

УДК 551.21; 551.23

МИНЕРАЛОГИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОДУКТОВ ГАЗО-ГИДРОТЕРМАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ТЕРМОПРОЯВЛЕНИЙ У ПОДНОЖИЯ ОБВАЛЬНОГО ЦИРКА, ОБРАЗОВАВШЕГОСЯ ПОСЛЕ КАТАСТРОФИЧЕСКОГО СОБЫТИЯ 03.06.2007 Г. В ДОЛИНЕ ГЕЙЗЕРОВ (КАМЧАТКА)**Вергасова Л.П.¹, Сандимирова Е.И.¹, Москалева С.В.¹, Кржижановская М.Г.²,
Дунин-Барковская В.В.¹, Пузанков М.Ю.¹, Кирюхин А.В.¹**¹*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН,
Петропавловск-Камчатский, 683006; e-mail: vlp@kscnet.ru*²*Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, 199034***Аннотация**

Проведено минералогическое исследование продуктов газо-гидротермальной деятельности термопроявлений у подножия обвального цирка, образовавшегося после катастрофического события 03.06.2007 г. в Долине гейзеров. Различными аналитическими методами в зоне гидротермальных изменений установлены такие минералы как: гипс, пирит, Са-клиноптилолит, Са-морденит, Fe-монтмориллонит, гидрооксиды железа (лимонит). Минеральный состав трещинной минерализации свидетельствует об ее образовании из сульфатных вод.

При проведении комплекса исследований по оценке последствий катастрофического события 3 июня 2007 г. в Долине гейзеров, наряду с другими вновь образованными объектами, был установлен открытый к северо-западу подковообразный амфитеатр обрушения (обвальный цирк в верховье ручья Водопадного). Амфитеатр имеет вытянутую в северо-восточном направлении субвертикальную стенку высотой 150 м протяженностью порядка 800 м и полого наклонное днище длиной 400–600 м (рис. 1) [1]. У подножия обвального цирка было отмечено появление новых термопроявлений. В настоящем сообщении приводятся результаты исследований трещинной минерализации из зоны этих термопроявлений.

Исследуемые образцы пород с трещинной минерализацией были отобраны в стенке обвального цирка вблизи его подножия и предварительно изучены под биноклем. Благодаря буроватому цвету, в образцах хорошо просматриваются многочисленные волосовидные трещины. Максимальная ширина отдельных трещин достигает 2–3 мм. Наиболее крупные трещины заполнены преимущественно кристаллическим веществом, которое относительно легко отделяется от суб-



Рис. 1. Подковообразный амфитеатр обрушения с субвертикальной стенкой отрыва и полого наклонным днищем. Фото И.Ф. Делеменя.



Рис. 2. Агрегаты трещинной минерализации в виде пластинок.

страда в виде полупрозрачных пластинок темно-бурого цвета (рис. 2). Во вмещающей породе наблюдаются полости (газовые включения?) разной размерности, которые формируют участки или «блочность» (фрагменты) внутри образца. Причем там, где газовые полости крупнее, размер зерен минералов несколько больше. Под микроскопом в этих местах видны в значительном количестве включения желтого цвета с металлическим блеском (сульфидов) и черного цвета в виде уплощенных табличек октаэдрического облика (железосодержащие фазы, подтверждены микрозондо-

Таблица 1. Количественный химический анализ измененных пород Долины гейзеров (мас. %).

Компоненты	Пробы		
	1а-2007	2а-2007	3-2008
SiO ₂	69.40	70.50	67.30
TiO ₂	0.37	0.41	0.61
Al ₂ O ₃	10.60	11.20	11.40
Fe ₂ O ₃	2.85	2.03	1.38
FeO	0.29	1.22	1.80
MnO	0.07	0.12	0.13
CaO	2.18	2.58	3.37
MgO	0.93	1.09	1.82
Na ₂ O	0.29	1.13	2.88
K ₂ O	1.08	2.21	1.00
P ₂ O ₅	0.04	0.07	0.13
п.п.п.	11.80	7.38	7.76
Сумма	99.90	99.93	99.58
S	0.07	0.07	0.34
F	0.04	0.04	0.06

Таблица 2. Микроэлементный состав вмещающей породы и трещинной минерализации из зоны новых термопроявлений (ppm).

