

МИНЕРАЛЬНАЯ АССОЦИАЦИЯ В ГИДРОГЕННОМ ОСАДКЕ ДРЕНАЖНЫХ ВОД МЕСТОРОЖДЕНИЯ ВОЛЬФРАМА АНТОНОВА ГОРА (ВОСТОЧНОЕ ЗАБАЙКАЛЬЕ)

© 2009 г. Г. А. Юргенсон*, Л. В. Замана*, Е. Н. Котова**

**Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН
672014, г. Чита, ул. Недорезова, 16а
E-mail: inrec.sbras@mail.ru*

***Институт геологии Коми НЦ УрО РАН
167982, г. Сыктывкар, ул. Первомайская, 54
E-mail: ehkotova@geo.komisc.ru*

Поступила в редакцию 26.09.2008 г.

В минеральном осадке кислых дренажных вод штольни на вольфрамовом месторождении Антонова гора (бассейн р. Онон, Верхнее Приамурье) найдены тонковолокнистые белые микроагрегаты существенно кремнезёмного состава в виде пластинчатых блоков толщиной до 0.04 мм с волокнами до 0.06 мм в длину при толщине до 0.004 мм, составляющие около 90% объёма осадка. Агрегат имеет мозаичное погасание при очень низком (0.001–0.003) двупреломлении, N_m – в пределах 1.482–1.486 (± 0.003) и 1.497–1.500 (± 0.003). По данным ИКС минеральные образования характеризуются спектром пропускания кремнезёма, содержащим широкую полосу поглощения воды с максимумом 3435 см⁻¹. Вещество является предположительно неупорядоченным аналогом полимеризованной кремнекислоты, содержащей ОН_x-группировки, начальные фазы формирования структуры тридимита и рентгеноаморфных карбонатных структур, содержащих Al, K, Na, Ca и Mg в ассоциации с микрокристаллами тонкостолбчатого гейландита.

Ключевые слова: дренажный сток, минеральный осадок, неупорядоченный тридимитоподобный кремнезём, гейландит, ОН_x-группировки.

ВВЕДЕНИЕ

В связи с деятельностью рудников, сопровождающейся нарушением естественной циркуляции подземных вод, на дневную поверхность истекает их большое количество. Эти воды, как правило, обогащенные химическими элементами, входящими в состав руд и окорудно-измененных горных пород [4, 9, 14], могут быть источниками отложения минерального вещества на различных геохимических барьерах. Исследование этого, пока еще слабо изученного, вещества интересно как для минералогии геотехногенеза, включая гидрогенное рудообразование, так и для экологии.

Забайкалье с его трехвековой историей добычи руд различного состава представляет большие возможности для таких исследований. Несмотря на прекращение в конце прошлого века деятельности большинства рудников, объем и состав подземных вод, дренируемых горными выработками, остались на прежнем уровне. Например, на территории бывшего Джидинского ГОКа дренажные воды Первомайского карьера и откаточных штолен рудника Холтосон содержат (в мг/л): сульфат-ион до 2458, Fe – 7.7, Cd – 2.36, Cu – 38.57, Ni – 0.56, Zn – 64.43 [9].

В штольневых водах Бом-Горхонского месторождения вольфрама (Западное Забайкалье) отмеча-

лись высокие концентрации фтора (до 13.8 мг/л) и цинка (до 1.7 мг/л). В водах Букукинского месторождения вольфрама, выведенного из эксплуатации более 40 лет назад, максимальные концентрации металлов и фтора достигали десятков и сотен мг/л: Al – 106.5, Zn – 86.2, Fe – 75.9, Cu – 16.9, Mn – 10.8, Pb – 3.15, Cd – 1.1, F – 131.5. При этом наиболее высокие содержания за 20-летний период нерегулярных наблюдений установлены в 2003 г. [14]. Такие концентрации рудных и петрогенных элементов на 2–3 порядка превышают фоновые значения для вод зоны гипергенеза.

В водном потоке на месторождении вольфрама Антонова гора при гидрогеохимическом опробовании одним из авторов в 2003 г. были обнаружены минеральные новообразования, имевшие очевидную генетическую связь с дренажным стоком штольни [4]. Как будет показано ниже, основная масса осадка представлена кремнеземом.

Минеральные формы ассоциирующих скрытокристаллических и аморфных кремнеземов относительно хорошо изучены рентгеновскими и ИК-спектrophотометрическими методами [5–8, 10–13 и др.]. Известны гипергенные образования, относимые к α -тридимиту в некоторых опалах Мексики, в кахолонгах из Исландии и Австрии, в продуктах выветривания трахитов в Забайкалье [6]. Но они

