
**РЕАЛЬНАЯ СТРУКТУРА
КРИСТАЛЛОВ**

УДК 548.736.6

**ЭЛЕКТРОНОГРАФИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ИЛЛИТОВ 1M
С ПЕРЕСЛАИВАЮЩИМИСЯ ТРАНС- И ЦИС-ВАКАНТНЫМИ
2:1 СЛОЯМИ**

© 2012 г. А. П. Жухлистов, И. В. Викентьев, О. В. Русинова

Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, Москва

E-mail: anzhu@igem.ru

Поступила в редакцию 19.04.2011 г.

С использованием электронограмм от текстур в сочетании с расчетным моделированием дифракционных эффектов исследованы иллиты Галкинского вулканогенного Zn-Au-Ag колчеданного месторождения (Сев. Урал). Кроме однофазных $tv/cv1M$ иллитов, в структурах которых статистически переслаиваются диоктаэдрические 2:1 слои с вакантными *транс*- или *цис*-октаэдрами, установлены иллиты, представленные физической смесью двух смешанослойных фаз $tv/cv1M$, в которых доминируют *tv*- или *cv*-слои. Показано, что в последнем случае дифракционные картины можно интерпретировать также в рамках однофазной tv/cv модели при условии распределения *tv*- и *cv*-слоев с некоторой тенденцией к сегрегации. Рассмотрены структурные особенности, указывающие на предпочтительность использования двухфазной модели.

ВВЕДЕНИЕ

Слюды построены из трехэтажных 2:1 слоев TOT, состоящих из двух тетраэдрических (Т) сеток и расположенной между ними октаэдрической (О) сетки. Слои связываются межслоевыми катионами. По характеру заселения октаэдров катионами различаются диоктаэдрические и триоктаэдрические TOT-слои.

Важной кристаллохимической особенностью тонкодисперсных Al-диоктаэдрических 2:1 слюдистых минералов (иллитов, серицитов, смектитов) является существование структурных разновидностей, построенных из слоев с различным распределением двух октаэдрических катионов по трем возможным октаэдрическим позициям, когда вакантным является либо *транс*-октаэдр (*tv*-слои с идеальной симметрией $C2/m$, характерные для большинства слюд различного состава, относящихся к политипам $1M$, $2M_1$, $2M_2$, $3T$), либо один из двух симметрически независимых *цис*-октаэдров (*cv*-слои с идеальной симметрией $C2$, политип $1M$).

Впервые диоктаэдрические 2:1 слои с вакантным *цис*-октаэдром (*cv*-слои) с различным распределением октаэдрических катионов установлены для образца монтмориллонита из Вайоминга [1]. В [2] выведены возможные политипные модификации слюд с периодом один и два слоя из нецентросимметричных (*cv*) 2:1 слоев и рассчитаны их дифракционные характеристики для идеальных моделей. Параметры элементарной ячейки и атомные координаты для модели иллита $cv1M$ впервые получены в [3, 4]. Экспериментальные доказательства существования слоев 2:1 с

вакантными *транс*- или *цис*-октаэдрами для смектитов по электронографическим данным представлены в [4, 5]. Мономинеральная Al-слюда с вакантным *цис*-октаэдром $cv1M$ впервые была обнаружена по электронограммам от текстур [6]. Широкое распространение *транс*- и *цис*-вакантных политипов слюд $tv1M$ и $cv1M$ в виде смесей установлено электронографически в [7]. В дальнейшем появились сообщения о находках как мономинерального *цис*-вакантного $cv1M$ иллита [8, 9], так и ассоциаций политипов $tv1M$ и $cv1M$ иллита [8, 10, 11]. Кроме образования самостоятельных фаз *tv* и *cv* 2:1 слои могут переслаиваться в частицах иллита с образованием смешанослойных соединений $tv/cv1M$ [12–14]. Неупорядоченно переслаивающиеся *tv* и *cv* 2:1-слои установлены в иллитовых фундаментальных частицах смешанослойных иллит-смектитов [15–17].

