

ВЛИЯНИЕ ВИСМУТА И СУРЬМЫ НА ТЕРМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА РУД МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗОЛОТА ЗАБАЙКАЛЬСКОГО КРАЯ

THE INFLUENCE OF BISMUTH AND ANTIMONY ON THERMAL PROPERTIES OF ORES OF GOLD DEPOSITS OF THE TRANSBAIKAL REGION



*Е. В. Миронова,
Забайкальский
государственный
университет,
г. Чита
Mironova20-11@mail.ru*

*E. Mironova,
Transbaikal State
University, Chita*



*Г. А. Юргенсон,
Институт
природных ресурсов,
экологии и
криологии СО РАН,
г. Чита
yurgga@mail.ru*

*G. Yurgenson,
Institute of Natural
Resources, Ecology and
Cryology of SB RAS, Chita*



*В. В. Лимберова,
Забайкальский
государственный
университет,
г. Чита
limberovavv@gmail.com*

*V. Limberova,
Transbaikal State
University, Chita*



*Р. А. Филенко,
Институт
природных ресурсов,
экологии и
криологии СО РАН,
г. Чита
filrom@yandex.ru*

*R. Filenko,
Institute of Natural
Resources, Ecology and
Cryology of SB RAS, Chita*

Методом термогравиметрического анализа установлено воздействие внедрения полуметаллов в образцы руды двух важных в промышленном отношении месторождений Забайкальского края: Любавинское (среднеглубинное золото-кварцевое) и уникальное по запасам и содержанию золота БалеЙско-Тасеевское (малоглубинное золото-серебряно-кварцевое). Выявлены четкие различия результатов термических исследований руды до и после внедрения сурьмы и висмута.

Для осуществления термогравиметрического анализа нагревание исследуемых контрольных образцов руды и образцов композиций руды с полуметаллами проводили до 700...1200 °С в потоке аргона или воздуха (максимально высокая температура зависит от достижения спекаемости образца). Потеря массы контрольных образцов руды идёт с одинаковой скоростью, присутствуют схожие термические эффекты, хотя их интенсивность различна. Также отмечаем, что потеря массы происходит ступенчато: при нагревании образцов руды Тасеевского месторождения происходит в три ступени, руды Любавинского месторождения – в четыре ступени. При температуре 573,9...574 °С происходит мощный эндоэффект, характеризующий α - β переход фазового состояния кварца. Теоретические данные α - β перехода кварца 573,2 °С, но из-за разного размера частиц кварца в навеске (мелкие частицы и крупные изменяют фазовое состояние в разное время) эндоэффект незначительно сдвигается, как происходит в нашем случае. В среднем остаточная масса образцов по достижении 1000 °С составила 96,7%.

Наблюдаемые при нагревании контрольных образцов руды интенсивные термические эффекты разложения глинистых, карбонатных, сульфидных составляющих полиминеральных руд, чёткий пик фазового α - β перехода кварца, ступенчатая потеря массы при нагревании образцов композиций руды с внедрёнными полуметаллами не проявляются.

При термическом исследовании композиции состава руда + полуметалл наблюдаем заметное «сглаживание» кривой ДСК, потеря массы проходит равномерно, без резких ступеней, что наводит на размышления об образовании в этих случаях устойчивых к внешним термическим воздействиям структур композиций

Ключевые слова: термогравиметрия; полуметаллы; молекулярные структуры; руда; среднеглубинные и мелкоглубинные золото кварцевые рудные формации; Любавинское месторождение; Тасеевское месторождение; кварц; внедрение; минеральный состав

The method of the thermogravimetric analysis has established an impact of semi-metals introduction into the samples of ore of two industrially important deposits of the Transbaikal region: Lyubavinskoye (medium-deep gold-quartz) and unique on stocks and content of gold Baley-Taseevskoye (low-deep gold-silver-quartz). Accurate distinctions of the results of thermal researches of ore before and after introduction of antimony and bismuth are revealed.

For implementation of the thermogravimetric analysis the heating of the studied control samples of ore and samples of ore compositions with semi-metals were carried out to 700...1200 °C in a stream of argon or air (the highest temperature depends on the state of sample's caking). The loss of mass of ore control samples goes with an identical speed; there are similar thermal effects though their intensity is various. Also we note that the loss of weight happens in stages: when heating the ore samples of the Taseevsky deposit occurs in three stages, whereas the heating of the ore samples of the Lyubavinsky deposit in four stages. At the temperature of 573,9...574 °C there is a powerful end-effect, characterizing α - β transition of a phase condition of quartz. Theoretical data of α - β transition of quartz are at 573,2 °C, but because of the different size of quartz particles in a hinge plate (small particles and large change a phase state at different times) the end-effect not considerably moves as it occurs in our case. The residual mass of samples on reaching 1000 °C has averaged 96,7 %.