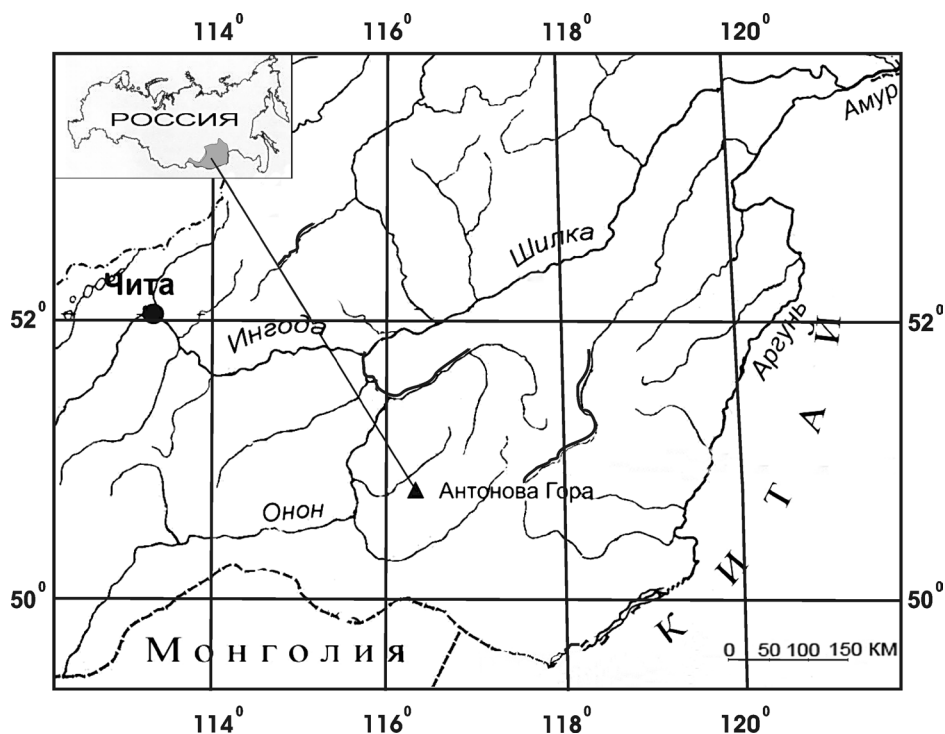


Рис. 1. Местоположение объекта исследований.

детально не изучены. Исследование подобных минеральных отложений раскрывает одну из сторон многообразия современного гидрогенного минералообразования в зоне гипергенеза.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Макроморфологические особенности минеральных новообразований определены прямыми наблюдениями и с использованием бинокулярного микроскопа МБС-2. Исследование микроморфологии и химического состава отдельных фаз выполнено с помощью сканирующего электронного микроскопа JEOL JSM-640 с энергодисперсионной приставкой Link ISIS-200. Оптические свойства измерены на поляризационном микроскопе ORTOLUX фирмы Leitz в прозрачных шлифах и иммерсионных препаратах с контролем показателей преломления жидкостей на рефрактометре ИРФ-22.

Химический состав осадка определен силикатным анализом в Геологическом институте СО РАН, а также методом РФА на спектрометре Horiba ME-SA-500W в Институте геологии Коми НЦ УрО РАН. В этом же институте выполнен комплекс других инструментальных исследований, в частности, рентгеноструктурный анализ на порошковом дифрактометре ДРОН-2 (медный антикатод, ток – 20 мА, напряжение – 30 кВ, фильтр – Ni, излучение K_{α} , скорость съёмки 2 град/мин); термический анализ – на установке DTG-60 (Shimadzu) в диапазоне температур 20–1000°C. В связи с тем, что в результате проведения термического анализа образовался образец,

прогретый до 1000°C, на ИК-спектрофотометре Specord M80 в диапазоне 400–1600 см^{-1} для исходного и прогретого образцов сняты ИК-спектры, дополнившие ИК-спектрофотометрические данные очищенного исходного образца, полученные ранее в лаборатории криминалистики УВД по Читинской области (аналитик Б.Н. Намдаков) на Фурье-спектрометре в диапазоне 400–4000 см^{-1} . Гидрохимические исследования проведены стандартными методами в химической лаборатории ИПРЭК СО РАН.

УСЛОВИЯ НАХОЖДЕНИЯ

Атоновогорское жильное месторождение (бассейн р. Онон, Верхнее Приамурье, рис. 1) относится к кварц-вольфрамитовому минеральному типу грейзеновой формации [2, 12]. Главными рудными минералами его руд являются вольфрамит и пирит. Присутствуют также халькопирит, висмутин, шеелит, флюорит и другие минералы. Сульфидно-вольфрамит-кварцевые жильные тела залегают в мусковитизированных и грейзенизированных гранитах, прорывающих песчанико-сланцевую толщу средней юры. Месторождение законсервировано. До 1962 г. разрабатывалось штольневый способом. Штольня имеет постоянный дренажный сток с расходом до 1–2 л/с. Зимой он формирует наледь, стаивающую к началу-середине лета. Поверхностный сток в маловодные периоды существует только вблизи штольни, теряясь в наносах размывов отвалов и хвостохранилища.

Таблица 1. Химический состав (мг/л) и pH дренажных вод месторождения Антонова гора по данным опробования в июле 2003 г.

