



УДК 551.21:551.24

Н. А. Малик¹, М. Е. Зеленский², В. М. Округин¹,
В. М. Чубаров¹, И. М. Гембицкая³

*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН,
г. Петропавловск-Камчатский e-mail: malik@kscnet.ru*

¹ *Институт экспериментальной минералогии РАН, г.т. Черноголовка,*

² *Национальный минерально-сырьевой университет «Горный»,
г. Санкт-Петербург*

Эмиссия элементов эруптивными газами ТТИ им. 50-летия ИВиС ДВО РАН

Приведены первые результаты комплексных исследований химического состава снежного покрова и конденсатов газов, отобранных возле лавового котла на базальтовом потоке Трещинного Толбачинского извержения им. 50-летия ИВиС ДВО РАН. Впервые для современных трещинных базальтовых извержений Толбачинского Дола изучен методами индукционно связанной плазмы (ИСП) совместно с классическим гидрохимическим анализом химический состав талой воды снежного покрова и высокотемпературного газа, отобранных у лавового котла во время активной эффузивно-эксплозивной стадии извержения. Установлен широкий спектр химических элементов, включая тяжёлые металлы, редкоземельные (лантаноиды). Концентрации многих из них отличаются аномальными значениями. Для некоторых из них диагностированы собственные минеральные формы (самородные селен, алюминий, медь, гринокит — CdS , беловит — $Sr_3Na(La, Ce)(PO_4)_3(F, OH)$).

Введение

Вулканы это: — своеобразные сверхглубокие скважины, позволяющие получить информацию о составе и состоянии глубин нашей Планеты; — природные химические реакторы, в которых происходит синтез самых «неожиданных, оригинальных» химических соединений; — уникальные природные лаборатории для изучения процессов взаимодействия «живой» и «неживой» Природы, адаптации различных форм Жизни к экстремальным «шоковым» условиям среды; — своеобразные полигоны для отработки защитных мероприятий и оценки потенциальных рисков от новых извержений.

Ключевская группа вулканов и Толбачинская зона шлаковых конусов, в частности, предоставляют исключительные возможности для решения фундаментальных проблем магматизма и рудообразования, геологического строения и состава недоступных для непосредственного изучения глубинных слоёв Земли.

И, конечно, каждое новое извержение становится объектом всесторонних исследований.

Трещинное Толбачинское извержение им. 50-летия ИВиС ДВО РАН, начавшееся 27 ноября 2012 г. не стало исключением и привлекло внимание широких кругов научного сообщества. Сложные физико-географические условия района извержения, зимний период, отсутствие инфраструктуры, динамика вулканического процесса определили спектр возможных методов полевых и лабораторных исследований. За 36 лет, прошедших с момента предыду-

щего извержения (БТТИ), качественно изменились аналитические возможности лабораторий, расширился круг методов и приёмов изучения сферы извержения, приобретён опыт выполнения исследований и интерпретации результатов.

В частности, помимо традиционного изучения твердых продуктов извержения (лав, тефры, возгонов), вулканических газов и их конденсатов, авторами была предпринята попытка получить более полную информацию об эруптивных газах с помощью снежного покрова.

Общие сведения о районе работ

Район исследований находится в области сочленения Курило-Камчатской и Алеутской островных дуг — двух фрагментов гигантского Тихоокеанского Огненного Кольца, в пределах которого сосредоточено подавляющее количество действующих вулканов нашей Планеты [1, 4, 5]. Здесь на стыке гигантских планетарных зон аномального тепломассопереноса, феноменальных потоков вещества и энергии располагается Ключевская группа вулканов (КГВ).

Такое особое геологическое положение свидетельствует о своеобразии и масштабах геодинамического состояния этой территории, где за четвертичное время сформировались многочисленные вулканические сооружения с общим объёмом более $6\,500\text{ км}^3$ [1, 14, 15]. Наиболее крупные из них — четыре действующих гиганта центрального типа: Ключевской (базальтовый стратовулкан — самый высокий и самый продуктивный в Европе и Азии); Безымянный (андезитовый, известный своими ка-

тастрофическими эксплозивными извержениями); Плоский Толбачик (ПТ) и Ушковский (базальтовые стратовулканы, морфологическая особенность которых — наличие крупных вершинных кальдер).

Вулкан ПТ (высота 3085 м) имеет сложную и длительную историю. Он (ПТ) вместе с потухшим соседом Острым Толбачиком (ОТ — также базальтовый стратовулкан, имеющий высоту 3672 м) образуют ярко выраженный в рельефе вулканический массив.

Перечислим отличительные особенности ПТ.

– Наличие вершинной кальдеры гавайского типа диаметром до 3,5 км, периодически заполняемой лавовым озером, эксплозивные извержения с образованием «волос Пеле» и выбросами плагиоклазовых кристаллов-лапиллей.

– Пространственная и генетическая связь с двумя линейными зонами шлаковых конусов, простирающимися в субмеридиональном направлении по обе стороны от ПТ на расстояния до 20 км к северо-востоку и около 50 км на юго-запад. Они известны под названием Толбачинской зоны шлаковых конусов (ТЗШК). В рельефе они представляют собою своеобразную равнину площадью около 875 км², сложенную потоками базальтов. Создается впечатление, что сама постройка ПТ — самое крупное вулканическое сооружение, как бы «насажена» на гигантский магмовод типа гавайских рифтов.

– Наличие большого скопления даек (древних магмоводов, которые когда-то были увенчаны вулканическими постройками типа шлаковых конусов), образующих в западном и юго-западном секторах протяжённые (до 2–3 км) причудливой формы каменные стены.

– Трещинные излияния необыкновенно жидких, как правило, глинозёмистых базальтов, формирующих протяжённые лавовые реки с волнистой канатной поверхностью, лавовые озёра, своеобразные лавоводы, лавовые трубы различных масштабов. Эти излияния сопровождаются изменениями размеров и морфологии вершинной кальдеры.

– Искключительная продуктивность. ПТ поставляет на дневную поверхность до 17,4 млн т различных продуктов извержения в течение года и относится вместе с вулканами Ключевской и Шивелуч к числу самых мощных вулканов ККОД. При этом предполагается, что глубины генерации магматических расплавов, которые обеспечивают веществом и энергией вулканическую активность ТЗШК, располагаются в пределах верхней мантии. Отсюда следует, что газы, растворенные в этих расплавах, можно рассматривать в качестве компонентов глубинного мантийного или «трансмагматического» флюида [1, 3].

– Определённая периодичность извержений (каждые 33–35 лет), позволившая П. И. Токареву осуществить прогноз очередного извержения в течение 1971–1975 годов [1, 11]. Большое Трещинное Толбачинское извержение (БТТИ) началось в июле 1975 г. и закончилось в декабре 1976 г. Событие случилось

через 34 года после предыдущего извержения, происходившего в мае 1941 г.

Следовало бы ещё в марте 2012 г. при подведении итогов предыдущей конференции, посвящённой Дню Вулканолога, напомнить участникам, что «не за горами» очередное новое извержение в пределах ТЗШК.

Действительно, 27 ноября 2012 г. началось Трещинное Толбачинское извержение, которому предложено название имени 50-летия ИВиС ДВО РАН (ТТИ им. 50-летия ИВиС ДВО РАН) [11, 12].