Периодические слюды $tv1M$ и $cv1M$ различаются значениями углов моноклинности β и (в дифракционных картинах) расположением и интенсивностями рефлексов. Так, значения $-\cos\beta/a$, характеризующие межслоевые смещения, для преимущественно Al слюд $tv1M$ и $cv1M$ составляют 0.40 и 0.30 соответственно. В [18] показано, что неупорядоченное чередование в структурах $tv/cv1M$ 2:1 слоев, различающихся межслоевыми смещениями вдоль направления оси *a*, приводит к усреднению переслаивающихся межслоевых смещений, свойственных структурам $tv1M$ и $cv1M$. При этом позиции *hkl* рефлексов в дифракционной картине $tv/cv1M$ при статистическом распределении *tv* и *cv* 2:1 слоев, как и в случае периодических структур $tv1M$ и $cv1M$, отвечают единой элементарной ячейке.

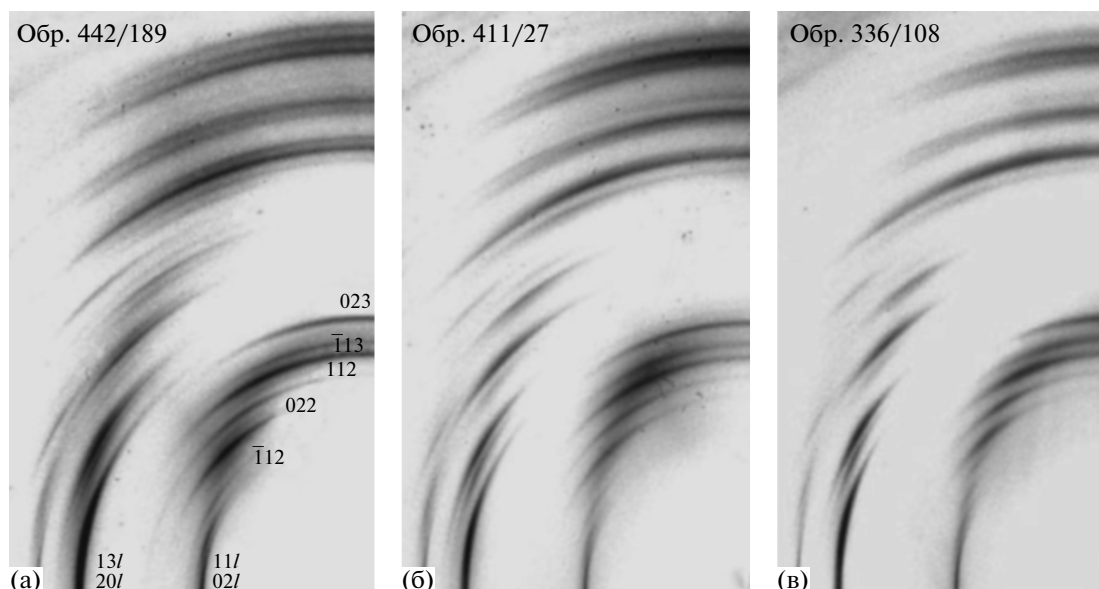


Рис. 1. Фрагменты электронограмм от текстур $tv1M > 2M_1$ иллита ($-c \cos \beta / a = 0.394$), индексы рефлексов даны для полита типа $1M$ (а), $tv/cv1M$ иллита (отношение tv - и cv -слоев 0.8:0.2) (б) и смеси двух $tv/cv1M$ -фаз ($tv:cv = 0.8:0.2$ (70%) и $tv:cv = 0.1:0.9$ (30%)) (в) (электронограф ЭМР-102, ускоряющее напряжение 100 кВ, угол наклона препарата $\varphi = 60^\circ$).

В настоящей работе электронографически, с использованием расчетного моделирования дифракционных эффектов наряду с однофазными иллитами $tv/cv1M$ установлены иллиты, для которых положение рефлексов в электронограммах от текстур не соответствует единой элементарной ячейке, что обусловлено присутствием в образцах иллита физической смеси двух смешанослойных фаз, с преобладанием в их структурах tv - или cv -слоев.

