

УДК 549.761.34(265.3)

Н. В. Астахова, Г. А. Нарнов, И. Н. Якушева

## КАРБОНАТНО-БАРИТОВАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ ВО ВПАДИНЕ ДЕРЮГИНА (Охотское море)

Приводятся данные о минеральном и химическом составе, ИК-спектрах карбонатно-баритовой минерализации во впадине Дерюгина. Коренные выходы барита приурочены к вершинам невысоких холмов в северной части впадины Дерюгина. По материалам драгирования выделено несколько типов минерализации: травертиноподобный барит, сферический барит, «трубчатые» тела и жёзды во вмещающем осадке, базально-крупстификационный цемент в полимиктовых песчани-

ках и конгломератах. Многообразие форм выделения барита связывается с проницаемостью осадков. Делается вывод, что образование барита произошло из растворов, несущих барий, стронций и серу.

Выделяются две стадии образования карбоната. Карбонат первой генерации предшествовал бариту, второй — образовывался совместно с баритом или несколько позже. Образование карбоната связано с окислением метана в верхних слоях осадков.

Впервые баритовая минерализация в Охотском море была обнаружена при ревизии каменного минерала 15-го рейса НИС «Каллисто» (1981 г.). Крупный кусок травертиноподобного барита был оторван при драгировании от вершины невысокой подводной горы [1].

В 1986 г. в 31-м рейсе НИС «Пегас» в этом районе было произведено повторное драгирование. Оно велось двумя милями восточнее предыдущей точки, на склоне безымянной возвышенности в интервале глубин 1480—1470 м. При драгировании было поднято множество обломков травертиноподобного барита, несколько обломков песчаников и конгломератов, большое количество вмещающего осадка серого цвета. Все образцы издавали сильный запах сероводорода. В драге также находился осадок светло-коричневого цвета, без запаха, резко отличающийся по внешнему виду от осадка серого цвета.

При изучении материалов драгирования выявлено несколько типов баритовой минерализации: мономинеральные травертиноподобные образования (96,5 %  $\text{BaSO}_4$ ); сферический барит; баритовый цемент в полимиктовых песчаниках и конгломератах (до 58,9 %  $\text{BaSO}_4$ ); «трубчатые» тела барита, пронизывающие серый вмещающий осадок и «пропитка» баритом отдельных участков этого осадка (26,8—24,1 %  $\text{BaSO}_4$ ); переотложенный барит в светло-коричневом пелитовом осадке (12,5 %  $\text{BaSO}_4$ ). Фоновое содержание бария в осадках северной части впадины Дерюгина 0,05—0,08 % (32 анализа).

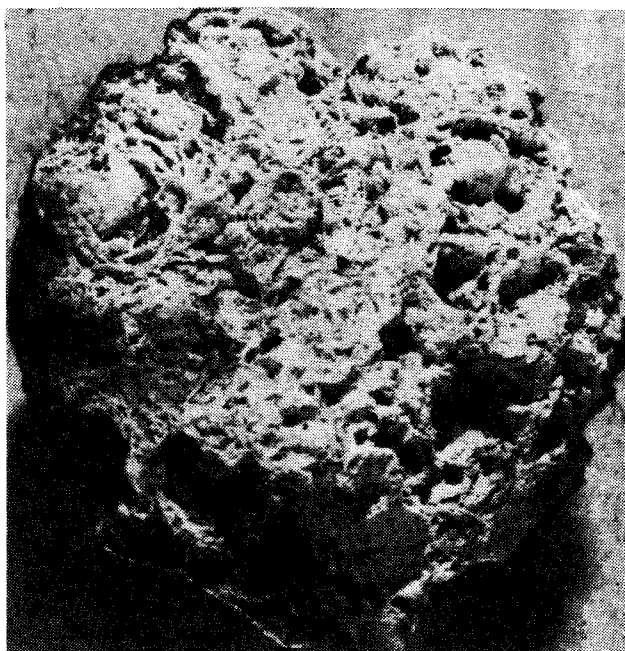


Рис. 1. Травертиноподобный барит, репродукция.