The observed intensive thermal effects of decomposition of clay, carbonate, sulphidic components of polymineral ores, accurate peak phase of α - β quartz transition, stage loss of weight when heating samples of ore compositions with the introduced semi-metals during the heating process of ore control samples aren't shown.

At a thermal research of composition of the structure ore + semimetal we observe noticeable "smoothing" of curve DSK, loss of weight takes place evenly, without sharp stages that underlines the idea about formation of composite structures resistant to external thermal influences in such cases.

Key words: thermogravimetry, semimetals, molecular structures, ore, medium-deep and low gold-quartz ore formations, Lubavinsky deposit, Taseevskoye deposit, quartz, introduction, mineral composition

Введение. Недостаточность имеющейся информации о закономерностях образования, изменении физико-химических свойств при внедрении висмута и сурьмы в природные минеральные объекты, а именно влияние полуметаллов на термические свойства руды, делает актуальной разработку новых подходов к получению таких соединений, изучению их свойств, структуры.

Объектами исследования являются золотосодержащие руды Тасеевского и Любавинского месторождений Забайкальского края. Глинистые составляющие этих руд являются объектами супрамолекулярных структур. Все опыты, манипуляции проводятся в реальных условиях на воздухе.

Характерные свойства полуметаллов отражают специфику межатомных сил связи в кристаллах веществ этого типа. Энергия связи для кристаллов типичных полуметаллов оказывается незначительной, что приводит к сильному энгармонизму колебаний решетки, высокой сжимаемости, делает полуметаллы весьма чувствительными к внешним воздействиям (всестороннее сжатие, одноосная деформация и др.) [2;1]. В результате исследования внедрения висмута и сурьмы в золотосодержащую руду установлено, что оно оказывает существенное влияние на характер термических свойств исследуемых образцов.

Экспериментальная часть. Минеральный состав объектов исследования

известен: руда Тасеевского месторождения состоит из кварца (SiO_2), слоистых силикатов с примесью сульфосолей, пирита (FeS_2), сфалерита (ZnS), олигонита ($(\text{Fe}, \text{Mn})\text{CO}_3$), в руде Любавинского месторождения присутствует кварц, гидрослюда, арсенопирит (FeAsS), пирит (FeS_2), доломит ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$).

Минеральный и химический состав использованного для экспериментов рудного материала изучен в аншлифах минераграфическим, электронно-зондовым и химическими методами с помощью оптического поляризационного микроскопа AXIO Scope A1., растрового электронного микроскопа LEO 1430 VP (аналитик Е.А. Хромова, ГИН СО РАН, г. Улан-Удэ, руководитель лаборатории С.В. Канакин). Химические анализы выполнены методом ISP MS в лаборатории ОАО «Восток лимитед», руководитель Т.Л. Попова.

Термогравиметрический анализ осуществлялся в Институте природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН (ИПРЭК СО РАН), в лаборатории геохимии и рудогенеза на приборе Netzsch STA 449F1. Условия выполнения: скорость 10°C в мин, нагревание до $1000\text{...}1200^\circ\text{C}$ в потоке аргона или воздуха. Загрузка образца составляла $10\text{...}20$ мг, использовался платиновый или корундовый тигель.

Для термического исследования использованы: образец измельченной руды месторождения золота и серебра Тасеевское, образец измельченной руды месторождения золота Любавинское, руда Тасеевского месторождения с висмутом, а также

с сурьмой, руда Любавинского месторождения с висмутом, а также с сурьмой.

Образцы полуметаллов для исследования: висмут металлический ГОСТ 10 928-90, сурьма металлическая ГОСТ 1089-82. Образцы руды измельчены на мельнице для горных пород до частиц размером ≈ 1 мм. Внедрение полуметаллов производили путём истирания в агатовой ступке в течение 15 мин. Соотношение компонента и руды 1:100. Объекты исследования очень податливы механическому воздействию. При истирании руды с висмутом наблюдалось отчётливое изменение цвета: изначально светло-серый цвет исходного образца руды при взаимодействии с сурьмой менялся на тёмно-серый и примерно через 7 мин истирания установился интенсивно тёмно-серый цвет образца. При твердофазном взаимодействии руды с металлической сурьмой цвет готового образца серый – незначительно потемнел. Также в процессе истирания рассыпчатые сухие образцы по внешнему виду становятся влажными, маслянистыми, аморфными и распределяются по стенкам ступки. Более отчётливое изменение агрегатного состояния наблюдалось при истирании руды с висмутом. Предположительно это связано с увеличением адсорбционной способности истёртых композиционных образцов.