Компонент	Пробы			Компонент	Пробы		
	АГ-1	АГ-2	АГ-3		АГ-1	АГ-2	АГ-3
pH	4.08	3.77	3.75	Si	9.5	5.5	5.8
CO ₂	121.4	94.8	95.7	P _{мин}	0.03	0.027	0.029
HCO ₃ ⁻	2.4	3.6	1.2	Al	16.0	11.2	12.1
SO ₄ ²⁻	210.0	200.0	200.0	Fe	0.2	1.0	0.99
Cl ⁻	0.56	1.12	0.40	Mn	1.03	0.99	1.02
F _{вал}	23.9	15.8	16.6	Cu	1.25	0.91	1.02
Ca ²⁺	68.0	66.6	59.0	Zn	5.52	3.9	4.31
Mg ²⁺	14.2	10.9	11.3	Ni	0.03	0.03	0.01
Na ⁺	4.2	2.9	3.1	Co	0.007	0.02	0.02
K ⁺	2.8	2.1	2.2	Pb	0.003	0.08	0.09
Sr ²⁺	0.09	0.09	0.1	Cd	0.1	0.07	0.08

Примечания. Проба АГ-1 – устье штольни, АГ-2 – в 60 м и АГ-3 – в 100 м ниже по потоку. Химики-аналитики С.В. Борзенко, О.В. Глушенкова, Т.Г. Смирнова, ИПРЭК СО РАН.

Дренажные воды имеют кислый характер (pH 3.75–4.08), что определяется присутствием в рудах и вмещающих породах сульфидов, особенно пирита, окисление которых приводит к преобладанию сульфатов в анионном составе, а также повышенному содержанию металлов и фтора (табл. 1).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Новообразования имеют рыхлое сложение, очень легкие, хрупкие, от слабого нажатия при сборе рассыпаются, цвет их светло-серый, под водой – синевато-серый. В дистиллированной воде они практически нерастворимы, в HCl растворимы слабо, при этом раствор приобретает желтоватый оттенок, что связано, вероятно, с присутствием в нем Fe³⁺.

Исследования под бинокуляр и в иммерсионных жидкостях (просмотрено 23 препарата) показали, что осадки в основной массе состоят из тонковолокнистых микроагрегатов снежно-белого минерала и содержат примеси растительного детрита, частиц обугленной древесины и других мелких включений, а также аутигенных и обломочных минералов. Среди них в иммерсионных препаратах выявлены единичные чешуи величиной до 0.08 мм предположительно ферримонтмориллонита ($Nm = 1.534 \pm 0.001$, двупреломление до 0.02, окраска желтая), возможно, другие смектиты ($Nm = 1.514 \pm 0.001$, двупреломление до 0.016, окраска почти белая). Присутствуют также обрывки гидрослюды ($Nm = 1.542$ – 1.551 , бледно-желтые, слабо плеохроирующие с характерной неровной интерференционной окраской, размеры рваных чешуй 0.06–0.07 мм). Установлены зерна красно-бурого лепидокрокита, а также лейкоксен. На фоне ксеноморфной основной массы выделяются единичные микрокристаллики кварца ($Ne = 1.553 \pm 0.001$, $No = 1.544 \pm 0.001$), флюорита ($N = 1.435 \pm 0.001$), единичные округлые индивиды и сростки карбонат-гидроксилапатита, отличающиеся относительно высоким рельефом ($Ne = 1.598 \pm 0.001$, $No = 1.603 \pm 0.001$).

В шести из 23 просмотренных иммерсионных препаратов в отдельных их фрагментах основная спутано-волокнуто-пластинчатая почти изотропная масса по периферии пластинчатых блоков переходит в агрегаты в форме микроглобуль, по краям которых развиты тонкоиглольчатые кристаллы до 0.08 мм по оси *c* и 0.004 мм по оси *a*. Предположительно они относятся к гейландиту ($cNg = 0$, $Ng = 1.505 \pm 0.003$). Общее содержание глобуль не более 5–6%. Общее количество диагностированных минеральных примесей не более 15%.

Основная масса осадка, составляющего до 85% его объема в основном сложена пластинчатыми блоками толщиной до 0.04 мм. В иммерсионных препаратах видно, что они состоят из тонковолокнистых агрегатов белого минерала. Микроволокна имеют длину до 0.06 мм при толщине до 0.004 мм. Весь агрегат имеет мозаичное погасание при низком (0.001–0.003) двупреломлении с интерференционной окраской от темно-серого, почти черного до едва заметного аномального грязно-коричневого цвета. Nm изменяется в пределах от 1.482 ± 0.003 до 1.486 ± 0.003 . Эти показатели преломления указывают на присутствие в изучаемом осадке фазы почти изотропного тридимитоподобного материала. Кроме того, присутствует материал с Nm в пределах 1.497–1.500 (± 0.003). Типичный опал по данным иммерсионных исследований не обнаружен: все изученные изотропные фазы, за исключением флюорита, имеют N более 1.460, т.е. выше, чем у опала.