27 ноября 2012 г. южный сегмент ТЗШК стал ареной ТТИ — очередного трещинного извержения гавайского типа [12]. Это, вне всяких сомнений, выдающееся базальтовое лавовое извержение начала нового столетия. По своим масштабам, интенсивности и многообразию форм проявления оно сопоставимо с деятельностью Южного прорыва БТТИ 1975–1976 гг. Последнее в своё время было признано одним из шести крупнейших трещинных извержений новой эры [1, 15]. Следует напомнить, что Большое Трещинное Толбачинское извержение 1975–1976 гг. было не только одним из наиболее крупных извержений ушедшего столетия, но и одним из наиболее всесторонне и полно изученных [1, 2, 6, 8, 15].

К сожалению, в то время изучению снежного покрова и его роли в исследованиях состава продуктов этого извержения не было уделено соответствующего внимания, возможно, потому что БТТИ началось в летнее время. ТТИ началось в конце осени, и значительная его часть пришлось на декабрь–апрель. В этот период происходит накопление максимальной снежной массы с формированием устойчивых снежных покровов, которые концентрируют разнообразные продукты извержения и сохраняют информацию о его динамике.

О роли снежных покровов как концентраторов вещества атмосферы

Пористое строение снежного покрова, формирующееся при образовании снежинок и выпадении снега, последующие процессы сухого и влажного вымывания приводят к тому, что концентрации химических элементов и соединений, механических частиц накапливающихся в нём, на 2–3 порядка выше, чем в окружающей атмосфере. Поэтому снежный покров используется в качестве индикатора качества природной среды: атмосферного воздуха, атмосферных осадков и одного из источников последующего загрязнения почв, водоёмов и водотоков. Чем ближе источник загрязнения, тем выше содержание в нём тяжёлых металлов и токсичных соединений, пыли и других веществ.

Методика исследований

Участки опробования снежного покрова располагались в непосредственной близости от выходов газа (насколько это позволяли температуры, приводившие к таянию снега). Снег отбирался металли-

ческой лопатой с покрытием в чистые п/э пакеты. Пробы таяли при комнатной температуре, затем их фильтровали с помощью фильтровального аппарата (все детали пластиковые или стеклянные) через мембранные фильтры (диаметр пор 0,45 мкм). Из фильтратов были отобраны пробы для изучения химического состава методами гидрохимического макрокомпонентного анализа и ИСП. Эти пробы не стабилизировались и были проанализированы в течение 10 дней.

Конденсаты высокотемпературных вулканических газов, выделявшихся из этого котла, были отобраны прокачиванием их насосом через охлаждаемые снеговодяной смесью два последовательно соединённых барботёра.

Элементный анализ водных проб (талая вода, конденсат) выполнен в Аналитическом сертификационном испытательном центре Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем технологии микроэлектроники и особо чистых материалов РАН (АСИЦ ИПТМ РАН). Центр аккредитован в СААЛ (Система Аккредитации Аналитических Лабораторий (центров)) и НАНОСЕРТИФИКА. Аттестаты аккредитации зарегистрированы в Государственном реестре.¹ В область аккредитации входит элементный анализ питьевых и природных вод. Методика масс-спектрального определения элементного состава вод прошла государственную метрологическую экспертизу и утверждена Научным советом по аналитическим методам Министерства природных ресурсов в 2002 г.² Атомно-эмиссионное определение элементов в пробах проводили в соответствии с ГОСТ Р 51309-99 «Вода питьевая. Определение содержания элементов методами атомной спектроскопии». Атомно-эмиссионное определение S и P в пробах проводили с использованием разработанной в АСИЦ ИПТМ РАН методики предприятия.

Содержание Li, Be, B, Na, Mg, Al, Si, P, S, K, Ca, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Se, Br, Rb, Sr, Y, Zr, Mo, Nb, Ru, Rh, Ag, Cd, In, Sn, Sb, Te, Cs, Ba, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Hf, Ta, W, Re, Os, Ir, Pt, Au, Hg, Tl, Pb, Bi, Th и U в пробах определяли атомно-эмиссионным (iCAP-6500, Thermo Scientific, США) и масс-спектральным (X-7, Thermo Elemental, США) методами анализа.

Изучение микроморфологии и химического состава возгонов проводилось в лаборатории вулкано-генного рудообразования ИВиС ДВО РАН с помощью новейшего сканирующего электронного микроскопа Tescan VEGA 3 LMN серии VEGA с вольфрамовым катодом с термоэмиссией. Эта модель обладает большой камерой и оптимизированной геометрией портов. Он позволяет проводить исследования больших образцов, предназначен для рабо-

ты при глубоком вакууме 8–15 bar, что даёт возможность использовать для количественного анализа как энергетические, так и волновые детекторы. В комплект микроскопа входят волновой и энергетический (Oxford Instruments X-max 80 mm) спектрометры, позволяющие определять, практически, все химические элементы при высокой автоматизации исследований больших площадей поверхности образцов, обеспечивая при этом автоматический поиск и анализ частиц. Реализована возможность совместной работы двух спектрометров, что существенно повышает производительность и точность анализа.

Некоторые образцы возгонов изучались в Аналитическом центре национального минерально-сырьевого университета «Горный» (г. Санкт-Петербург).

Особенности района отбора проб

Все выходы газа располагались на застывшем лавовом поле, протянувшемся от активного кратера (конуса им. С. И. Набоко) в сторону конуса Клешня, и представляли собой колодцы (окна) над лавоводами (рис. 1, 2, 4). Внутри «окон» можно было увидеть лаву на разной глубине от 2 м и более, которая иногда (25 февраля и 2 апреля 2013 г.) выходила на поверхность. Температура лавы или стенок колодцев была в пределах 990–1075°С (рис. 2). Обычно, отбор газа, конденсата и снега происходил из выходов, расположенных ближе всего к активному конусу, на расстоянии ~ 250–350 м от него. Все они находились в пределах 30–80 м друг от друга. Координаты площадки ~ 55°45,8' с.ш., 160°19,1' в.д.

Из колодцев происходило интенсивное газоотделение с образованием шлейфа, отличающегося высокой концентрацией химических элементов и соединений, что делало невозможной работу без защитных средств (рис. 4). В результате реакций этих газов с остывающей поверхностью базальтовых потоков происходило образование разнообразных минералов и соединений. Смолянисто-чёрная серебристая волнистая с оскольчатой игольчатой микротекстурой лава на отдельных участках приобретала облик лоскутного одеяльца за счёт образования разнообразных хлоридов, фторидов, кислородных соединений железа, меди, свинца, ванадия, мышьяка, теллура, селена (рис. 3).

26 февраля 2013 г. при отборе высокотемпературных магматических газов из самого «горячего» лавового котла-колодца с температурой 1075°С были отобраны две пробы снега с застывшей поверхности лавового потока. Из котла происходило интенсивное газоотделение с образованием высокотемпературного шлейфа. Шлейф взаимодействовал со снежным покровом, который сыграл роль своеобразного коллектора, способствовавшего концентрированию растворённых в газовой фазе химических соединений. Верхний слой снега был присыпан свежес выпавшим шлаком (с 25 на 26 февраля 2013 г.). Одна проба была взята из него (проба 2 в табл. 1–3), а вторая — из нижележащего слоя снега (проба 1 в табл. 1–3), в 7 метрах от котла.