Обсуждение результатов. Данные химического анализа рудных минералов Тасеевского месторождения приведены в табл. 1, химический состав рудных минералов Любавинского месторождения в табл. 2.

Таблица 1/Table 1

**Состав рудных минералов Тасеевского месторождения/
Composition of ore minerals of the Taseevsky deposit**

Минерал/Mineral	Элемент и его содержание, масс./Element and its content, masses., %									
	Au	Ag	Pb	Zn	Cu	Hg	As	Sb	Fe	S
Золото/Gold	60,66	39,34								
	63,08	35,29				1,62				
	59,39	40,61								
	66,91	33,09								

Окончание табл. 1

Миаргирит/Miargyrites AgSbS ₂		25,37						25,58		49,95
Тетраэдрит/Tetrahedrite 3Cu ₂ S·Sb ₂ S ₃		11,26		2,83	22,79			14,42	4,60	44,11
Аргентотеннантит/ Argentotennantite Ag ₆ Cu ₄ (Fe,Zn) ₂ As ₄ S ₁₃		10,45		1,94	24,95		4,95	8,87	5,41	43,38
		10,34			24,55		5,17	8,18	4,88	44,61
		11,55			23,82		1,08	13,11	3,82	43,03
Андорит/Andorite AgPbSb ₃ S ₆		9,38	9,25				0,78	28,14		52,45
Сфалерит/Sphalerite ZnS				50,20						49,80
				50,06						49,94

Таблица 2/Table 2

**Состав рудных минералов Любавинского месторождения/
Composition of ore minerals of the Lubavinsky deposit**

Минерал/ Mineral	Элемент и его содержание, масс./Element and its content, masses., %									
	Si	O	Fe	As	S	Pb	Au	Ag	Al	Mg
Кварц/ Quartz SiO ₂	48,34	51,66								
	48,80	51,22								
	48,34	51,66								
	48,57	51,43								
Арсено- пирит/ Arsenopyrite FeAsS			37,27	40,19	22,54					
			37,05	40,82	22,13					
			37,06	39,11	23,83					
			36,99	40,07	22,93					
			36,68	40,07	22,70					
			36,65	40,73	22,62					
			37,58	39,43	22,99					
			35,80	41,00	23,20					
Галенит/ Galena PbS					46,51	53,49				
					49,50	50,50				
					12,10	87,90				
					12,86	87,14				
					17,16	82,84				

Минерал/ Mineral	Элемент и его содержание, масс./Element and its content, masses., %									
	Si	O	Fe	As	S	Pb	Au	Ag	Al	Mg
					16,00	84,00				
					12,75	87,25				
					12,68	87,32				
Пирит/Pyrite FeS ₂			47,04		52,96					
			46,69		53,31					
			46,64		53,36					
Золото/Gold (Au, Ag)							85,72	12,55		
Хлорит/ Chlorite	13,73	36,55								
	12,24	32,89	28,06						8,31	4,02

Примечание. (Mg, Fe)₃[Al, Si]₄O₁₀(OH)₂ • 3(Mg, Fe)(OH)₂

Результаты термогравиметрических исследований исходных образцов руд Тасеевского и Любавинского месторождений представлены на рис. 1.

Изменение массы отражено на кривой ТГ и выражено в процентах потери с нарастанием температуры.

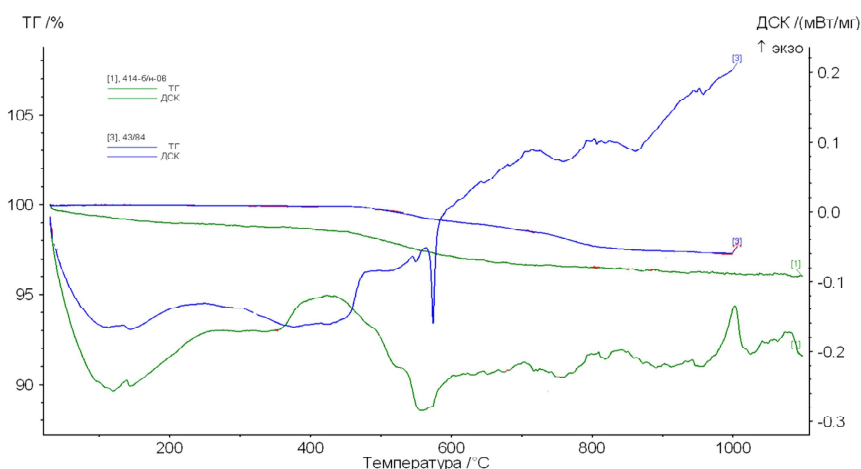


Рис. 1. Данные термического анализа контрольных образцов руд Тасеевского (зелёные кривые ДСК и ТГ) и Любавинского (синие кривые ДСК и ТГ) месторождений