Обломки мономинерального травертиноподобного барита имеют размеры до 30 см и представляют собой легко крошащиеся образования белого, слегка желтоватого и серого цветов (рис. 1). Одни образцы имеют свежие сколы, другие носят следы местного переотложения. Поверхность их кавернозная как за счет самой структуры баритовой массы, так и за

счет нор бентосных организмов. Часть поверхности некоторых образцов покрыта тонкой (1—2 мм) коркой гидроокислов марганца. На свежем изломе хорошо видна пористая текстура этих образований с отдельными участками скорлуповато-концентрического строения. Концентры образованы очень тонкими закругляющимися пластинками, сложенными ромбическими кристаллами барита. На стенки пор и на пластинки росли многочисленные кристаллы и друзы дендровидной формы. Очень редко в крупных порах встречаются натечные образования барита. Размер кристаллов 0,03—0,3 мм, сростков — до 1 мм. Под микроскопом хорошо видно зональное строение ромбических кристаллов, выраженное в чередовании прозрачных и непрозрачных зон. Измерение показателей преломления барита в иммерсионных жидкостях дает разброс величин по  $n_p$  от 1,624 до 1,630, по  $n_g$  — от 1,635 до 1,638 при дупреломлении 0,008—0,011. Минерал двусосный, положительный, погасание прямое. На экране сканирующего электронного микроскопа выявлено сложное строение кристаллов барита. Оказалось, что почти каждый кристалл является агрегатом более мелких кристаллов (рис. 2, а — д). Как известно, расщепленный рост кристаллов, в частности сноповидный, наблюдается у минералов гидротермальных жидкостей при быстрой кристаллизации из поверхностных растворов или пара [6].

Обломки полимиктовых песчаников и конгломератов составляют незначительную часть от общего количества поднятого материала. Максимальный размер обломков  $10 \times 7 \times 6$  см. Изученные образцы представляют собой плохо сортированный песчано-алевролитовый терригенно-пирокластический материал с примесью гальки разного размера, цементированный баритом и карбонатом. В шлефах хорошо видно пятнистое распределение барита и карбоната, но встречаются также участки карбонатно-баритового цемента.

Одна из поверхностей большинства образцов покрыта тонкой, от 1 см до нескольких миллиметров, карбонатной коркой такого же серого цвета, что и сам образец. В одном случае коркой являются плотно сросшиеся сферические образования барита. Размер «шариков» не превышает 2 мм. Цвет их желтый, но чаще темно-серый из-за большого количества примесей. Белый кристаллический барит, образующий кристаллический цемент в полимиктовом песчанике, выполняет трещины в сферическом барите и часто нарастает на поверхность корки в виде щетки плотно сросшихся пластинчатых кристаллов. На границе между песчаником и коркой прослеживается очень тонкая красная восковидная пленка органического вещества (битума?). Все образцы песчаников и конгло-

мератов в разной степени пронизаны хитиновыми трубочками — остатками морских организмов. Длина этих трубочек достигает нескольких миллиметров, диаметр не превышает 0,5 мм.

«Трубчатые» тела, пронизывающие вмещающий осадок серого цвета, образованы кристаллическим баритом и имеют извилистую, ветвистую форму. Диаметр их достигает 3 см, длина полученных драгированием образцов — 10 см. Граница тел с вмещающим осадком отчетливая, их стенки сложены тесно сросшимися кристаллами барита, а центральная часть представляет собой ажурное переплетение лучистых, дендровидных, веерообразных кристаллов белого, желтоватого цвета, часто прозрачных. Помимо крупных «трубчатых» тел барит образует в осадке многочисленные жеоды и прожилки, а также интенсивно замещает органические остатки. В образцах найдены остатки крупных двусторчатых моллюсков, внутренняя часть которых выполнена желтоватым баритом. На одном из них сохранилась черная хитиновая оболочка, покрывающая истонченные карбонатные створки раковины. Внешняя часть раковины, поверх хитиновой оболочки, частично покрыта слоем барита 1—2 мм толщины.