¹ № РОСС RU.0001,513 800 от 10 августа 2009 г. и № РОСС RU.В503.04НЖ00.50,04.001 от 8 июня 2009 г.

² Протокол № 84 от 10 июня 2002 г.; инструкция НСАМ № 480-Х.



Рис. 1. «Окно» над лавоводом. Фото В. М. Округина, 25 февраля 2013 г.

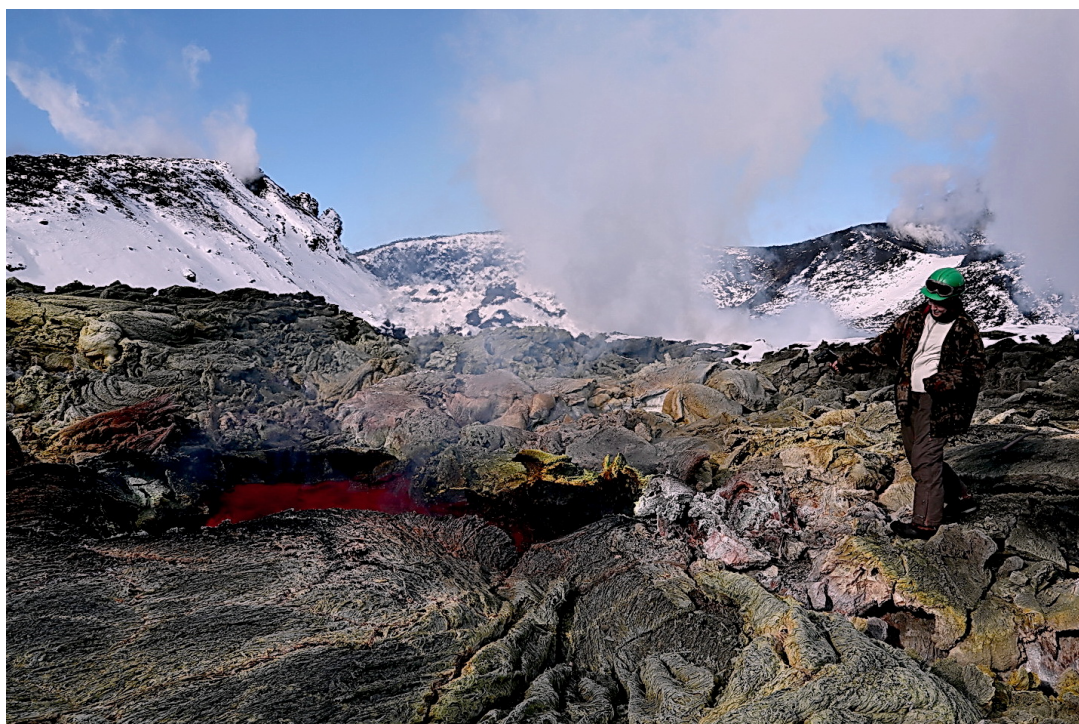


Рис. 2. Измерение температуры пирометром в лавовом колодце (температура около 1075°C), из которого поднимается шлейф высокотемпературных магматических газов. Фото В. В. Ящука, 26 февраля 2013 г.

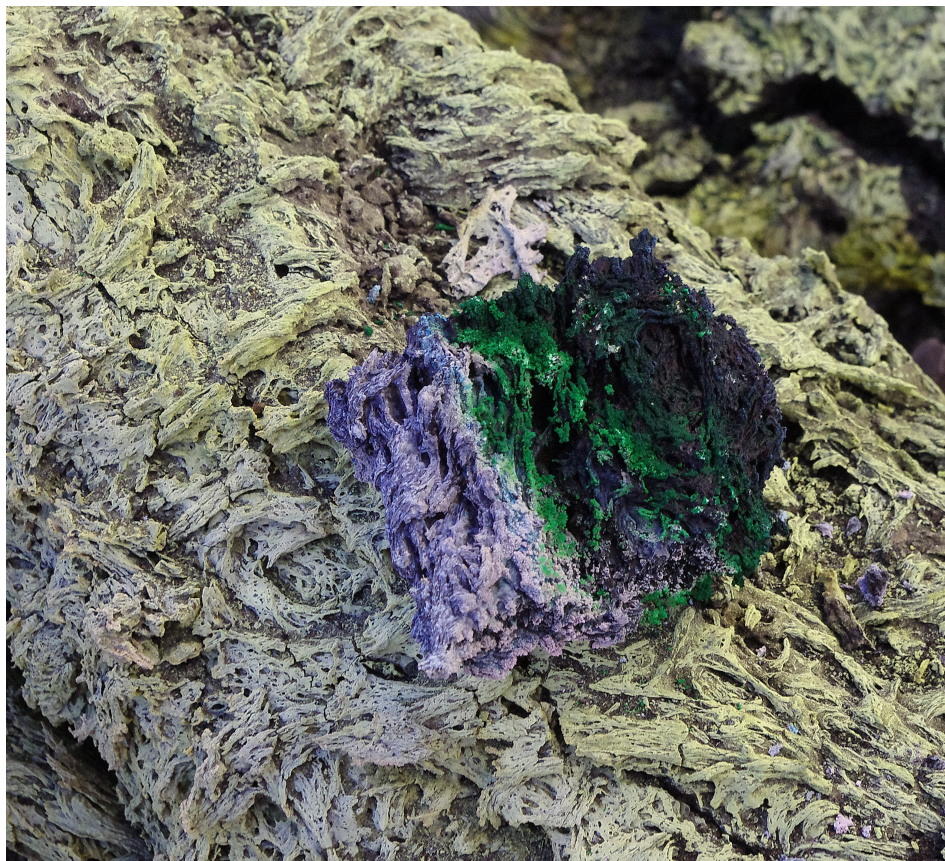


Рис. 3. Возгоны на лаве. Фото В. В. Ящука. 26 февраля 2013 г.



Рис. 4. Отбор газа. Фото В. В. Ящука. 25 февраля 2013 г.

Таблица 1. Химический состав талых вод, конденсата вулканического газа ($\cdot 10^{-7}\%$) и горных пород ($\cdot 10^{-4}\%$) Трещинного Толбачинского извержения 2012–13 гг.

Элемент	1	2	3	4	5
B	310,7	524,4	17570		5,00
V	78,0	207	<12	338,01	200
Ni	25,2	42,8	0,5	22,92	160
Cu	13 620	18 230	21 223	326,10	100
Zn	546	418	5218	126,22	130
Ga	3,4	10,5	<2	16,87	180
As	178	<0,06	11 393	2,12	2,00
Se	50,8	381	176	1,77	0,05
Br	6247	3840	62715	0,00	3,00
Sr	59,4	228	10,1	353,11	440
Ba	68,9	185	49,2	642,65	300
Hg	0,14	0,70	1,1	0,15	0,09
Pb	238	436	684	8,96	8,00
Li	16,78	66,75	174	19,02	15,0
Be	0,39	1,19	0,51	1,91	0,40
Rb	114,71	247,41	1217	57,85	45,0
Y	6,16	27,60	0,55	37,46	20,0
Zr	49,05	194,25	61	260,76	100
Nb	1,06	2,53	15	6,43	20,0
Mo	8,11	2,69	103	2,50	1,40
Rh	<0,05	<0,06	<1	<0,06	
Pd	<0,25	<0,5	<1	<0,06	0,02
Ag	1,74	5,66	12,6	0,16	0,10
Cd	103,57	19,58	9591	0,06	0,20
In	3,60	0,23	—	<0,06	0,22
Sn	4,13	3,51	85,3	1,92	1,50
Sb	0,64	0,58	11,4	0,57	1,00
Te	27,46	4,24	296	<0,04	0,001
Cs	10,34	11,06	108	1,96	1,00
La	3,71	14,49	7,1	18,95	27,0
Hf	1,38	4,57	3,2	5,56	1,00
Ta	0,13	0,067	6,7	0,42	0,48
W	0,17	0,38	2,9	3,90	1,00
Re	3,69	1,49	26,8	<0,007	0,0007
Os	<0,002	<0,001	—		
Ir	<0,001	<0,005	<0,03	<0,005	
Pt	<0,011	<0,043	<0,06	<0,01	0,10
Au	<0,012	<0,027	6,1	<0,02	0,004
Tl	307,32	143,52	1515	0,36	0,20
Bi	109,94	16,74	394	0,04	0,007
Th	0,56	1,84	4,6	4,51	3,00
U	0,33	1,23	0,26	1,71	0,50