Fig. 1. Thermal analysis data of control samples of Taseevsky (green DSK and TG curves) and Lubavinsky (blue DSK and TG curves) deposits

Потеря массы руды Тасеевского месторождения (рис. 1) при нагревании идёт в три стадии:

— первая стадия потери массы в интервале температур от комнатной — до 235 °С составляет 0,58 % этот эффект частично связан с освобождением воды из капилля-

ров. Первая стадия потери массы характеризуется эндо-пиком при температуре примерно 120 °С, этот пик однозначно связан с потерей воды (свыше 110 °С);

— вторая стадия потери массы происходит в диапазоне температур 275...565 °С и составляет 2 % от всей массы навески, со-

проводится эндо-эффектом при 512,4 °С, что связано с дегидратацией $\text{Ca}(\text{OH})_2$;

– третья стадия потери массы происходит в диапазоне температур 565...710 °С. При температуре 573,9 °С происходит фазовый α - β переход кварца. Теоретические данные α - β перехода кварца 573,2 °С, но из-за размерности частиц кварца или массы навески (очень мелкие частицы и более крупные изменяют фазовое состояние в разное время) эндопик или выглядит размытым, или не значительно сдвигается, как происходит в нашем случае. Также потере массы можно отнести к дегидратации высокоосновных гидросиликатов кальция при 600...620 °С, его площадь незначительная. При температуре 740...760 °С происходит декарбонизация CaCO_3 . Экзопик при температуре 1002,5 °С свидетельствует об аморфизации глинистых составляющих и разрушении структуры полиминерального образца. Остаточная масса образца по достижении 1000 °С составила 96,2 %.

Потеря массы руды Любавинского месторождения (рис. 1) при нагревании идёт в четыре ступени:

– первая ступень потери массы составляет 0,72 %, при нарастании температуры до 580 °С. Характеризуется двумя эндопиками 100...150 °С, что связано с потерей воды. В диапазоне температур 360...465 °С эффект связан с дегидратацией $\text{Mg}(\text{OH})_2$. Мощный эндоэффект с минимумом 574 °С отчётливо характеризует α - β переход фазового состояния кварца;

– вторая ступень потери массы составляет почти 1 % от изначального объёма навески и отмечается в диапазоне температур 580...645 °С, этот эффект можно отнести к сгоранию сульфидов. Его площадь незначительная.

– третья ступень в диапазоне температур 645...720 °С и потеря массы составляет 1,4 % от изначальной, связанная с выходом ОН-групп из слоистых силикатов;

– четвёртая ступень в диапазоне температур 720...850 °С характерна потерей массы на 2,34% и отмечена эндоэффектом при температуре 757,7 °С, что свидетельствует о разложении карбонатов.

В температурном диапазоне 850...1000 °С локализованных тепловых эффектов не наблюдается и, вероятно, происходят структурные изменения. Остаточная масса образца по достижении 1000 °С составила 97,29 %.

Термический анализ руд Тасеевского и Любавинского месторождений определил, что потеря массы идёт практически с одинаковой скоростью. Есть схожие термические эффекты, хотя их интенсивность разная.

Термограммы металлов сняты на корундовом тигле. Перед запуском температурной программы прибора было произведено вакуумирование и последующая закачка аргона в печь. На рис. 2, 3 представлены термограммы висмута и сурьмы. Температура плавления висмута – 271,4 °С, сурьмы – 630,5 °С.

Приготовленные композиционные образцы руд с металлами также исследовали методом термического анализа. Перед тем как начать нагрев (перед запуском температурной программы), произведено вакуумирование и последующее заполнение атмосферы в печи сухим аргоном, что дало эффект в виде удаления адсорбированной воды из навески образца, в процессе пробоподготовки и хранения.

Нагревание проводили до 700 °С. С внедрением висмута на термограммах мы наблюдаем (рис. 4) существенные отличия от контрольной термограммы руды (рис. 1). Наблюдаемые изначально интенсивные термические эффекты разложения глинистых, карбонатных, сульфатных и т.д. составляющих полиминеральной руды при внедрении висмута не проявляются. Не проявляется α - β переход кварца, хотя есть два близлежащих пика – 543 и 570,9 °С. Последний можно отнести к переходу фазового состояния кварца, хотя пик сдвинут от теоретического. Потеря массы с увеличением температуры не отмечается резкими ступенями. Можно отметить лишь одну ступень увеличения скорости потери массы в диапазоне температур 450...600 °С, на эту ступень приходится два ранее указанных пика. На кри-

вой ДСК проявляется небольшой эндотермический эффект плавления висмута (температура при 269,9 °С, вероятно, это термический эффект плавления висмута 271 °С).