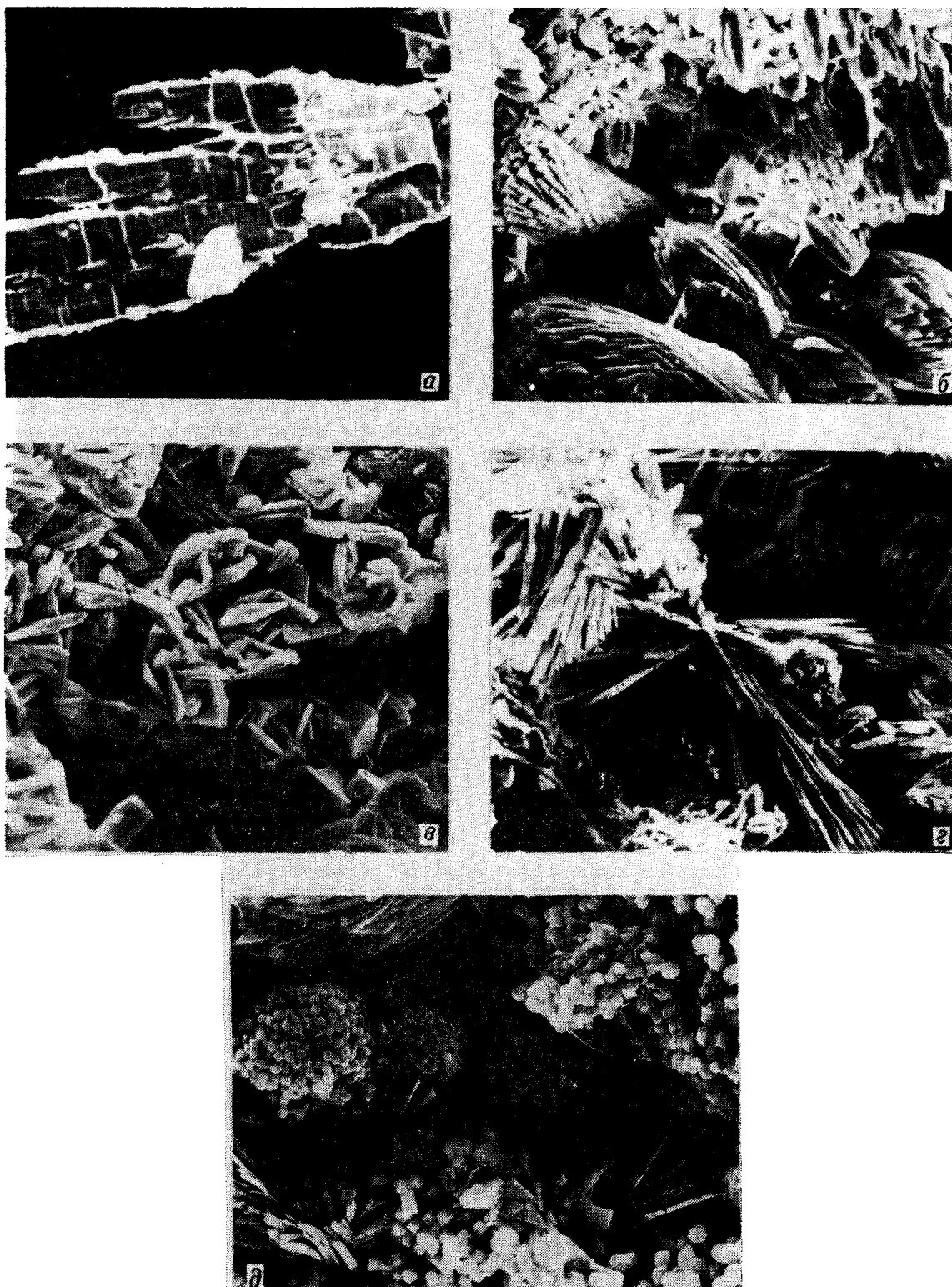
Светло-коричневый алевропелитовый ил также обогащен барием, но в значительно меньшей степени, чем серый осадок. Барит здесь встречается в виде отдельных кристаллов и их сростков, изредка в виде небольших скоплений. Ни прожилков, ни крупных пустот, выполненных баритом, в этом осадке не обнаружено.