Примечание: 1,2 — талая снеговая вода, 3 — конденсат вулканического газа (ICP), 4 — среднее содержание химических элементов в породе (ICP). Анализы выполнены в лаборатории ядерно-физических и масс-спектральных методов анализа ИПТМ РАН, г. Черногоровка. 5 — распространённость элементов в основных породах по А. П. Виноградову (1962).

Таблица 2. Химический состав (лантаноиды) талых вод, конденсата вулканического газа ($\cdot 10^{-7}\%$) и свежей лавы ($\cdot 10^{-4}\%$) Трещинного Толбачинского извержения 2012–13 гг. (ICP)

Лантаноиды	1	2	3	4	5
Ce	9,06	36,75	3	48,90	4,5
Pr	1,32	5,15	0,35	6,50	4,00
Nd	5,99	23,80		30,32	20,0
Sm	1,40	5,64		7,21	5,00
Eu	0,37	1,48		1,87	1,00
Gd	1,37	5,48		7,15	5,00
Tb	0,21	0,86		1,09	0,80
Dy	1,25	5,06		6,46	2,00
Ho	0,25	1,00		1,32	1,00
Er	0,73	3,00		3,84	2,00
Tm	0,10	0,42		0,53	0,20
Yb	0,69	2,74		3,51	2,00
Lu	0,11	0,42		0,52	0,60

Примечание: см. табл. 1.

Таблица 3. Химический состав талых вод, конденсата вулканического газа ($\cdot 10^{-4}\%$) и горных пород (масс. %) Трещинного Толбачинского извержения 2012–13 гг.

Элемент	1	2	3	Оксиды	4(ICP)	5(RFA)	6	7
Na	14,42	42,60	313	Na ₂ O	4,12	4,15	3,44	3,62
Mn	0,20	1,00	0,3	MnO	0,19	0,18	0,18	0,13
Al	13,15	40,82	3	Al ₂ O ₃	17,39	15,9	17,34	16,92
Si	52,05	63,75	546	SiO ₂		51,25	50,77	50,67
P	0,72	2,24	0,07	P ₂ O ₅	0,76	0,55	0,42	0,45
S	247,16	129,87	893	S* _{общ}	<0,002	<0,01		
K	16,51	43,41	325	K ₂ O	2,81	2,16	1,88	2,13
Ca	11,19	43,92	3,8	CaO	8,07	8,51	8,70	8,64
Ti	1,35	5,70	0,17	TiO ₂	1,86	2,11	1,54	1,71
Mg	3,34	17,74	0,73	MgO	4,44	3,03	4,92	4,58
Fe	10,55	52,10	14,19	Fe ₂ O ₃	13,60	6,10		3,54
				FeO		5,23		6,99
				Fe ₂ O ₃ +FeO			10,20	

Примечание: 1,2 — талая снеговая вода, 3 — конденсат вулканического газа, 4,5 — среднее содержание оксидов в породе. 1,2,3,4 — анализы выполнены в лаборатории ядерно-физических и масс-спектральных методов анализа ИПТМ РАН, г. Черногоровка; 5 — анализы выполнены в Аналитическом центре ИВиС ДВО РАН; 6 — средний химический состав субщелочных глинозёмистых базальтов ТЗШК (Федотов, 1984); 7 — ЮП БТТИ (Федотов, 1984).

Обсуждение аналитических данных

Результаты анализа талых вод и конденсата превзошли все ожидания. Никогда ещё в водах, тем более талых, Камчатского региона, не встречался такой широкий спектр химических элементов при высоких, аномальных содержаниях многих из них (табл. 1–3). Среди них не только породообразующие (от кремния до титана), но и фосфор, барий и стронций, медь, серебро и золото, цинк и свинец, олово и сурьма, кадмий и таллий, бериллий, бром и фосфор, висмут, тантал, вольфрам и молибден, теллур и селен, лантаноиды, уран и торий, индий и даже — рений. Последний был обнаружен только в высокотемпературных фумаролах вулкана Кудрявый (Итуруп, Курилы).

За 35-летнюю историю изучения продуктов вулканической и поствулканической деятельности БТТИ обнаружено более 120 минералов эксгальций. При этом каждый четвёртый из них оказался новым [2]. Было начато изучение форм нахождения отдельных рудообразующих элементов (в частности, меди), условий их переноса и концентрирования на различных стадиях развития вулканических процессов [9, 10]. ТТИ им. 50-летия ИВиС ДВО РАН предоставил новые возможности для продолжения таких исследований. Современные методы аналитических исследований открывают широкие горизонты, о которых можно было только мечтать в 70-е годы XX века. Уже сейчас применение методов локального физико-химического анализа позволило в лавах и возгонах ТТИ обнаружить такие минералы меди как халькопирит, халькозин, тенорит (CuO , рис. 5, 6), толбачиит (CuCl_2), меланоталлит (Cu_2OCl_2) самородная медь, сульфидные глобулы, содержащие железо, медь, серу, сульфид кадмия — гринокит (CdS), хлориды натрия, калия и кальция (NaCl , KCl , CaCl_2), сложные смеси хлоридов (рис. 5), фторидов и сульфатов (рис. 6, 7). Совершенно неожиданными оказались находки самородных алюминия, селена (рис. 8), тантал-содержащей фазы (рис. 9), минеральных фаз, в составе которых, кроме углерода, кислорода и азота, никаких других элементов пока не обнаружено. Наличие такого многообразия лантаноидов нашло своё выражение в обнаружении среди возгонов ТТИ беловита — редкоземельного фосфата $\text{Sr}_3\text{Na}(\text{La}, \text{Ce})(\text{PO}_4)_3(\text{F}, \text{OH})$ — минерала (рис. 10), первая находка которого сделана на Кольском полуострове [10]. Можно надеяться, что в ближайшем будущем среди возгонов ТТИ будут диагностированы новые собственные минеральные формы лантаноидов.