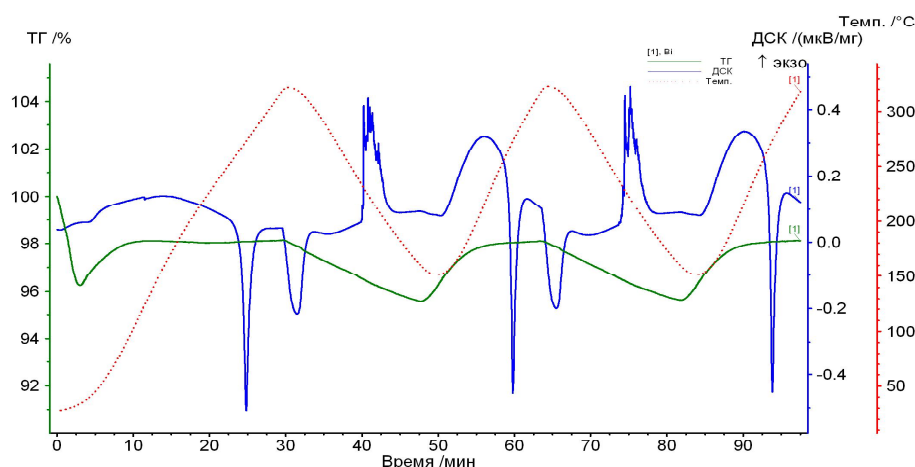


Рис. 2. Данные термического анализа контрольного образца висмута
 Fig. 2. Thermal analysis data of a control sample of bismuth

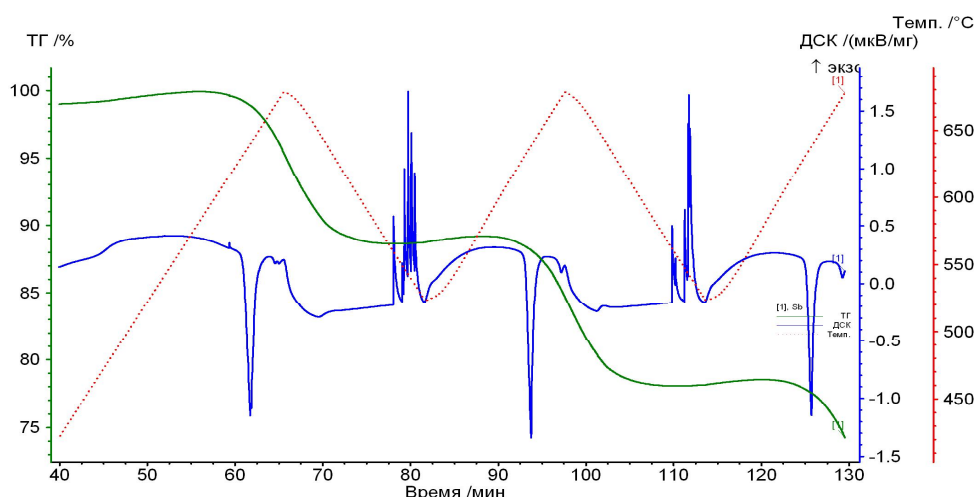


Рис. 3. Данные термического анализа контрольного образца металлической сурьмы
 Fig. 3. Thermal analysis data of a control sample of metallic antimony

С внедрением сурьмы на термограммах мы наблюдаем аналогичные, как и при истирании с висмутом отличия от контрольной термограммы руды (рис. 5). Интенсивные термические эффекты раз-

ложения составляющих полиминеральной руды при внедрении сурьмы не проявляются. На ДСК отсутствует термический эффект α - β фазового перехода кварца.