Минералогический анализ алевролитовой фракции осадков показал, что, помимо барита, они содержат незначительное количество следующих минералов: магнетита, ильменита, пироксена, амфибола, граната, циркона, апатита, сростки и отдельные фрамбонды пирита, гидроокислы марганца, кварц, бесцветное вулканическое стекло, слюды, полевые шпаты, глаукоцит.

Рентгеноструктурные исследования глинистой составляющей этих осадков выявили, что преобладающими компонентами в них являются смектиты и гидрослюда, подчиненное значение имеют каолинит и хлорит (аналитик) Л. В. Ганзей, ИТиГ ДВО АН СССР).

Палинологическое изучение позволило сделать вывод о верхнеплейстоценовом возрасте ( $Q_{1II}^1 - Q_{1II}^2$ ) осадков [4].

Карбонатные образования впадины Дерюгина генетически связаны с баритовой минерализацией. В одних случаях карбонат предшествовал бариту ( $K_1$ ), а в других — формировался одновременно или несколько позже ( $K_2$ ). Карбонат обеих генераций в основном пелитоморфный. Благодаря сканирующему электронному



*Рис. 2.* Микрофотоснимки с помощью электронного микроскопа (репродукция):

*a* — кристалл прозрачного барита; *b* — сноповидный кристалл барита; *c* — сростки ромбических кристаллов барита, в правом нижнем углу —  $K_2$ ; *d* — кубические кристаллы и фрамбонды пирита на барите, справа — начальная стадия формирования пирита.

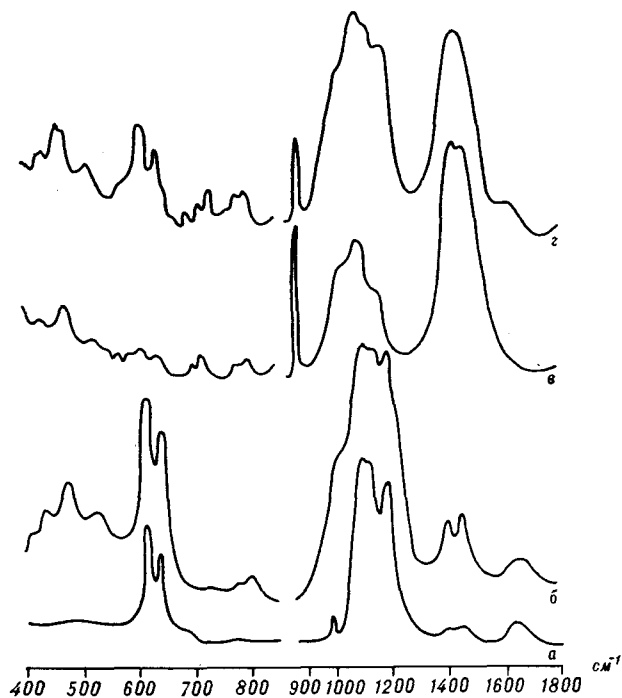


Рис. 3. ИК-спектры: а — кристаллического барита; б — сферического барита; в — К<sub>1</sub>; г — К<sub>2</sub>.

микроскопу выявлено, что К<sub>1</sub> образует короткостолбчатые кристаллы (см. рис. 2, в), в то время как для К<sub>2</sub> характерны сростки игольчатых кристаллов (см. рис. 2, г).