Предварительные выводы

1) химический состав снежного покрова и конденсата вулканических газов отличаются необычайно широким элементов, что свидетельствует о глубокой природе их источника;

2) присутствие в составе снега и конденсата вулканических газов таких химических элементов как сурьма, мышьяк, олово, молибден, рений, таллий, се-

ребро, вольфрам, висмут, тантал, лантаноиды должно найти своё отражение в минеральном сообществе продуктов реакций в системе «вулканический газ — порода (лавы и пирокластика ТТИ)»;

3) наличие в составе конденсата газа и снега высоких концентраций меди, селена, теллура, кадмия и мышьяка позволяет продолжить изучение форм нахождения этих важных для понимания процессов рудообразования и воздействия на окружающую среду веществ;

4) снежный покров в зонах фумарольной деятельности — концентратор (своеобразный «сорбент» — как и вулканические пеплы) химических элементов, растворенных в газах и аэрозолях. Наряду с конденсатами самих газов он имеет важное информационное значение для оценки состава продуктов извержений и динамики вулканических процессов;

5) в снежном покрове происходит избирательное концентрирование преимущественно малолетучих компонентов. Они могут осаждаться из аэрозолей и при выщелачивании в кислой среде (pH снеговой воды < 3) из более крупных частиц пепла. В конденсатах газов, напротив, содержание таких элементов заметно меньше, но в них накапливаются летучие элементы. Поэтому целесообразно проводить опробование, как снежного покрова, так и конденсатов газов.

Исследования выполнены по программам проектов 12–1–П27–03, ПСР КамГУ им. Витуса Беринга 2012–2016 гг.

Список литературы

1. Большое трещинное Толбачинское извержение, 1975–1976 гг., Камчатка / Отв. ред. Федотов С. А., М., Наука, 1984. 638 с.
2. Вергасова Л. П., Филатов С. К. Новые минералы в продуктах фумарольной деятельности Большого Трещинного Толбачинского извержения // Вулканология и сейсмология. 2012. №5. С. 3–12.
3. Зотов И. А. Трансмагматические флюиды в магматизме и рудообразовании. М., Наука, 1989. 214 с.
4. Макдональд Г. Вулканы. М. Мир. 1975. 431 с.
5. Мархинин Е. К. Вулканы и жизнь. М., Наука, 1980.
6. Меняйлов И. А., Никитина Л. П., Шапарь В. Н. Геохимические особенности эксгальций Большого Трещинного Толбачинского Извержения. М.: Наука, 1980.
7. Михайлов В. А. Редкоземельные руды мира: геология, ресурсы экономика. Киев: Издательско-полиграфический центр «Киевский университет», 2010. 223 с.
8. Округин В. М. О рудных минералах продуктов Большого Трещинного Толбачинского извержения // Вулканология и сейсмология. 1979. №2. С. 59–71.
9. Округин В. М., Гаранин В. М., Кудрявцева Г. П., Соколов В. Н. Первые результаты изучения рудных минералов в продуктах извержения Южного прорыва вулкана Толбачик / Геологические и геофизические данные о Большом трещинном Толбачинском извержении 1975–1976 г. М. Наука. 1978. С. 106–111.

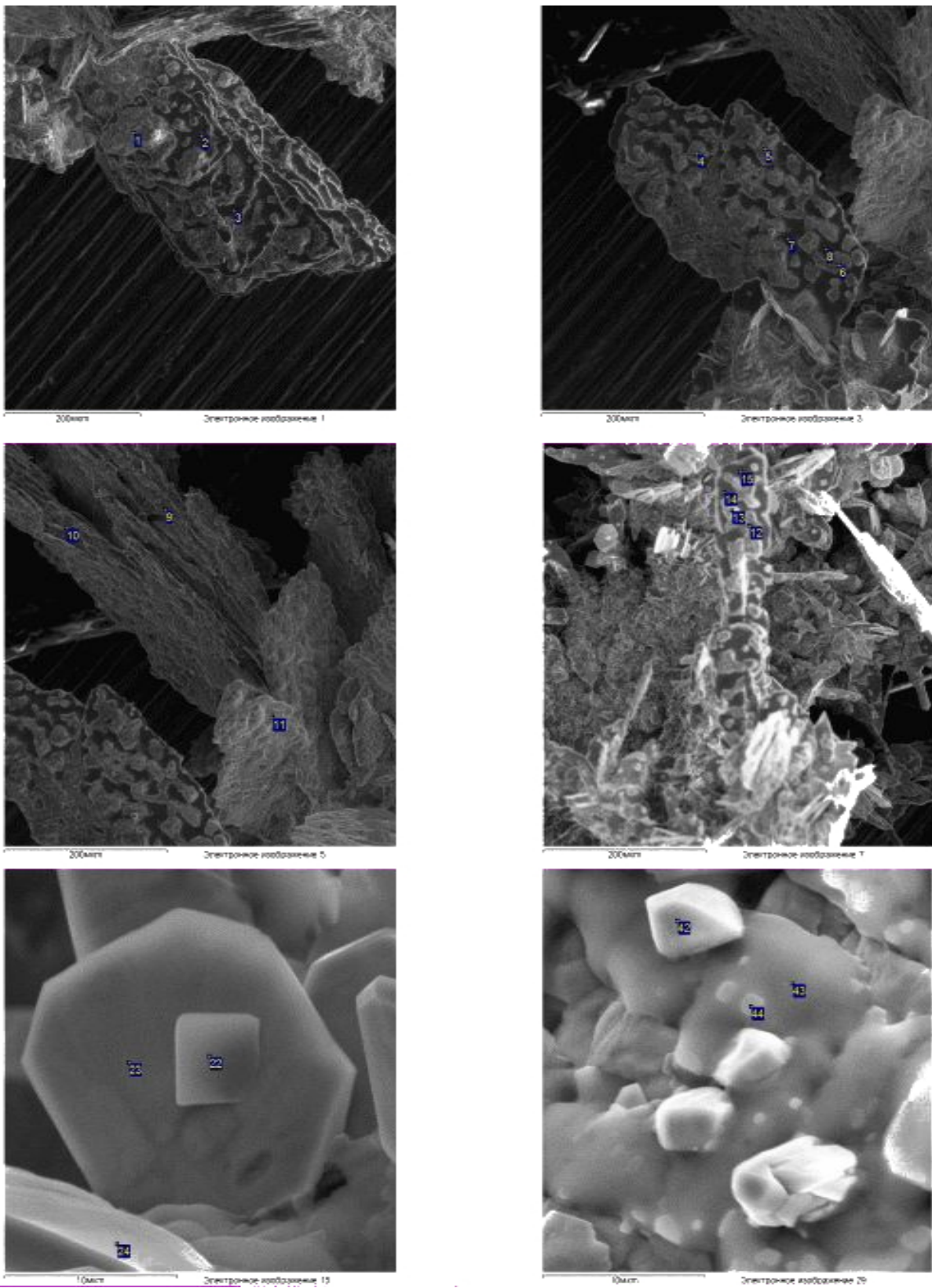
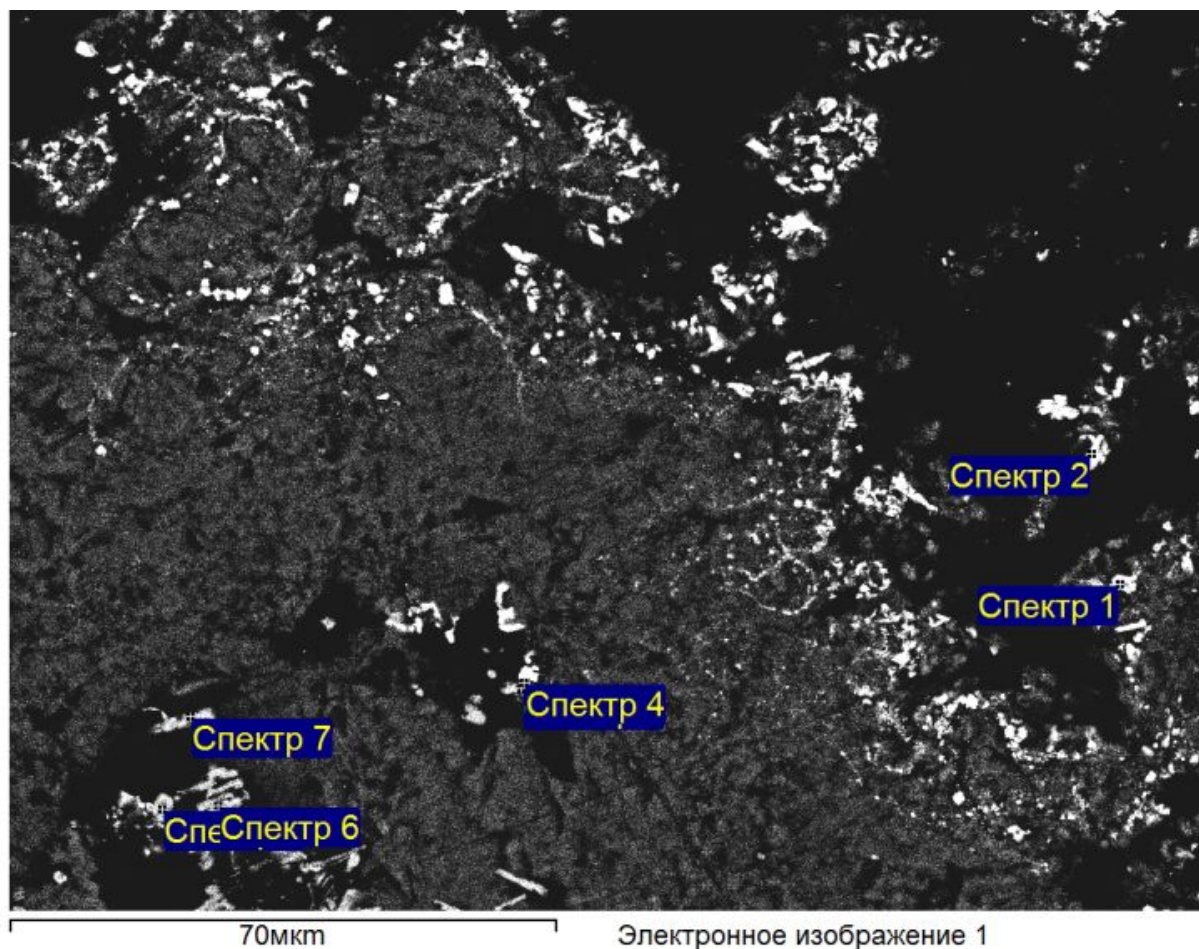