На снимках различных частей образца, полученных с помощью электронного микроскопа, наблюдалась рыхлая, комковидная структура без явных кристаллических очертаний и участков с кристаллоподобными волокнуто-пластинчатыми субиндивидами. Состав комковидного материала по данным ZAF стехиометрии (рис. 2) в расчете на соотношения окислов, следующий (%): Al₂O₃ – 1.97; SiO₂ – 60.28; CaO – 0.25; Fe₂O₃ – 0.39 (сумма 62.88). Остальное должно приходиться на OH_x-группировки, щелочи, фтор и серу. Волокнуто-пластинчатые агрегаты

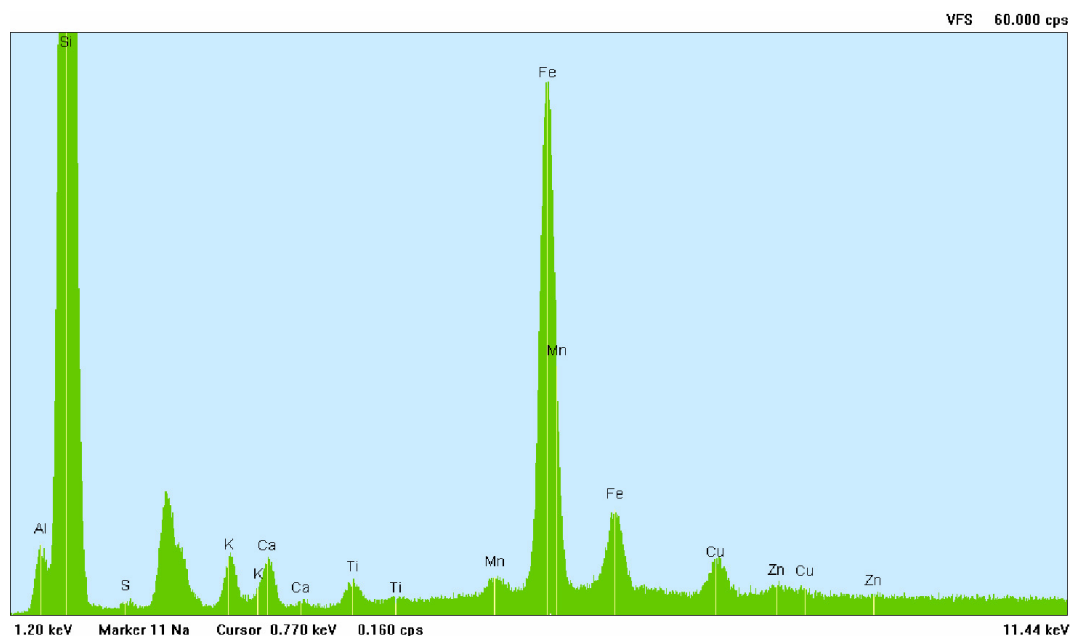


Рис. 2. Рентгенфлуоресцентный спектр образца общей пробы. Лаборатория ИГ Коми УрО РАН, аналитик С.Т. Неверов.

(рис. 3) имеют существенный состав, прежде всего по алюминию и кремнию (%): Al_2O_3 – 4.61, SiO_2 – 71.39. Содержание Ca уменьшается (0.09%), а оксида железа – практически остается неизменным (0.41%). Сумма без учета OH -группировок и других компонентов равна 76.0%.

Химический анализ образца АГ-1 (аналитики Э.М. Татьянакина, И.В. Боржонова, И.В. Бардамо-

ва), представляющего собою общую пробу изучаемого осадка, дал следующий его состав (%): SiO_2 – 68.90, TiO_2 – 0.09, Al_2O_3 – 5.65, Fe_2O_3 – 1.88, MnO – 0.04, MgO – 0.40, CaO – 0.46, Na_2O – 0.25, K_2O – 0.46, P_2O_5 – 0.12, F – 0.34, Cu – 0.14, Zn – 0.033, Sr – 0.0047, Pb – 0.02, п.п.п. – 20.90, сумма – 99.67. По данным РФА другой пробы того же образца в его составе без учета потерь при прокаливании