Пробы	Элементы																		
	Sc	V	Cr	Ni	Cu	Zn	As	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Ba	La	Ce	Pb	Th	U
1а-2007	14	29	8	0	21	31	4	40	188	48	231	6	0	375	15	70	15	4	0
1б-2007	0	8	0	0	52	60	206	14	30	4	8	8	8	67	1	55	10	3	4
2а-2007	14	40	6	0	26	50	0	40	193	42	194	4	0	463	14	68	13	3	0
3-2008	16	68	4	0	30	63	15	23	257	40	154	2	0	397	8	52	10	2	0

Примечание. 1а-2007 – вмещающая порода, непосредственно примыкающая к трещинам (измененный пепло-пемзовый туф); 2а-2007 – вмещающая порода, отобранная в подножии стенки обвального цирка; 3-2008 – порода из каменной лавины, отобранная в 2–3 км от стенки обвального цирка. п.п.п. – потери при прокаливании. Спектрометр «S4 PIONEER». Аналитический центр ИВиС ДВО РАН (г. Петропавловск-Камчатский).

МИНЕРАЛОГИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОДУКТОВ ГАЗО-ГИДРОТЕРМАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ТЕРМОПРОЯВЛЕНИЙ У ПОДНОЖИЯ ОБВАЛЬНОГО ЦИРКА, ОБРАЗОВАВШЕГОСЯ ПОСЛЕ КАТАСТРОФИЧЕСКОГО СОБЫТИЯ 03.06.2007 Г. В ДОЛИНЕ ГЕЙЗЕРОВ (КАМЧАТКА)

Таблица 3. Количественный химический анализ и минеральный состав трещинной минерализации.

Компоненты	Проба 1б-2007 (мас. %)	Атомное отношение	CaSO ₄ ·2H ₂ O	FeS ₂	Fe ₂ O ₃ ·nH ₂ O
Fe ₂ O ₃	10.03 _{расч.}	0.0628			0.0628
Fe(II)	14.19 _{расч.}	0.2542		0.2542	
Ca	11.61	0.2896	0.2896		
H ₂ O _{общ.}	15.2	0.8444	0.5792		0.0628
SO ₄	27.82	0.2896	0.2896		
S _{пиритная}	16.30	0.5084		0.5084	
Прочие	2.32				
Сумма	97.47				
Минеральный состав (мас. %)					
Гипс	49.85				
Пирит	30.50				
Гидрооксиды Fe	11.16				
H ₂ O (остаток)	3.54	0.2024			
Прочие	2.32				
Сумма	97.47				

Примечание. Аналитик В.В. Дунин-Барковская. Аналитический центр ИВиС ДВО РАН (г. Петропавловск-Камчатский).

вым анализом). К трещинам с ярко выраженной минерализацией примыкает зона (шириной 5 см, местами более), в которой зернистость вмещающей породы не просматривается (глиноподобный облик, на свежем сколе – раковистый излом). То есть, вмещающая порода, находящаяся в непосредственной близости от трещин, представлена относительно плотным измененным пепло-пемзовым туфом серовато-кремовато-белого цвета. Обращает на себя внимание характерное свойство туфа интенсивно поглощать воду.

На рентгенофлуоресцентном спектрометре "S4 PIONEER" проведено химическое исследование вмещающей породы (табл. 1, 2) и традиционным методом мокрой химии валового состава вещества трещин (табл. 3). При идентификации минералов использован рентгенометрический анализ (Rigaku, С.-ПбГУ), микрозондовый анализы («Camebax-246», ИВиС ДВО РАН) и инфракрасная спектроскопия (Shimadzu IRffinity-1, ИВиС ДВО РАН).