Рис. 5. Формы выделения тенорита (2,3,7,8,9,11,14,15,23,24,42) и хлоридов К, Na, Cu, (4,5,6,10,12,13,22,43,44), ТТИ, 25 февраля 2013 г.



	Электронное изображение 1						
	спектры						
	1	2	3	4	5	6	7
O	25,40	29,44	36,21	28,14	36,24	39,34	39,73
Na			9,09	10,26			4,12
Mg			0,44		5,40	3,60	
Al					1,19	0,79	
Si			1,56	1,99	0,55	3,62	0,53
S	2,16		17,26	27,23	0,41		2,45
Cl			1,68	1,15			
K	1,05		5,62	8,50			0,59
Ca			0,96	1,08	0,48		
Ti							0,67
Mn					0,76	0,72	
Fe			6,94	3,39	48,92	39,26	50,17
Cu	71,39	70,56	2,97	5,76	6,04	12,66	1,75
Pb			17,25	12,50			
Итого	100,00	100,00	99,98	100,00	99,99	99,99	100,01

Рис. 6. Оксиды меди, железа (5–7), сульфаты свинца (3, 4) и тенорит (1, 2) из зоны взаимодействия высокотемпературный газ – базальтовая лава ТТИ февраль 2013 г.

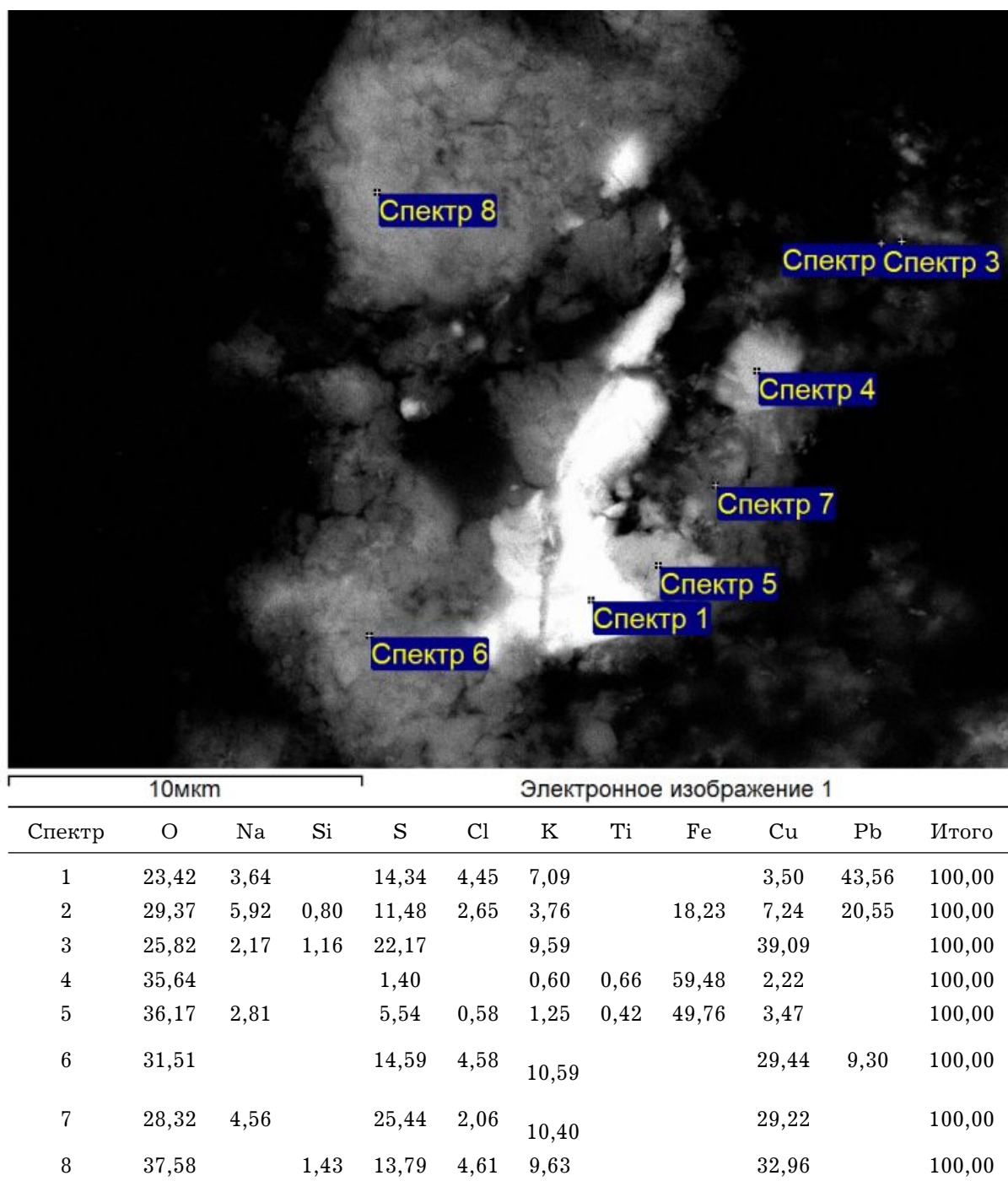


Рис. 7. Формы выделения оксидов железа (1, 4, 5), сульфатов свинца (1, 2) и сложных соединений меди (3, 6, 7, 8) в возгонах ТГИ. 25 февраля 2013 г.