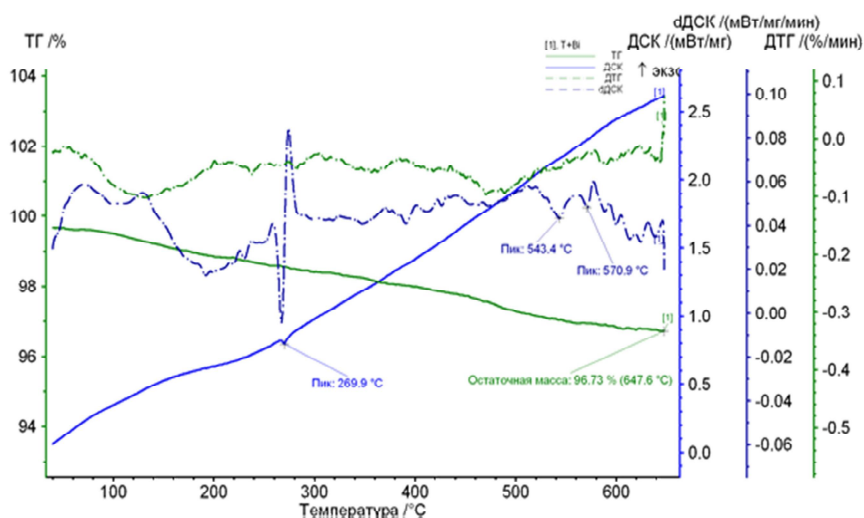


Рис. 4. Термограмма композиции Тасеевской руды истёртой с висмутом
 Fig. 4. Thermogram of the composition of Taseevskaya ore crushed with bismuth

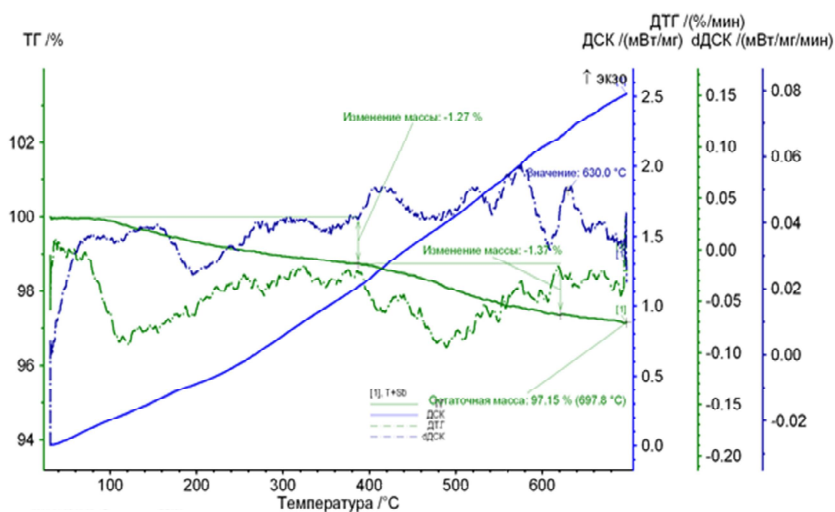


Рис. 5. Термограмма композиции Тасеевской руды истёртой с сурьмой
 Fig. 5. Thermogram of the composition of Taseevskaya ore crushed with antimony

При термическом исследовании композиции состава «руды Любавинского месторождения с висмутом» наблюдаем заметное «сглаживание» кривой ДСК (рис. 6), что наводит на размышления об образовании в этих случаях устойчивых к внешним термическим воздействиям структур композиций. Потеря массы проходит равномерно, без резких ступеней. Кривая ДСК примечательна двумя эндо эффектами: при температуре 270 °С, как мы предполагаем точка плавления висмута. При температуре 572,9 °С – α - β переход кварца.

Нагревание композиции «руды любавинской с сурьмой» проводилось до 700 °С. Аналогично предыдущим образцам, кривая ДСК не отмечается интенсивными пиками присущими составляющим полиминеральной руды (рис. 7). Хотя по сравнению с композициями металлов с рудой Тасеевской, композиции на основе Любавинской руды сохраняют чёткий термический эффект фазового перехода кварца. Такие различия структуры кварца при исследовании ИК МНПВО указанных руд нами уже были обнаружены [4].