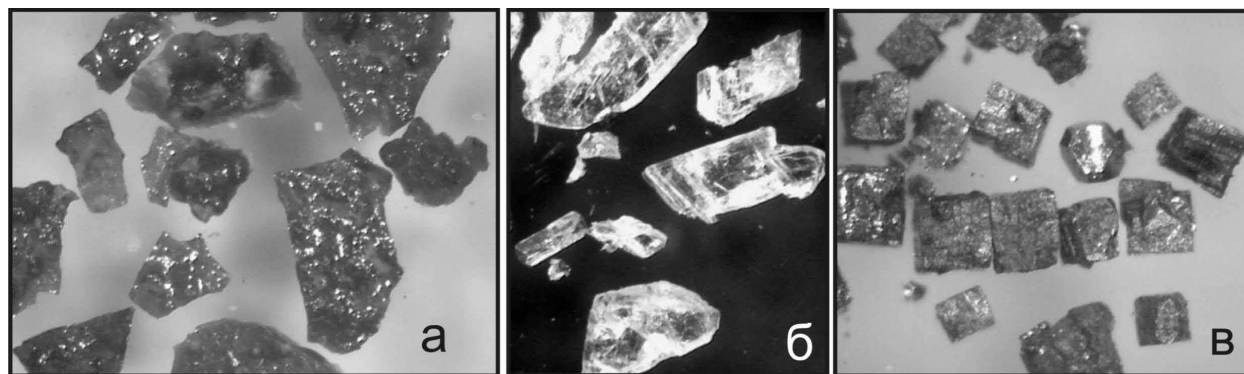


Рис. 3. Трещинная минерализация: а – корочки гидроксидов железа; б – кристаллы гипса; в – кристаллы пирита. Фото, ув. ×200.

Проведено также петрографическое изучение пород. Методом порошковой дифрактометрии (ДРОН-2.0, $\text{CuK}\alpha$ -излучение, С.-ПбГУ) выполнен рентгенофазовый анализ вещества вмещающей породы, находящейся в непосредственной близости от трещин.

По результатам взаимоконтролирующих методов среди минералов, выполняющих трещины, диагностированы гипс $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ и пирит FeS_2 . Гипс образует прозрачные, бесцветные со стекляннным блеском кристаллы (рис. 3 б) призматического облика с характерной штриховкой на поверхности индивидов вдоль удлинения. Встречаются довольно крупные индивиды (до 0.5 см), многие из них содержат механические включения сульфидов и оксидов железа. По данным рентгеновских исследований наиболее интенсивные линии межплоскостных расстояний гипса, отобранного из трещин, соответствуют эталонным

Таблица 4. Результаты рентгенофазового анализа вмещающей породы, непосредственно примыкающей к трещинам.

№ п/п	1а-2007		Са-клинололит [6, табл. 138]	Са-морденит [6, табл. 147]	Монтмориллонит [7, карточка 29–1498]	№ п/п	1а-2007		Са-клиноптилолит [6, табл. 138]	Са-морденит [6, табл. 147]	Монтмориллонит [7, карточка 29–1498]
	I/I_1	$d/n, \text{Å}$	$d/n, \text{Å}(I)$	$d/n, \text{Å}(I)$	$d/n, \text{Å}(I)$		I/I_1	$d/n, \text{Å}$	$d/n, \text{Å}(I)$	$d/n, \text{Å}(I)$	$d/n, \text{Å}(I)$
1	4	14.0				31	26	4.36	4.35(40)		
2	4	13.6		13.6(20)	13.6(100)	32	20	4.19		4.13(30)	
3	2	12.7				33	32	4.11		4.06(50)	
4	4	12.1				34	100	3.969	3.97(90)	3.99(70)	
5	11	11.4				35	16	3.72	3.75(30)	3.77(10)	
6	12	11.2				36	19	3.553	3.56(40)	3.612(10)	
7	12	10.8	10.9(20)			37	43	3.474	3.47(60)	3.48(50)	
8	10	10.2				38	38	3.435			
9	31	9.0	8.97(100)	9.10(100)		39	35	3.417	3.42(60)		
10	12	8.9				40	38	3.388		3.39(70)	
11	8	8.3				41	24	3.326			
12	11	7.9	7.90(40)			42	23	3.243		3.22(80)	
13	6	7.8				43	45	3.180	3.21(60)		
14	5	7.6				44	21	3.136	3.13(40)	3.15(20)	
15	6	7.2				45	20	3.095		3.10(10)	
16	11	6.8	6.81(30)			46	19	3.079	3.07(30)	3.04(10)	
17	17	6.7				47	49	2.980	2.970(60)	2.94(10)	
18	14	6.6	6.61(40)	6.61(40)		48	16	2.892	2.91(30)	2.89(90)	2.89(20)
19	12	6.1		6.07(10)		49	8	2.863	2.85(30)	2.85(10)	
20	9	5.9		5.79(30)		50	31	2.807	2.80(40)		
21	8	5.7				51	12	2.742	2.74(40)		2.71(10)
22	8	5.6	5.61(20)	5.61(10)		52	11	2.680	2.67(20)	2.70(10)	
23	15	5.2	5.26(30)		5.16(12)	53	9	2.610		2.65(10)	
24	17	5.1	5.10(40)			54	18	2.576		2.56(10)	
25	13	5.0		5.04(10)		55	21	2.547			2.56(30)
26	9	4.96				56	16	2.515	2.51(30)	2.52(10)	
27	10	4.84		4.87(10)		57	15	2.493		2.46(10)	
28	16	4.69	4.66(40)			58	20	2.433			2.44(10)
29	23	4.53	4.52(30)	4.53(50)							
30	23	4.41			4.46(65)						