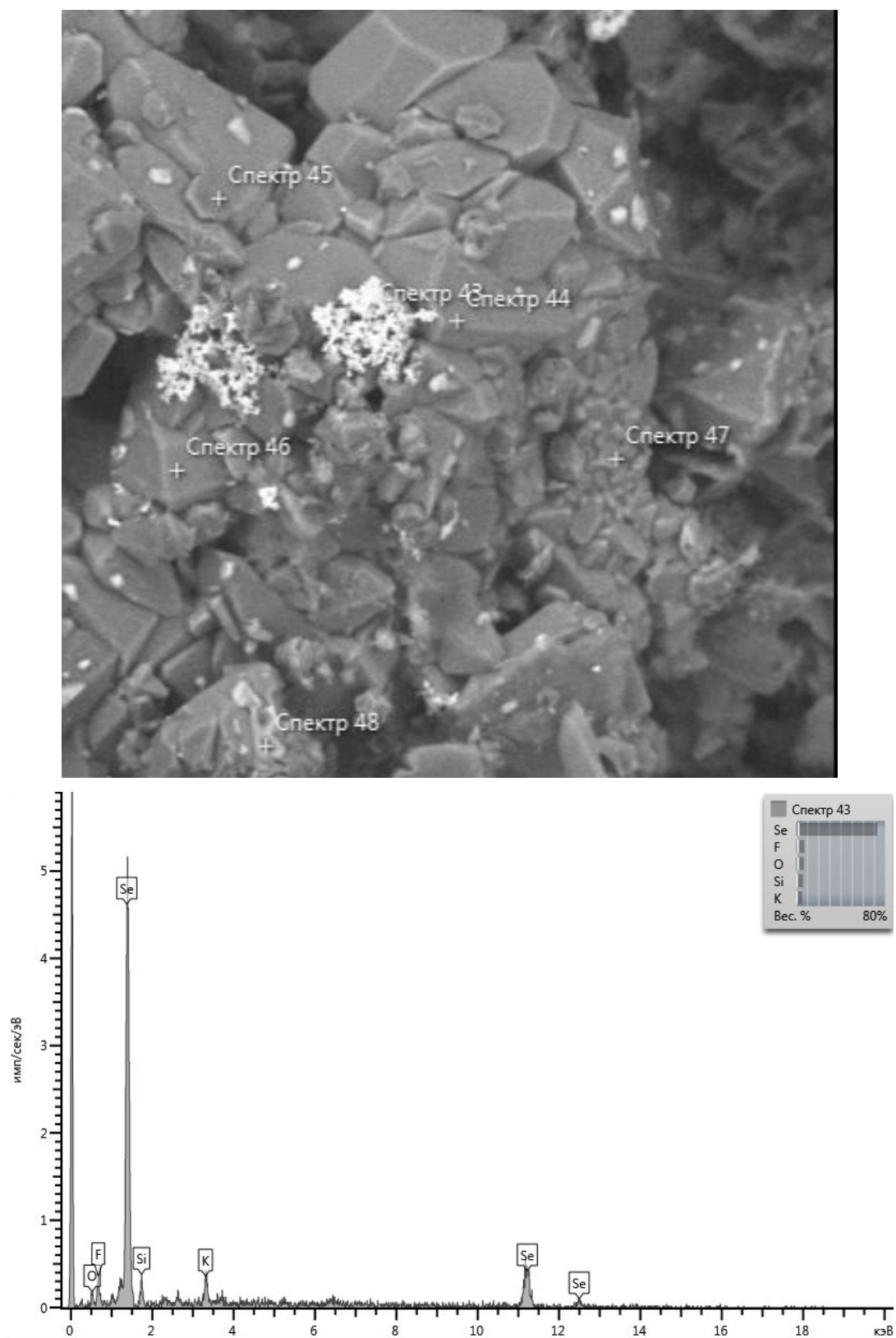
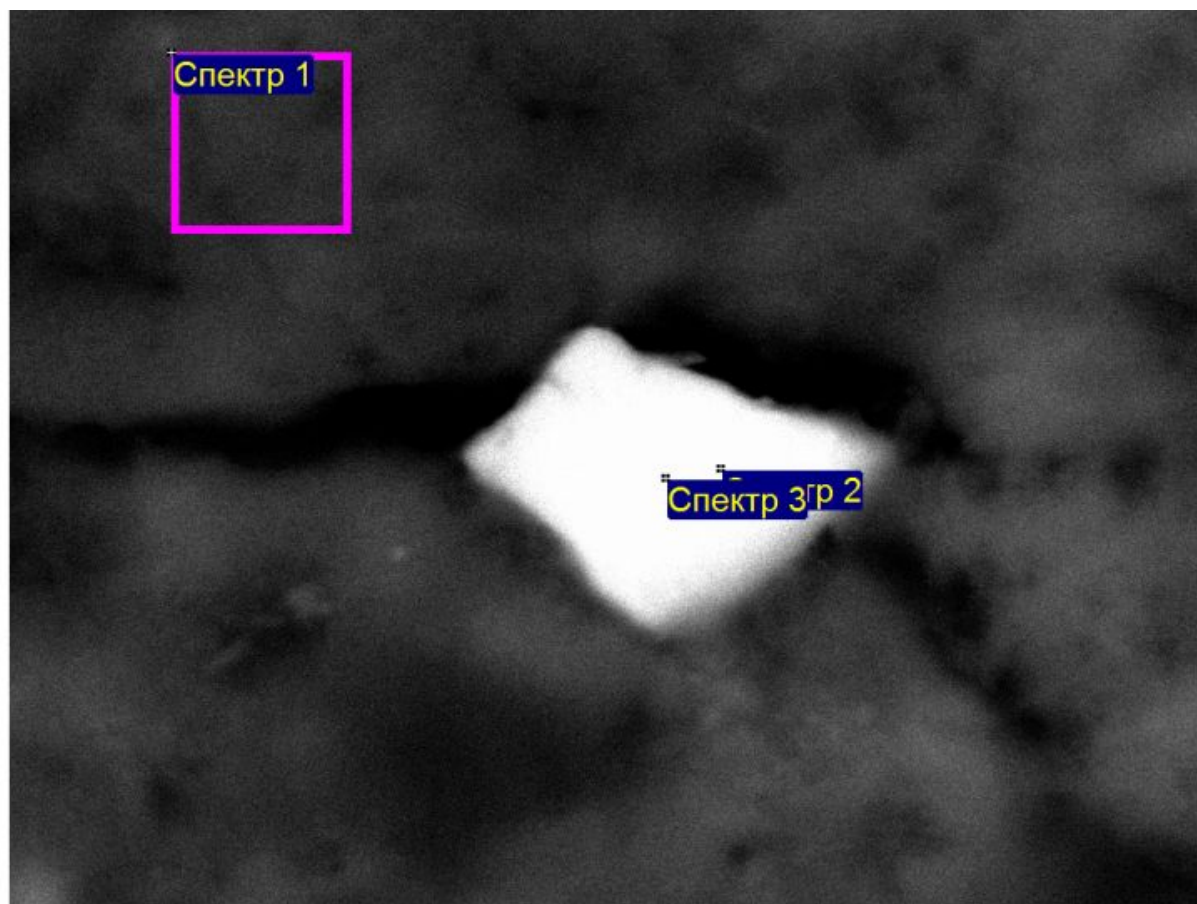