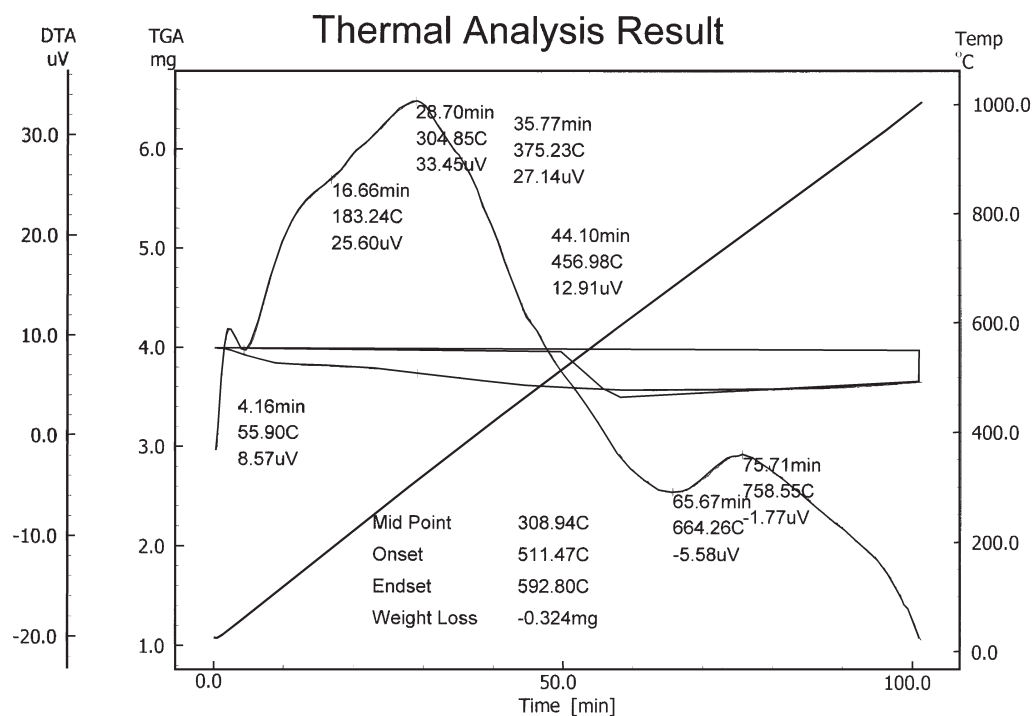


Рис. 3. Термограмма общей пробы. Кривые: ДТА(DTA)–нагревания, ТГА(TGA)–потери массы. Лаборатория ИГ Коми НЦ УрО РАН, аналитик Г.Н. Модянова.

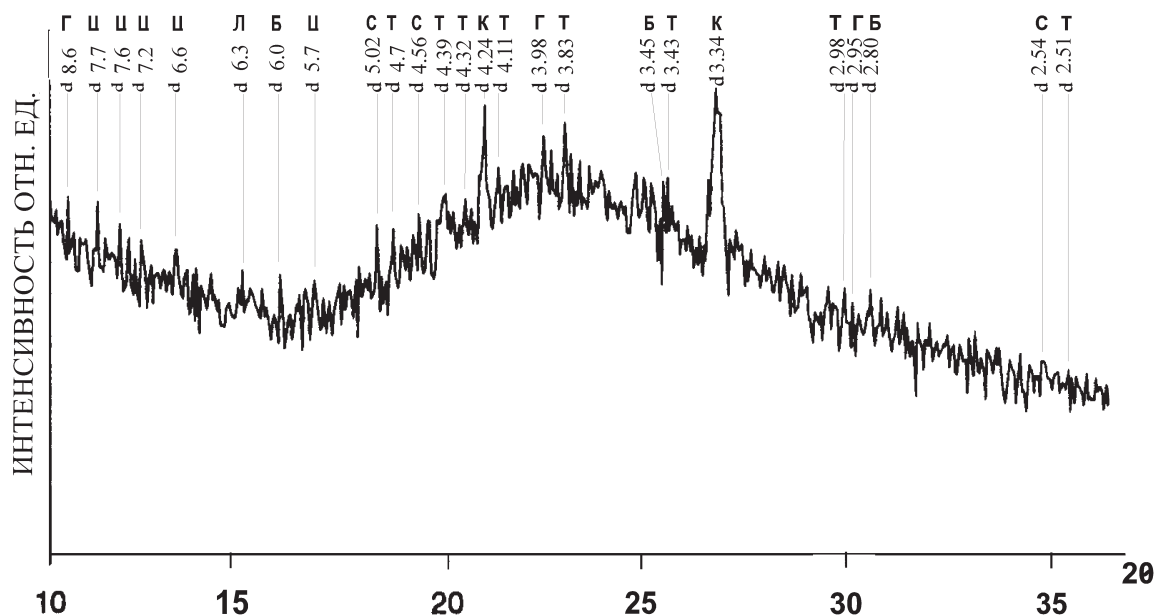


Рис. 4. Фрагмент рентгеновской дифрактограммы образца общей пробы. Расшифровка положения пиков с указанием d/n в ангстремах и соответствующего минерала: Б – бассанит, Г – гейландит, И – иллит, К – α-кварц, Л – лепидокрокит, С – смектит, Т – тридимит, Ц – ближе неопределенный цеолит. Лаборатория ИГ Коми НЦ УрО РАН, аналитик Г.Н. Каблис.

обнаружены (%): SiO_2 – 93.19, Al_2O_3 – 4.62, Fe_2O_3 – 1.29, K_2O – 0.33, CaO – 0.28, TiO_2 – 0.11, CuO – 0.06, S – 0.05, MnO – 0.04, ZnO – 0.02. Сумма 99.99%. Рентгенфлюоресцентный спектр этой пробы представлен на рис. 2.

С учетом потери веса в 7%, полученной методом DTG (рис. 3), эта же проба имела состав (%): SiO_2 – 86.81, Al_2O_3 – 4.16, Fe_2O_3 – 1.19, K_2O – 0.31, CaO – 0.26, TiO_2 – 0.10, CuO – 0.06, S – 0.05, MnO – 0.04, ZnO – 0.02, H_2O – 7. Сумма 100%.