Примечание. ДРОН-2. Режим съемки: напряжение 30 кВ, ток 20 мА, $\text{CuK}\alpha$ -излучение (С.-ПбГУ, Г.Л. Старова, г. Санкт-Петербурга).

данным искусственного соединения $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ [7, карточка 33–031]. Расчетное содержание гипса в трещинной минерализации из зоны новых термопроявлений по данным количественного химического анализа (табл. 3) составляет ~ 50 мас %.

Пирит встречается в виде отдельных зерен, хорошо образованных кристаллов (рис. 3 в) размером менее 0.5 мм или рыхлых мелкозернистых (размер зерен менее 0.01 мм) агрегатов. Кристаллы чаще всего имеют кубический облик, редко – пентагон-додэкаэдрический или октаэдрический. Для некоторых зерен характерно зональное строение, которое выявляется при полировке (рис. 4). В них устанавливается до 9 зон роста. Зональность обусловлена различной кристаллографической ориентировкой нарастающих зон, а также наличием механических примесей или загрязнениями, располагающимися по границам отдельных зон, которые при полировке легко выкрашиваются. В отраженном свете пирит светло-желтый. В агрегатах наблюдается два оттенка – более светлые и более темные зерна. Это связано, скорее всего, с различной кристаллографической ориентировкой зерен, поскольку микрозондовые исследования (пирит анализировался на 20 элементов) никаких существенных примесей в пирите не выявили. Присутствие некоторых из элементов связано с флуктуациями фона и не превышает его. По данным рентгеновских исследований наиболее интенсивные линии межплоскостных расстояний кристаллов пирита, отобранного из трещин, соответствуют эталонным данным искусственного соединения FeS_2 [7, карточка 42–1340]. Расчетное содержание пирита в трещинной минерализации из зоны новых термопроявлений по данным количественного химического анализа (табл. 3) составляет 30.5 мас. %.

Значительная часть вещества трещин представлена гидроксидами железа (бурая фаза, $\text{Fe}(\text{OH})_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$?), благодаря которым трещины окрашены в преобладающий бурый цвет. Гидрооксиды Fe образуют бесформенные агрегаты, «цементирующие» гипс и пирит. При механическом воздействии отделяются в виде полупрозрачных хрупких корочек ржаво-бурого цвета, часто с блестящей бугристой (как следствие обволакивания мелкозернистых

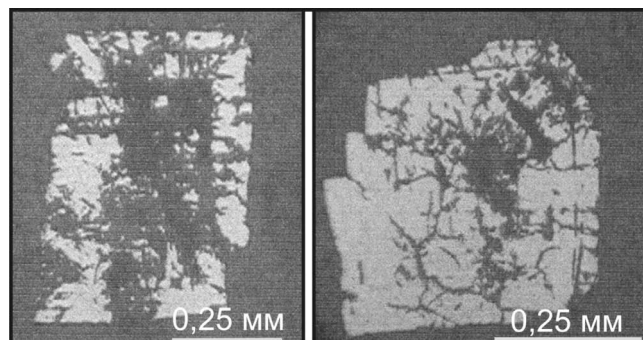


Рис. 4. Зоны роста в пирите. Изображение в обратнорассеянных электронах, «Самебах-246» (ИВиС ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский).