Карбонатом первой генерации с незначительной примесью терригенного материала сложе-

ны слегка окатанные, уплощенные, полосчатые обломки серого цвета, толщиной 1,5—2 см, в разной степени литифицированные. Содержание С<sub>карб</sub> в них достигает 9,44 %, что в пересчете на СаСО<sub>3</sub> составляет 78,6 %. В этих образованиях изредка встречаются очень мелкие (менее 1 мм) лепешковидные выделения ярко-синего азурита, а также многочисленные гнезда более позднего барита и в меньшем количестве гнезда фрамбоидального пирита.

К<sub>1</sub> часто образует тонкие, от 1 см до нескольких миллиметров, корки, покрывающие поверхность некоторых образцов. Примесь терригенных частиц здесь более значительна. Простой карбоната толщиной 1—2 мм встречается также на границе некоторых трубчатых тел барита с вмещающим осадком.

К<sub>2</sub>, зачастую совместно с баритом, формирует базально-крустификационный цемент в полимиктовых песчаниках и конгломератах. Обычно он пелитоморфный, но в некоторых пустотах размер кристаллов достигает 0,3 мм.

Изотопный состав углерода карбонатов варьирует в пределах δ<sup>13</sup>C = -19,4 ÷ -38,8 ‰ [2], что указывает на образование их за счет окисления метана. Такой изотопный состав углерода характерен для метана нефтяных месторождений. С другой стороны, полученные значения δ<sup>13</sup>C близки к значениям δ<sup>13</sup>C (-14,9 ÷ -62,2 ‰) метана гидротермальных систем из районов четвертичного и современного вулканизма на Камчатке [3].

Сульфидная минерализация в изученных образцах распространена незначительно. Более

Таблица 4

Химические анализы образцов, драгированных с вершин подводных холмов на севере впадины Дерюгина, мас. %

Оксиды	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
SiO <sub>2</sub>	0,10	0,20	5,00	0,34	13,22	18,10	39,74	32,28	17,22	67,85	0,30	0,50	12,10
TiO <sub>2</sub>	0,01	0,01	0,05	0,06	0,21	0,10	0,22	0,60	0,49	0,50	0,24	0,20	0,10
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,62	1,08	1,94	0,60	3,20	5,00	4,78	14,80	7,06	7,00	4,38	3,94	4,44
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,28	0,28	0,89	0,24	1,25	1,79	0,75	2,47	2,37	2,59	1,45	1,77	1,35
MnO	0,02	0,07	0,03	0,11	0,44	0,25	0,09	0,17	1,29	0,98	0,17	0,11	0,07
MgO	0,40	0,73	1,26	0,73	0,70	1,57	1,76	1,57	2,94	2,31	4,40	4,83	3,04
CaO	1,39	2,15	3,44	1,29	2,75	6,23	4,75	1,93	3,01	2,36	46,18	47,00	26,23
Na <sub>2</sub> O	0,05	0,10	0,46	0,07	0,50	0,50	1,07	3,25	5,44	1,06	1,05	0,57	0,64
K <sub>2</sub> O	0,05	0,18	0,37	0,05	0,50	0,35	0,50	1,47	1,12	0,96	0,55	0,50	0,64
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	<0,01	<0,01	0,18	0,01	0,04	0,24	0,15	0,09	0,06	0,11	0,12	0,31	0,18
BaO	62,27	58,66	54,06	60,95	47,65	39,28	38,70	22,50	12,17	2,97	5,97	2,31	26,14
П. п. п.	1,04	3,52	3,76	5,08	3,96	7,40	6,52	6,87	13,73	9,22	32,20	33,80	12,40
Сумма	100,50	100,09	99,52	101,39	97,74	98,89	99,08	99,24	99,40	97,90	100,58	99,60	99,98
SO <sub>3</sub>	34,27	35,50	28,08	31,76	23,32	18,18	—	11,32	6,60	1,69	3,57	3,43	12,65
Sr	>2	>2	>2	2,50	1,28	0,84	1,36	0,52	0,16	1,00	0,24	0,18	0,72