По результатам рентгенодифракционного анализа порошкового препарата, основная масса его рентгеноаморфна, зафиксированы два четких пика в интервале $2\theta = 20\text{--}30^\circ$, связанных с наличием в пробе небольшого количества кристаллического α-кварца (рис. 4). Тем не менее, анализ полученной дифрактограммы с учетом установленных другими методами минеральных фаз показал следующее. По двум отчетливым пикам с d/n 4.23 и 3.33 Å фиксируется α-кварц. С определенной мерой условности установлен неупорядоченный тридимит, подтверждается присутствие гейландита и в небольших количествах других, ближе не установленных цеолитов, присутствие смектитов и иллита, а также лепидокрокита (d/n 6.3 Å). Отражения с d/n 6.0; 3.45; 2.99 и 2.8 Å, типичны для бассанита, с которым, вероятно, и связано присутствие серы и части кальция.

Очищенная тонковолокнистая масса осадка характеризуется четким ИК-спектром пропускания кремнезема (полосы поглощения 1085, 800, 700, 575, 471 см^{-1} , дробные числа положения полос поглощения округлены до целых), содержащим полосы поглощения OH_x -группировок с максимумами

деформационных (1633 см^{-1}) и валентных (3435 см^{-1} в области 3240–3520 см^{-1}) колебаний воды. В ИК-спектре изучаемого исходного осадка, записанном на спектрофотометре Specord M80, в области 400–1600 см^{-1} (рис. 5), присутствуют практически те же полосы поглощения: 1080 см^{-1} , 800 см^{-1} , 694 см^{-1} и 468 см^{-1} .

Особенностью этих двух ИК-спектров является: 1) присутствие небольшого четкого пика при 694 см^{-1} на рис. 5, однозначно указывающего на незначительное количество фазы α-кварца; 2) полоса 575 (560–580) см^{-1} , характерная для диатомита и тридимита, некоторых кремней; 3) отсутствие расщепленности пика при 800 см^{-1} , характерной для структурно совершенного кварца; 4) перегиб в области 950 см^{-1} , исчезнувший в отожженном при 1000°C материале; 5) четкая асимметрия полосы с максимумами 1085 см^{-1} и 1080 см^{-1} (рис. 5). Оба спектра полосой поглощения 575 см^{-1} отличаются от ИК-спектра кристобалит-тридимитовых опалов [5], но близки к ИК-спектрам опалов, в которых по данным рентгено-структурного анализа нередко присутствует структура тридимитового сочленения кремнекислородных тетраэдров [10]. Перегиб (плечо) в области 950 см^{-1} , исчезнувший при нагревании, однозначно свидетельствует о вхождении в изучаемый существенно кремнезёмный материал Si-OH_x -группировок. Присутствие их определяется потерей веса в интервале 55.9–592.8°C. Нерасщепленность и уширение полос поглощения 1000–1200 см^{-1} и 3400 см^{-1} на ИК-спектрах также указывает на присутствие неупорядоченных фаз кремнезема, содержащих OH_x -группировки.

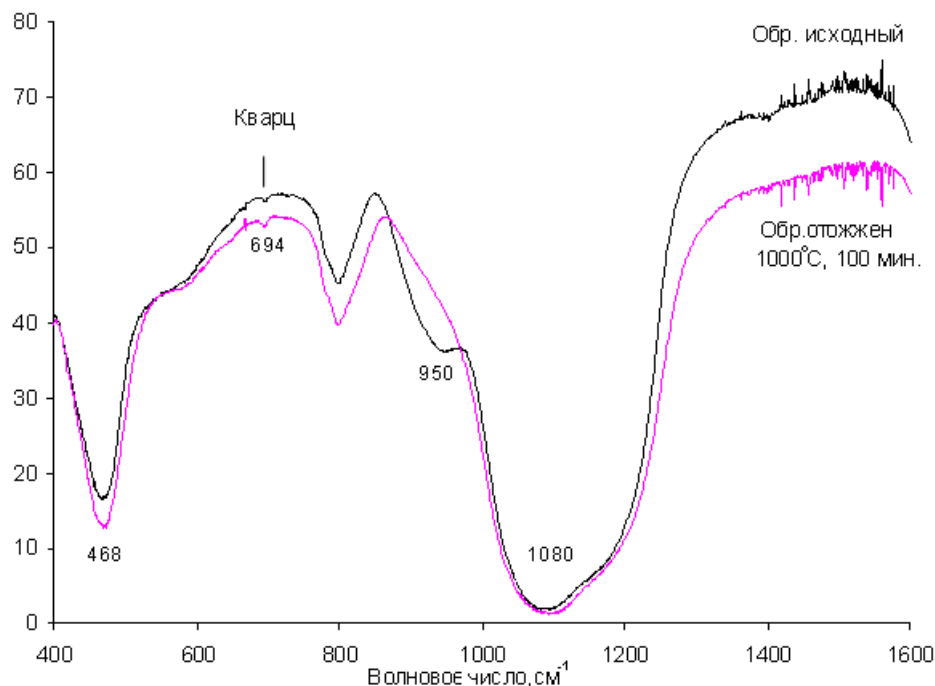


Рис. 5. ИК-спектры исходного и отожженного образцов общей пробы. Specord M80. Лаборатория ИГ Коми УрО РАН, аналитик М.Ф. Самотолкова.