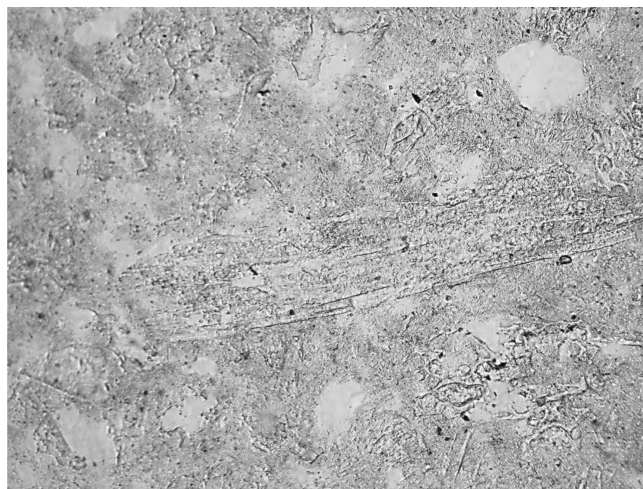


Рис. 5. Пелитовый аповитрокластический туф с единичными бластокристаллокластами, сложенными вторичными минералами. Микропоры залечены цеолитом(?). Фото при одном николе, ув. $\times 14$.

агрегатов сульфидов) поверхностью (рис. 3 а). Рентгенометрический анализ бурой фазы показал рентгеноаморфное состояние вещества. С целью идентификации рентгеноаморфной бурой фазы использован метод инфракрасной спектроскопии. Инфракрасный спектр регистрировался на спектрофотометре фирмы Shimadzu IRffinity-1 (аналитик М. Назарова). Анализ ИК-спектра показал присутствие полос поглощения, характерные для гидроксидов. ИК – спектр пробы имеет интенсивные полосы поглощения, характеризующиеся валентными (3400 см^{-1}), деформационными (1600 см^{-1}) колебаниями ОН-групп и полосами поглощения в области частот 450 см^{-1} , которые соответствует валентным колебаниям Fe-O [5]. По основным характеристическим частотам поглощения и сопоставление с литературными данными ИК-спектр бурой рентгеноаморфной фазы в общих чертах можно отнести к лимониту. По данным количественного химического анализа расчетное содержание гидроксидов Fe (табл. 3) в трещинной минерализации из зоны новых темпопроявлений соответствует $\sim 11\text{ мас. \%}$.

Комплексом методов проанализирована вмещающая порода, непосредственно примыкающая к трещинам (проба 1а-2007). Изучены ее текстурно-структурные особенности (М.Ю. Пузанков), которые позволили отнести породу к измененному кристалловитроклитическому туфу (рис. 5). В шлифах было отмечено чередование пелитовых и алевро-

Таблица 5. Результаты микронзондового анализа цеолитов, монтмориллонитов и цеолитизированной вмещающей породы (мас. %).

№ п/п	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	NiO	Сумма
1	68.91	-	12.51	0.20	-	3.33	1.16	-	-	86.11
2	69.77	-	13.01	-	-	3.26	0.78	-	-	86.82
3	68.40	-	13.31	-	-	3.30	3.94	-	-	88.96
4	69.45	-	13.87	0.11	-	3.31	4.62	0.10	-	91.45
5	62.78	-	15.08	0.13	-	5.47	1.62	0.38	-	85.45
6	67.88	-	14.71	0.11	-	5.38	0.17	0.36	-	88.60
7	66.30	-	15.49	0.11	-	6.02	0.57	0.32	-	88.80
8	66.14	-	14.38	0.13	-	5.33	0.10	0.24	-	86.32
9	71.48	-	13.41	0.33	0.91	4.14	-	0.73	-	90.99
10	64.62	-	11.47	0.29	0.77	4.04	-	0.87	-	82.07
11	49.13	0.12	16.90	7.67	0.51	0.26	-	0.51	-	75.11
12	59.20	-	20.91	8.36	0.60	0.28	-	0.58	-	89.92
13	60.92	0.10	10.53	1.34	0.15	2.56	0.22	1.06	-	76.88
14	67.13	-	12.30	0.32	0.70	3.86	-	0.92	-	85.25
15	56.33	0.66	10.85	1.64	0.75	2.38	-	1.20	-	73.82
16	63.39	-	11.19	0.25	0.66	3.99	-	1.08	-	80.55
17	61.74	0.23	11.72	1.94	0.76	2.43	0.18	1.46	-	80.47
18	65.09	0.26	12.52	2.43	0.88	2.57	0.16	1.44	-	85.35
19	65.76	1.14	12.68	2.68	0.86	2.56	0.10	1.44	-	87.21
20	58.67	-	18.33	5.20	0.74	1.85	0.18	1.15	-	86.12
21	59.36	-	10.59	0.26	0.82	3.88	-	0.77	-	75.68
22	64.53	-	11.77	1.29	0.67	3.50	-	1.11	-	82.87