Примечание. 1—3 — барит-травертиноподобный белый (1, 2) и серый (3); 4 — барит из «трубчатых» тел; 5 — барит сферический; 6, 7 — полимиктовый песчаник; 8 — осадок серого цвета; 9 — осадок светло-коричневого цвета; 10 — глинистая составляющая этого осадка; 11, 12 — карбонатизированные обломки; 13 — карбонатная корка на песчанике. Анализы выполнены в ТОИ ДВО АН СССР, аналитик И. Н. Якушева.

Матрица коэффициентов парной корреляции

Соединения	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	BaO	П. п. п.	SO <sub>3</sub>	Sr
SiO <sub>2</sub>	1,00													
TiO <sub>2</sub>	0,72	1,00												
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,61	0,88	1,00											
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,64	0,88	0,78	1,00										
MnO	0,61	0,68	0,35	0,77	1,00									
MgO	0,01	0,30	0,25	0,48	0,15	1,00								
CaO	-0,32	-0,06	-0,04	0,07	-0,25	0,87	1,00							
Na <sub>2</sub> O	0,31	0,78	0,68	0,82	0,70	0,26	-0,13	1,00						
K <sub>2</sub> O	0,65	0,94	0,94	0,88	0,56	0,33	-0,02	0,80	1,00					
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,03	-0,01	0,15	0,30	-0,16	0,64	0,61	-0,40	0,11	1,00				
BaO	-0,47	-0,70	-0,58	-0,79	-0,49	-0,86	-0,60	-0,48	-0,68	-0,50	1,00			
П. п. п.	-0,16	0,20	0,12	0,32	0,03	0,94	0,94	0,13	0,18	0,57	-0,77	1,00		
SO <sub>3</sub>	-0,50	-0,72	-0,62	-0,82	-0,50	-0,82	-0,56	-0,49	-0,70	-0,52	0,99	-0,73	1,00	
Sr	-0,28	-0,64	-0,64	-0,81	-0,41	-0,78	-0,58	-0,58	-0,69	-0,52	0,90	-0,72	0,91	1,00

всего обогащены сульфидами песчаники. Под бинокляром она проявляется в виде темно-серых прожилков или пятен. При помощи сканирующего электронного микроскопа видно, что эти прожилки образованы скоплением больших количеств кубических кристаллов и фрамбоидов пирита (см. рис. 2, *д*). В то же время встречаются участки с начальной стадией кристаллизации сульфидов (см. рис. 2, *д*, справа). Эти участки оказались значительно обогащены Ni, Co, Zn по сравнению с другими образцами.

Инфракрасные спектры поглощения образцов сняты на спектрофотометре UR-20 (ГДР) в области 400—3800 см<sup>-1</sup> по стандартной методике (0,5 мг образца таблетировались с 300 мг KBr). Полученный спектр кристаллического барита (рис. 3, *а*) подобен эталонному спектру барита, приведенного в атласе Менке. Образец сферического барита представляет собой механическую смесь барита с кварцем (небольшая примесь) (см. рис. 3, *б*). Наличие в спектре данного образца расщепленной полосы поглощения средней интенсивности в области 1400—1500 см<sup>-1</sup> предположительно указывает на присутствие в кристаллической структуре барита группы CO<sub>3</sub><sup>-2</sup> (аналогичная расщепленная полоса поглощения в этой области спектра наблюдается в карбонатапатитах). В спектре кристаллического барита также присутствует расщепленная полоса поглощения в этой области, но значительно слабее, менее интенсивная.

Расшифровка полученных спектров образцов, содержащих K<sub>1</sub> (см. рис. 3, *в*) и K<sub>2</sub> (см. рис. 3, *г*), показала, что в обоих случаях карбонат представлен кальцитом, а сами образцы являются механической смесью кальцита, кварца и барита в разных пропорциях.