Рис. 8. Микрочастицы самородного селена (43) среди агрегатов тенорита, хлоридов калия, натрия и меди (44–48), ТТИ, 25 февраля 2013 г.



Спектр	Электронное изображение 1							Итог
	O	S	Cl	K	Cu	Zn	Ta	
1	36,47	16,85	5,18	8,74	32,76			100,00
2	28,71	3,39	2,35	0,60	7,36	8,12	49,48	100,00
3	31,44	2,78	1,82	0,74	5,53	7,72	49,98	100,00

Рис. 9. Та-содержащая фаза (2, 3) среди медьсодержащих агрегатов (халькозин?), 25 февраля 2013 г.

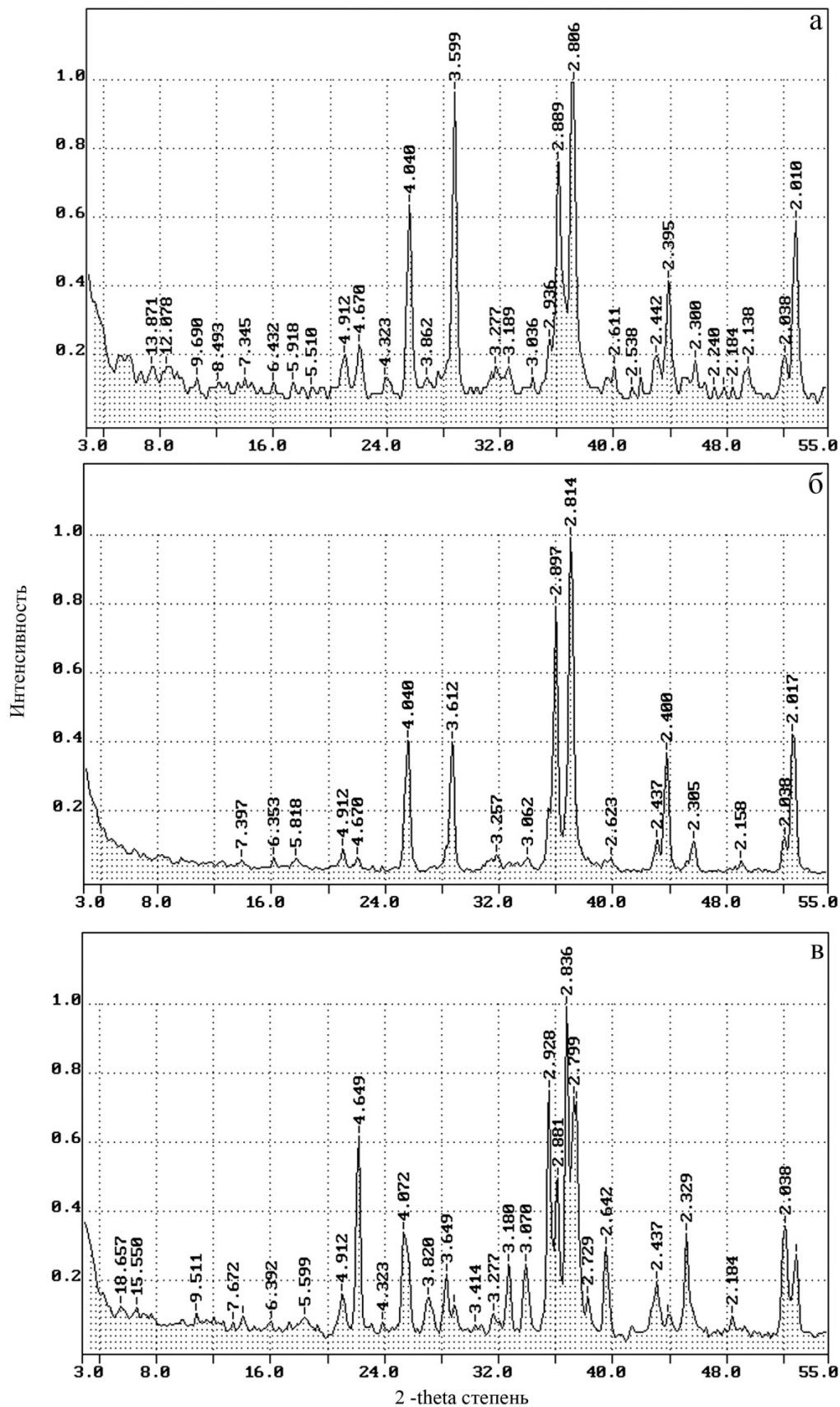


Рис. 10. Дифрактограммы беловита – OVM-1, -2 и смеси беловита (60%) с апатитом (40%) – OVM-3.

10. Пеков И. В., Куликова И. М., Кабалов Ю. К., Елецкая О. В., Чуканов Н. В., Меньшиков Ю. П., Хомяков А. Л. Беловит-(1_a) $\text{Sr}_3\text{Na}(\text{La}, \text{Ce})(\text{PO}_4)_3(\text{F}, \text{OH})$ — новый редкоземельный минерал из группы апатита // Зап.ВМО, 1996, ч.125, № 3, С. 101–109.
11. Салтыков В.А., Кугаенко Ю. А., Ворopaев П.В. Об аномалии сейсмического режима, предварявшей Новое (2012) Трещинное Толбачинское извержение на Камчатке // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2012. №2. Выпуск 20. С. 16–19.
12. Самойленко С. Б., Мельников Д. В., Магуськин М. А., Овсянников А. А. Начало нового Трещинного Толбачинского извержения в 2012 г. // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2012. № 2. Вып. 20. С. 20–22.
13. Федотов С. А. О внедрении даек и механизме трещинных извержений // Вулканология и сейсмология. 1982. №5. С. 79–95.
14. Федотов С. А., Жаринов Н. А., Гонтовая Л. И. Магматическая питающая система Ключевской группы вулканов (Камчатка) по данным об её извержениях, землетрясениях, деформациях и глубинном строении // Вулканология и сейсмология. 2010. № 1. С. 3–35.
15. Федотов С. А., Уткин И. С., Уткина Л. И. Периферический магматический очаг вулкана Плоский Толбачик, Камчатка: положение и глубина, размеры и их изменения по данным о расходе магм // Вулканология и сейсмология. 2011. №6. С. 3–20.