Примечание. Анализы: 1–8 – цеолиты (проба 2а-2007); 9, 10, 13, 14 – цеолиты; 11, 12 – монтмориллониты; 16–22 – цеолитизированная порода (проба 1а-2007). Анализы выполнены в ИВиС ДВО РАН (г. Петропавловск-Камчатский) на приборе «Сателлах-246», аналитик С.В. Москалева. Прочерк – содержание элемента ниже предела чувствительности метода.

псаммитовых слоев с различным соотношением первичного стекловатого и кристаллокластического материала: а) аповитрокластический туф с редкими и мелкими кристаллокластами; б) аповитро-бластокристаллокластический туф, в котором ~ 40 % породы сложено псевдоморфозами вторичных минералов по кристаллокластам; в базальном цементе – такой же пелитовый материал. Первичное стекло в туфе разложено и замещено, первичные минералы кристаллокластов также не сохранились. Структуры слоев – аповитрокластическая (апопепловая) и теневая гомеокластическая. Вторичные минералы, по данным петрографических исследований однозначно не диагностированы. Предположительно они представлены хлоритами (??), глинистыми минералами (смектитами (?)) и цеолитами (??). При этом стекла пеплового цемента замещены преимущественно глинистыми минералами, а кристаллокласты – цеолитами (?) и/или хлоритом (??).

С целью изучения вторичных фаз проведено рентгеновское исследование пробы 1а-2007. Использование рентгенофазового анализа методом порошковой дифрактометрии (табл. 4) позволило подтвердить присутствие во вмещающей породе, непосредственно примыкающей к трещинам, высококремнистых цеолитов – Са-клиноптилолита ($(Ca,Na,K)_{2-3}Al_3(Al,Si)_2Si_{13}O_{36}\cdot 12H_2O$) и Са-морденита ($(Ca,Na_2,K_2)Al_2Si_{10}O_{24}\cdot 7H_2O$), а из гидротермальных глин – Fe-монтмориллонита. Результаты не противоречат опубликованным данным исследований вторичных минералов в делювиальных отложениях верховья руч. Водопадного [3]. Было также приготовлено два аншлифа (углеродное напыление) с целью дополнительного химического исследования вмещающих пород (проба 1а-2007) методом микрозондового анализа. Большинство анализов (табл. 5) свидетельствует о принадлежности высококремнистых цеолитов к их кальциевой разновидности, что не противоречит результатам рентгенофазового анализа. Исходя из содержания кальция (табл. 1), расчетная объемная доля высококремнистых цеолитов, например, для пробы 1а-2007 составляет ≥ 30 мас. %.

В пробе 2а-2007 алевро-псаммитового туфа, отобранного позднее в зоне новых термопроявлений, иголки цеолитов (морденита) часто образуют радиально-лучистые агрегаты микрокристаллов (рис. 6).

Полный количественный химический анализ, микрокомпонентный состав вмещающих пород и трещинной минерализации (табл. 1, 2, 3) свидетельствуют об их отличительных особенностях. Трещинная минерализация по микрокомпонентному составу намного беднее по отношению к вмещающей породе. Обращает на себя внимание высокое содержание здесь мышьяка, концентратом которого наиболее вероятно могут быть гидроксиды железа.