Термический анализ в диапазоне температур 20–1000°C показал, что на интервал 20–550°C приходится основная потеря веса вещества в количестве приблизительно 7%, которая сопровождается растянутым нечетким экзотермическим эффектом с максимумом при 304°C. При 664°C наблюдается максимум эндоэффекта.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Из литературы [6–8, 11–13 и др.] известно, что ИК-спектры кварца, кристобалита, тридимита, аморфного стекловидного кремнезема, опала сходны между собой и наиболее интенсивные полосы поглощения находятся в области 1170–1093 см^{-1} . Меньшей интенсивности четкая полоса поглощения в ИК-спектрах этих минералов соответствует примерно 800 см^{-1} (область поглощения 830–750 см^{-1}), а широкая – находится в области 519–465 см^{-1} . ИК-спектр α -кварца отличается от спектров других природных кремнезёмов расщепленностью полосы поглощения 800 см^{-1} на пики в области 799–778 см^{-1} (часто 805 и 785 см^{-1}) и присутствием полосы 693 см^{-1} . Полоса поглощения в области 1170–1093 см^{-1} также может быть расщеплена на два пика: 1170 и 1167 см^{-1} [6–8], кроме того, отсутствует полоса поглощения в области 560–580 см^{-1} , характерная для тридимита и аморфного кремнезема (опалов различного генезиса, содержащих тридимитовый компонент [10]). Наиболее важным отличием ИК-спектра тридимита от кварца и кристобалита является присутствие полосы погло-

щения в области 560–580 см^{-1} (чаще 568 см^{-1}), а α -кристобалита от всех других модификаций кремнезема – наличие полос поглощения в области 1200 и 625 см^{-1} [7, 8].

Поскольку ИК-спектры и оптические свойства главной части рассматриваемого вещества в основном соответствуют известным модификациям кремнезема (α -кварца, α -тридимита), а в его составе присутствуют нетипичные для них высокие примеси алюминия, щелочных и щелочноземельных металлов, следует, вероятно, считать, что наряду с указанными модификациями кремнезема в гидрогенном осадке присутствует смесь водного и неупорядоченного аналога полимеризованной кремнекислоты, содержащей OH_x -группировки, начальные фазы формирования структуры кремнезема с мотивом структуры тридимита и неупорядоченных рентгеноаморфных каркасных структур цеолитов, содержащих **Al, K, Na, Ca и Mg**. Термограмма вещества не типична для α -кварца, так как не содержит эндоэффекта в области 570°C, связанного с фазовым переходом α -кварца в β -кварц [11]. Причиной этого может быть также и незначительное содержание кварца, не отражающееся на термограмме. Экзоэффект в области 55.9–550°C с максимумом при 304°C и перегибом при 183°C и 375°C, сопровождающийся основной потерей веса, связан, вероятно, с дегидратацией и перекристаллизацией аморфного кремнезема, происходящей с выделением тепла при повышении температуры до 163°C и более [6]. Этот процесс и эндоэффект при 664°C не дают оснований для связи их с пре-

образованиями опала. Весовые отношения Si/Al в осадке, соответственно, равны 10.8 и 15.7, тогда как в наиболее распространенных силикатных и алюмосиликатных минералах зоны гипергенеза (каолинит, смектиты, гидрослюда и др.) не поднимаются выше 2.6. Такие соотношения возможны только при наличии неупорядоченных самостоятельных фаз SiO₂, ассоциирующих с отмеченными выше алюмосиликатами, что и подтверждается данными оптических исследований, ИК-спектrophотометрии и рентгеноструктурного анализа.

Рассматриваемые дренажные воды по содержанию кремния равновесны с кварцем, насыщение по которому в стандартных условиях наступает при концентрации Si в 3.7 мг/л. Для выпадения каолинита и слоистых алюмосиликатов равновесная концентрация кремния еще ниже – около 1.0 мг/л. При этом отношение Al/Si в таких гидрогеохимических системах меньше 0.1. Воды горно-таежных ландшафтов, характеризующиеся средними концентрациями Al и Si соответственно 0.34 и 7.57 мг/л [3], термодинамически равновесны со слоистыми алюмосиликатами, при этом отношение Al/Si в них равно 0.045. В дренажных водах это отношение составляло 1.68–2.04. Следовало ожидать, что алюмосиликаты будут преобладать в составе выпавших осадков. Однако основная минеральная фаза их представлена кремнеземом. Это связано, скорее всего, с кислым характером вод и нахождением алюминия в воде в форме комплексных соединений с фтором, которые не успевают разрушиться за время движения воды. В быстродвижущемся потоке термодинамическое равновесие не наступает: фактическое содержание фтора в осадке не превышает 0.34%.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выявлено образование необычной твердой фазы неупорядоченного кремнезема из относительно слабо минерализованной кислой фтористо-сульфатной магниевко-кальциевой холодноводной системы. Такие воды, в отличие от натриевых аналогичного анионного состава, растворяют кремнекислоту в значительно меньших количествах [1], что является одной из причин относительно низкого её содержания в изученном дренажном стоке. Последняя в кислой среде находится в недиссоциированной высокополимеризованной и коллоидной формах [1].