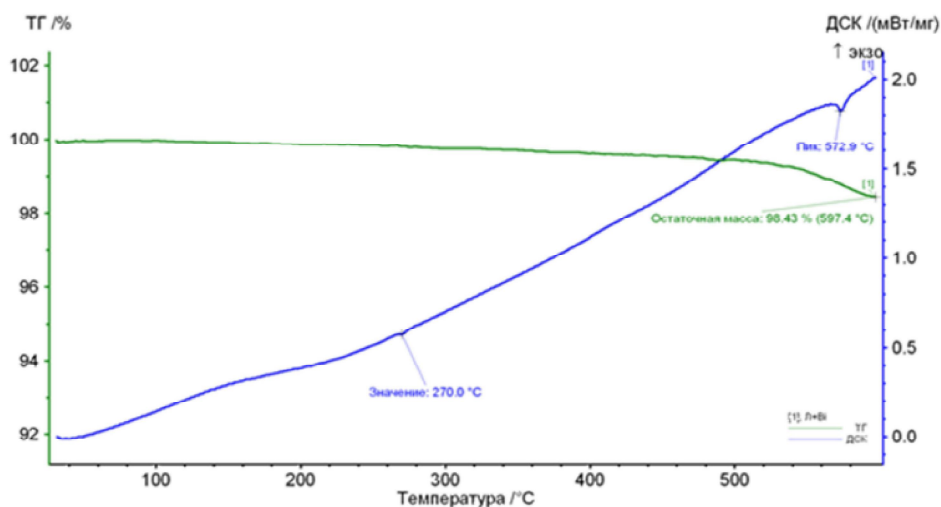


Рис. 6. Термограмма композиции Любавинской руды истёртой с висмутом
 Fig. 6. Thermogram of the composition of the Lubavin ore crushed with bismuth

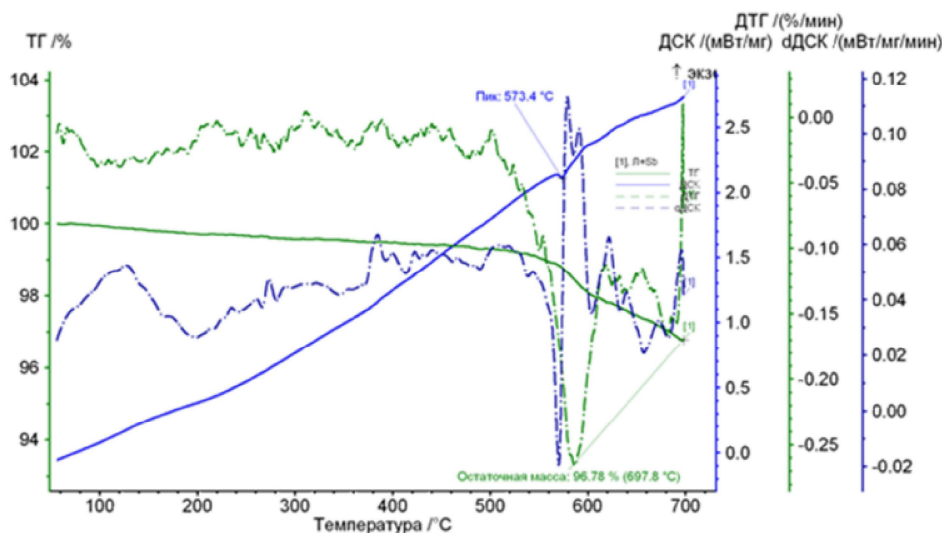


Рис. 7. Термограмма композиции руды Любавинской истёртой с сурьмой
 Fig. 7. Thermogram of the composition of Lubavinskaya ore crushed with antimony

Выводы. Выявлено влияние полуметаллов висмута и сурьмы на термические свойства руд месторождений Забайкальского края (Любавинское и Балейско-Тасеевское), а именно: наблюдаемые при термогравиметрических исследованиях образцов руды интенсивные термические эффекты разложения глинистых, карбонатных, сульфидных составляющих полиминеральных руд, чёткий пик фазового α - β перехо-

да кварца, ступенчатая потеря массы, при аналогичном исследовании образцов композиций руды с внедрёнными полуметаллами не проявляются.

Дальнейшие исследования подобных стабилизирующих эффектов оказываемых воздействием полуметаллов на руду могут позволить получить сведения о строении новых композиционных структур.

Список литературы

1. Грабов В. М., Степанов Н. П. Температурная зависимость спектров плазменного отражения кристаллов висмут-сурьма// ФТП. 2001. Т. 35. № 6. С. 734–738.
2. Степанов Н.П., Грабов В.М. Оптические свойства кристаллов висмут-сурьма, обусловленные электрон-плазмонным и плазмон-фононным взаимодействием// Известия РГПУ им. А.И.Герцена. 2004. Т. 4. № 8. С. 52.
3. Топор Н.Д., Огородова Л.П., Мельчакова Л.В. Термический анализ минералов и неорганических. М.: МГУ, 1987. 190с.
4. Юргенсон Г.А., Лимберова В.В., Миронова Е.В. Строение и рудноформационная принадлежность жильного кварца на ИК-спектрах методом многократного нарушенного полного внутреннего отражения// Вестник ЗабГУ. 2012. № 10 (89). С. 36–42.