Образование вторичных минералов (гипс, сульфиды и гидроксиды железа,

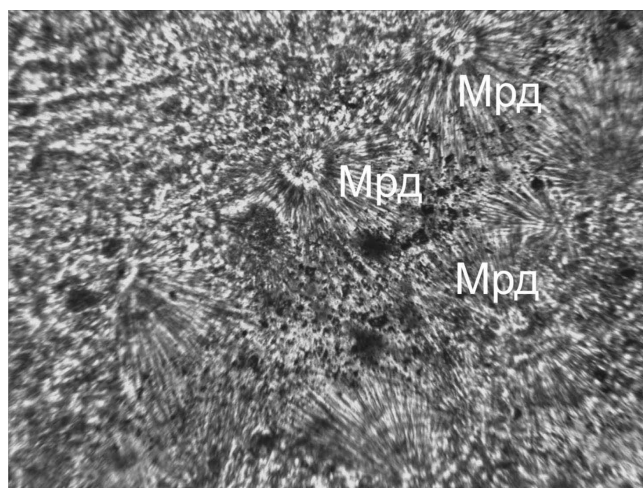


Рис. 6. Радиально-лучистые агрегаты высококремнистого цеолита (морденита) в пробе 2а-2007. «Самбах-246» (ИВиС ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский), изображение в обратнорассеянных электронах (ув. $\times 200$).

высококремнистые цеолиты, гидротермальные глины) является одной из характерных особенностей газо-гидротермальной переработки вулканитов в недрах гидротермальных систем. Исследование физико-химических характеристик гидротермальных систем является фундаментальной задачей для понимания природы процессов [5]. Минеральный состав трещинной минерализации свидетельствует об ее образовании из сульфатных вод, по В.В. Иванову и Т.И. Устиновой «связанных с вышележащим комплексом вулканических туфов» [4]. Новые термопроявления у подножия обвального цирка маркируют трещину отрыва, образование которой, «судя по аэрофотоснимкам, ...произошло в период 1973–1989 гг.» [2]. Система оперяющих трещин способствовала интенсификации деятельности зоны паро-газовой разгрузки, которая вкуче с воздействием грунтовых вод привела к снижению трения в подошве склоновых оползней. Факторами, служащими спусковым механизмом для начала перемещения оползневых тел, могли стать землетрясения, перегрузка склонов.

Выводы

Долина Гейзеров расположена в районе с большим значением теплового потока, высокой сейсмической и тектонической активностью, а породы могут быть нарушены в зоне паро-газовой разгрузки. В целях предупреждения последствий катастрофических обвально-оползневых процессов, необходимо, наряду с другими работами по литомониторингу [1], проведение исследований в части изучения продуктов вторичного минералообразования, как следствие гидротермальной деятельности, приводящей к изменению физико-химических параметров среды.

Список литературы

1. Гордеев Е.И., Мелекесцев И.В. Камчатская Долина гейзеров продолжает жить // Дальневосточный ученый. Владивосток: ТОФ «Боевая вахта», 2007. № 15 (1337). с. 4–5.
2. Дроздин В.А. Долина гейзеров не исчезла // Заповедная территория. Петропавловск-Камчатский: Камчатпресс, 2007. № 6 (45). с.1.
3. Набоко С.И., Главатских С.Ф. Высококремнистые цеолиты Долины гейзеров на Камчатке // Бюллетень вулканол. станций. 1978. № 55. с. 101–106.
4. Пилипенко Г.Ф. Парогидротермы кальдеры Узон. Гидротермальные системы и термальные поля Камчатки. Под ред. Сугрובה В.М. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1976. с. 237–266.
5. Плюснина И.И. Инфракрасные спектры минералов. М.: Моск. Ун-та., 1977. 175 с.
6. Семушкин В.Н. Рентгенографический определитель цеолитов. Новосибирск: Наука, 1986. 128 с.
7. Mineral powder diffraction file: data book // compiled by the JCPDS – International Centre for Diffraction Data in cooperation with the American Ceramic Society ... [et al.]. Swarthmore, PA, U.S.A. (1601 Park La., Swarthmore 19081): International Centre for Diffraction Data, 1986. 1396 p.