Одной из причин образования в основном не кварца (некоторое его количество присутствует), а другой фазы кремнезема, является, по-видимому, кислая среда в дренажном стоке (pH = 3.75–4.08), так как кварц образуется из растворов с pH не ниже 4–4.5 [1]. Другая причина кроется в относительно высокой скорости выпадения осадка кремнезема, находящегося в недиссоциированной и коллоидной формах, при выходе воды на дневную поверхность

у устья штольни. Низкая температура, кислая среда, низкое давление предопределили вероятность образования кремнезема с α-тридимитовым мотивом структуры дальнего порядка.

Цеолиты и смешанно-слоистые силикаты образуются, вероятно, за счет примеси алюминия, который освобождается при разрушении алюмофторидных комплексов и вместе с содержащимися в растворе в виде простых ионов щелочными и щелочноземельными элементами взаимодействует с кремнеземом по мере выпадения и самоорганизации осадка в процессе его старения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Балицкий В.С. Экспериментальное изучение процессов хрусталеобразования. М.: Недра, 1978. 144 с.
2. Барабанов В.Ф. Минералогия вольфрамитовых месторождений Забайкалья. Л.: ЛГУ, 1975. 360 с.
3. Замана Л.В., Букаты М.Б. Формы миграции фтора в кислых дренажных водах вольфрамовых месторождений Восточного Забайкалья // Докл. АН. 2004. Т. 396. № 2. С. 235–238.
4. Замана Л.В., Юргенсон Г.А., Котова Е.Н. Кремнезем неупорядоченной структуры из дренажных вод месторождения вольфрама Антонова Гора (Восточное Забайкалье) // Докл. АН. 2005. Т. 404. № 6. С. 814–816.
5. Лютоев В.П. Структура и спектроскопия халцедона. Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 2004. 116 с.
6. Минералы. Справочник. Т. 2. Вып. 2. Простые окислы. М.: Наука, 1965. 342 с.
7. Плюснина И.И. Метаморфические реакции низкотемпературного кремнезема в земной коре. М.: Изд-во МГУ, 1983. 225 с.
8. Плюснина И.И., Малеев М.Н., Ефимова Г.А. Исследование скрытокристаллических разновидностей кремнезема методами ИК-спектроскопии // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1970. № 9. С. 78–83.
9. Смирнова О.К., Ходанович П.Ю. Экологические проблемы Джидинского горнорудного района // Проблемы геологической и минерагенической корреляции в сопредельных территориях России, Китая и Монголии: Тр. VI междунар. симпоз. и Чтений памяти акад. С.С. Смирнова. Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2005. С. 34–38.
10. Тишкина В.Б. Генезис благородного опала в вулканиках Серебрянской свиты (Приморский край). Автореф. дис... канд. геол.-мин. наук. Владивосток, 2006. 24 с.
11. Юргенсон Г.А. Типоморфизм и рудоносность жильного кварца. М.: Недра, 1984. 147 с.
12. Юргенсон Г.А. Типоморфизм и рудные формации. Новосибирск: Наука, 2003. 368 с.
13. Kats A. Hydrogen in alpha-quartz // Phillips Res. Reports, 1962. V. 17. № 1-2. P. 133–195; № 3. P. 201–279.
14. Zamana L.V., Chechel L.P. Technogenic hydrogeochemical anomalies of tungsten deposits in Kukulbey ore region // J. Geosc. Res. NE Asia. 2003. 7(1). P. 52–57.

Рецензент Д.А. Клейменов

Mineral association in drainage water sediment of Antonova Gora tungsten deposit (East Transbaikal)

G. A. Yurgenson*, L. V. Zamana*, E. N. Kotova**

* *Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology, Siberian Branch of RAS*

** *Institute of Geology, Komi Science Centre Urals Branch of RAS*

The siliceous fine-filament white micro-units in form of lamellar blocks with thickness up to 0.04 mm consist of fibers about 0.06 mm long and 0.004 mm thick were found in the mineral sediment of the adit acid drainage waters of Antonova Gora tungsten deposit (basin of the Onon river, Upper Amur). Micro-units account for about 90% of the mineral sediment volume. The unit has mosaic extinction at very low (0.001–0.003) double-refraction, N_m is in the limits of 1.482–1.486 (± 0.003) and 1.497–1.500 (± 0.003). The mineral formations are characterized according to IRS by silica passing spectrum, containing wide absorption band of water with maximum of 3435 cm^{-1} . Tehtatively the material is a disorder analog of polymerized silicic acid, containing OH_x -groupings, initial phases of tridymite structure and roentgen-amorphous frame structures with Al, K, Na, Ca, Mg, and micro crystals of thin-columnar heulandite.

Key words: *Drainage flow, mineral sediment, disorder tridymite-similar silica, heulandite, OH_x -groupings.*