References

1. Grabov V. M., Stepanov N. P. *FTP (FTP)*, 2001, vol. 35, no. 6, pp. 734–738.
2. Stepanov N.P., Grabov V.M. *Izvestiya RGPU im. A.I. Gertsena* (News of the RSPU named after A. I. Herzen), 2004, vol. 4, no. 8, p. 52.
3. Topor N.D., Ogorodova L.P., Melchakova L.V. *Termicheskiy analiz mineralov i neorganicheskikh* (Thermal analysis of minerals and inorganic). Moscow: MGU, 1987. 190 p.
4. Yurgenson G.A., Limberova V.V., Mironova E.V. *Vestn. Zab. Gos. Univ.* (Transbaikal State University Journal), 2012, no. 10 (89), pp. 36–42.

Коротко об авторах

Миронова Елена Владимировна, ассистент кафедры «Химия», Забайкальский государственный университет, г. Чита, Россия. Область научных интересов: изучение свойств природных минералов золотосодержащих месторождений, внедрение в кристаллическую структуру минерала химических элементов, полимера с целью придания композиции на основе минерала полезных свойств
Mironova20-11@mail.ru

Юргенсон Георгий Александрович, д-р геол.-минерал. наук зав. лабораторией геохимии и рудогенеза, Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, заслуженный деятель науки РФ, профессор кафедры «Химия», Забайкальский государственный университет, г. Чита, Россия. Область научных интересов: геология рудных месторождений, геохимия, минералогия, включая типоморфизм минералов и современное минералообразование, литология, георхеология, включая археоминералогию, геммология, органическая минералогия, геохимия ландшафта, геоэкология, геоэтика.
yurgga@mail.ru

Лимберова Валентина Васильевна, канд.хим. наук, доцент кафедры «Химия», Забайкальский государственный университет, г. Чита, Россия. Область научных интересов: исследование свойств поверхности твердых тел, изучение природных минералов угольных месторождений Забайкалья, создание и изучение модифицированных полуметаллами молекулярных структур на базе многокомпонентных природных минералов, фазовые размерные эффекты
limberovavv@gmail.com

Филленко Роман Андреевич, мл. научный сотрудник лаборатории геохимии и рудогенеза, Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, г. Чита, Россия. Область научных интересов: минералогия гранитных пегматитов, современное минералообразование, подземные пожары на угольных месторождениях, применение термоанализа в минералогических исследованиях, водоразделы и стыки бассейнов
filrom@yandex.ru

Briefly about the authors

Elena Mironova, assistant, Chemistry department, Transbaikal State University, Chita, Russia. Sphere of scientific interests: study of the properties of natural minerals of gold-bearing deposits, introduction of chemical elements into the crystalline structure of a mineral, polymer with the aim of imparting a composition based on mineral useful properties

Georgiy Yurgenson, doctor of geological and mineralogical sciences, head of the Laboratory of Geochemistry and Ore Genesis of the Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology of the Russian Academy of Science, honored scientist of the Russian Federation, professor, Chemistry department, Transbaikal State University, Chita, Russia. Sphere of scientific inter-

ests: geology of ore deposits, geochemistry, mineralogy, including typomorphism of minerals and modern mineral formation, lithology, geoarchaeology, including archeology, gemology, organic mineralogy, geochemistry of the landscape, geocology, geoethics

Valentina Limberova, candidate of chemical sciences, associate professor, Chemistry department, Transbaikal State University, Chita, Russia. Sphere of scientific interests: study of the properties of solids' surface, natural minerals of coal deposits in Transbaikalia, creation and study of semimetal modified molecular structures based on multicomponent natural minerals, phase dimensional effects

Roman Filenko, junior researcher, Laboratory of Geochemistry and Ore-genesis of Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology of the Siberian Branch of the Russian Academy of Science, Chita, Russia. Sphere of scientific interests: mineralogy of granite pegmatites, modern mineral formation, underground fires in coal deposits, application of thermal analysis in mineralogical studies, watersheds and joints of basins

Образец цитирования

Миронова Е. В., Юргенсон Г. А., Лимберова В. В., Филенко Р. А. Влияние висмута и сурьмы на термические свойства руд месторождений золота Забайкальского края // Вестн. Забайкал. гос. ун-та. 2017. Т. 23. № 6. С. 20–30. DOI: 10.21209/2227-9245-2017-23-6-20-30.

Mironova E., Jurgenson G., Limberova V., Filenko R. The influence of bismuth and antimony on thermal properties of ores of gold deposits of the Transbaikal region // Transbaikal State University Journal, 2017, vol. 23, no. 6, pp.20–30. DOI: 10.21209/2227-9245-2017-23-6-20-30.

Дата поступления статьи: 22.06.2017 г.
Дата опубликования статьи: 30.06.2017 г.