Химический состав изученных образцов приведен в табл. 1. Породообразующие элементы определялись методом «мокрой» химии, стронций — атомно-абсорбционным анализом. Барит имеет естественную радиоактивность, вызванную элементами ториевого и радиевого ряда с преобладанием последнего.

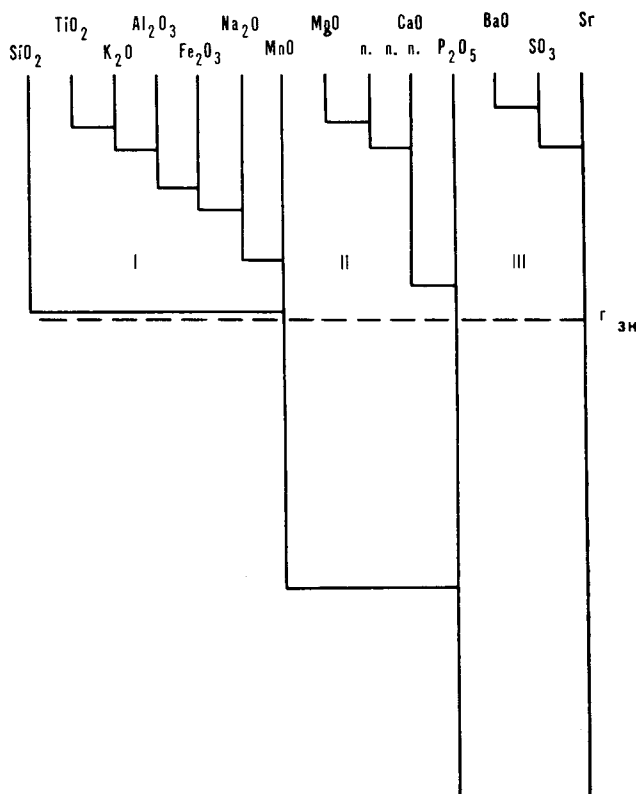


Рис. 4. Дендрограмма химического состава образцов.

Для выяснения связи между элементами в изученных образцах был проведен кластерный анализ данных химанализов. В результате была составлена матрица парных корреляций (табл. 2) и построена дендрограмма (рис. 4). При уровне значимости 95 % ( $r_{zn} = 0,532$ ) 14 элементов оказались объединенными в три обособленные геохимические группировки. Первую группировку составляют оксиды  $SiO_2$ ,  $TiO_2$ ,  $K_2O$ ,  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $Na_2O$ ,  $MnO$ , связанные, по-видимому, в основном с терригенно-пирокластической составляющей осадка. Вторая геохимическая группировка — карбонатная, объединяет  $MgO$ ,  $CaO$ , п. п. п.,  $P_2O_5$ . Третья группировка, собственно гидротермальная, образована  $Ba$ ,  $Sr$ ,  $SO_3$ . Следует отметить очень тесную корреляционную связь в группировках  $[CaO, MgO, п. п. п.]$  и  $[Ba, Sr, SO_3]$ : коэффициент парной корреляции между элементами в них 0,9 и выше. Значимый коэффициент корреляции при уровне значимости 99,9 % — 0,780.

**Выводы.** 1. Баритовая минерализация приурочена к вершинам невысоких холмов, возвышающихся над выровненной аккумулятивной равниной в северной части впадины Дерюгина.

Этот район относится к области высокой тепловой активности, причем аномальные значения теплового потока приурочены к выступам фундамента в зонах тектонических нарушений [1].

2. Осаждение барита произошло в результате охлаждения [5] гидротермального раствора, несущего  $Ba$ ,  $Sr$ ,  $SO_3$ .

