океана им. акад. И. С. Грамберга.

E-mail: v_ivanova@rambler.ru

Кириевская Дубрава Владимировна, инженер 1-й категории, Всероссийский научно-исследовательский институт геологии и минеральных ресурсов Мирового океана им. акад. И. С. Грамберга.

E-mail: dubrava.kirievskaya@gmail.com

Болотов Александр Евгеньевич, инженер 1-й категории, Всероссийский научно-исследовательский институт геологии и минеральных ресурсов Мирового океана им. акад. И. С. Грамберга

E-mail: flander@mail.ru

About Authors

Dr. Varvara Ivanova, Leading Research Fellow, I. S. Gramberg All-Russian Research Institute of Geology and Mineral Resources of the World Ocean.

E-mail: v_ivanova@rambler.ru

Dubrava Kirievskaya, engineer, I.S. Gramberg All-Russian Research Institute of Geology and Mineral Resources of the World Ocean.

E-mail: dubrava.kirievskaya@gmail.com

Alexander Bolotov, engineer, I. S. Gramberg All-Russian Research Institute of Geology and Mineral Resources of the World Ocean.

E-mail: flander@mail.ru