3. Многообразие форм выделения барита можно объяснить различной проницаемостью осадков. В хорошо проницаемых осадках (песчаниках, конгломератах) образовался базально-крупстификационный баритовый цемент, в менее проницаемых осадках формируются «трубчатые» тела (которые, возможно, являются подводными каналами) и жеоды, идет интенсивное замещение органики. Травертиноподобный барит отлагается в районах выхода гидротерма на поверхность осадка.

4. Образование барита произошло не позднее верхнего плейстоцена, вероятнее всего в голоцене [4].

5. Хемогенный карбонат образовался при окислении метана в верхнем слое осадка.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Астахова Н. В., Липкина М. П., Мельниченко Ю. П. Гидротермальная баритовая минерализация во впадине Дерюгина Охотского моря // Докл. АН СССР.— 1987.— Т. 295, № 1.— С. 212—215.
2. Астахова Н. В., Горбаренко С. А. К вопросу об источнике углерода в карбонатных образованиях Парамуширской гидротермы и впадины Дерюгина (Охотское море) // Геология Тихого океана: Тез. докл. III Тихоокеанской школы по морской геологии, геофизике и геохимии. Ч. 3/ДВО АН СССР.— Владивосток, 1987.— С. 9—10.
3. Бескровный Н. С., Лобков В. А. Закономерности распределения углеводородных газов в современных гид-

ротермальных системах Камчатки // Гидротермальный процесс в областях тектономагматической активности.— М.: Наука, 1977.— С. 110—119.

4. Вагина Н. К., Астахова Н. В. О возрасте гидротермальной минерализации во впадине Дерюгина Охотского моря // Стратиграфия и корреляция четвертичных отложений Азии и Тихоокеанского региона: Тез. докл. Международн. симпоз. Т. 1.— Находка, 1988.— С. 17—19.
5. Геохимия гидротермальных рудных месторождений.— М.: Мир, 1982.
6. Григорьев Д. П., Жабин А. Г. Онтогенез минералов.— М.: Наука, 1975.

ТОИ ДВО АН СССР, Владивосток

Поступила в редакцию 17 апреля 1989 г.

#### ДИСКУССИЯ

В статье приведено хорошее микроскопическое описание карбонат-баритовой минерализации, которая представляет собой редкое явление на дне океана. Такое описание встречается в работах последнего времени, где выявление детальных взаимоотношений минералов часто заменено валовыми анализами и общими рассуждениями. Однако генетическое построение нужно делать более осторожно. Впоследствии, при накоплении нового материала, возможно, придется менять свои представления, а это нелегко будет сделать, если прежние убеждения были опубликованы.

В статье не приведено данных, однозначно свидетельствующих о гидротермальном происхождении барита. Утверждения авторов о гидротермальном происхождении барит-кальцитовой минерализации базируются на очень ненадежных представлениях. Так, в частности, при описании «трубчатых» тел указывается, что «...стенки этих тел сложены тесно сросшимися кристаллами барита, а центральная часть представляет собой ажурное переплетение лучистых, дендровидных,

веерообразных кристаллов. Такое строение указывает на быструю кристаллизацию из раствора». Чем можно доказать, что именно такое строение свидетельствует о быстрой кристаллизации? Известны, например, явления нарушенной кристаллизации, в процессе которой нитевидные кристаллы, образующие лучистые веерообразные формы, растут довольно медленно. В статье указано, что карбонатные образования генетически связаны с баритовой минерализацией. Но сами карбонаты образовались за счет окисления метана неясного генезиса.

Авторы настаивают на гидротермальном происхождении карбонат-баритовой минерализации, возвращаясь к этому вопросу еще раз в выводах. Утверждение обосновывается ссылкой на сборник «Геохимия гидротермальных рудных месторождений». Но в этом же сборнике есть статьи, из которых можно судить о том, что такая минерализация может сопровождать и обычный осадочный процесс. Нам представляется, что авторам статьи необходимо было избавиться от указанной неоднозначности.

ТОИ ДВО АН СССР, Владивосток

М. Ф. Стащук