ДАННЫЕ ЭЛЕКТРОНОГРАФИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ИЛЛИТОВ

С использованием электронограмм косых текстур исследованы иллиты из Галкинского Zn-Au-Ag колчеданного месторождения (Сев. Урал), локализованного в палеовулканической кальдере, выполненной полого залегающими породами нижнесилурийской риолит-базальтовой формации [19]. Рудные тела в верхней части представлены маломощными пластовыми сплошными сульфидными рудами (ассоциируют с углеродистыми алевролитами), а в нижней — прожилково-вкрапленными разностями (в зонах дробления). Гидротермально-измененные породы представлены в основном аргиллизитами. В их составе с глубиной прослеживается смена ректорит → смешанослойный иллит-сметтит → сильно гидратированная слюда (иллит-сметтит, иллит, гидромусковит) → слабо гидратированная слюда (иллит, гидромусковит) → мусковит. Этот переход, обусловленный повышением палеотемпературы от 210–110°C до 270–320°C, сопровождается увеличением совершенства структуры слюдистых образований и содержания полита типа $2M_1$. Аргиллизация под действием слабых и нейтральных

растворов началась во время гидротермально-осадочной стадии при сравнительно низких давлениях (0–60 МПа) и температуре (110–180°C). После тектонической фазы на второй, гидротермально-метасоматической стадии формирования мощного метасоматического ореола с золото-полиметаллическим оруденением шло более длительное время, до нескольких млн. лет [19].

Электронографически установлено, что тонкодисперсные диоктаэдрические слюды — иллиты представлены в основном политипной модификацией $1M$, иногда с небольшой примесью полита типа $2M_1$ (рис. 1а). Слюды с преобладанием полита типа $2M_1$, так же, как и находки полита типа $2M_2$, являются единичными. Параметр b элементарных ячеек иллитов изменяется в интервале 8.97–9.01 Å, что свидетельствует о преимущественно Al-октаэдрическом составе слюд. Вычисленные значения $-c \cos \beta / a$ для иллитов $1M$ варьировали в пределах 0.359–0.396. Иллиты со значениями $-c \cos \beta / a$, равными 0.390–0.396, относятся к диоктаэдрическим слюдам с вакантным транс-октаэдром — $tv1M$. Иллиты $1M$ с меньшими значениями $-c \cos \beta / a$ в случае их Al-обогащенного состава (Fe- и Mg-обедненные разновидности) могут быть отнесены к смешанослойным $tv/cv1M$ иллитами [14, 20]. Для таких иллитов отмеченное уменьшение значений $-c \cos \beta / a$ по сравнению с значениями, установленными для $tv1M$ иллитов, связано не с вариациями катионного состава слюд, а с различным соотношением неупорядоченно переслаивающихся tv - и cv -слоев в слюдах. При этом смешанослойные tv/cv иллиты дифракционно проявляют особенности полита типа $1M$, хотя периодически они являются только статистически.

Принадлежность иллитов 1M, характеризующихся значениями $-\text{ccos}\beta/a$, равными 0.384–0.359, к смешанослойным tv/cv иллитам подтверждается и особенностями распределения интенсивностей рефлексов 02l, 11l на первом эллипсе электронограмм от текстур (рис. 1а, 1б). Так, уменьшение значений $-\text{ccos}\beta/a$ по сравнению с характерными для $tv1M$ иллитов, которое проявляется в электронограммах от текстур в смещении рефлексов $\pm 11l$ в направлении рефлексов 02l с одинаковыми значениями индекса l, сопровождается, в частности, усилением интенсивностей рефлексов 022, $\bar{1}13$ и ослаблением рефлексов $\bar{1}12$ и 112. Указанные особенности находятся в согласии с геометрией расположения и интенсивностями рефлексов 02l, 11l в дифракционных профилях вдоль первого эллипса электронограмм от текстур (рис. 2), рассчитанных для tv/cv 1M иллитов при неупорядоченном распределении tv - и cv -слоев в частицах, состоящих из 10 слоев, с использованием статистической модели Маркова в квазигомогенном приближении [21]. При расчетах для моделей $tv1M$ и $cv1M$ иллитов приняты значения $-\text{ccos}\beta/a$, равные 0.395 и 0.303 соответственно.

О преимущественно Al составе октаэдрических катионов иллитов наряду с параметрами b элементарных ячеек свидетельствует наблюдаемое на втором эллипсе (рефлексы 20l, 13l) электронограмм от текстур (рис. 1) практически одинаковое для различных образцов соотношение интенсивностей нижних рефлексов второй и третьей пар (рефлексы 131, $\bar{2}02$ и 132, $\bar{2}03$ соответственно, индексы даны для $tv1M$), когда интенсивность нижнего рефлекса во второй паре больше интенсивности

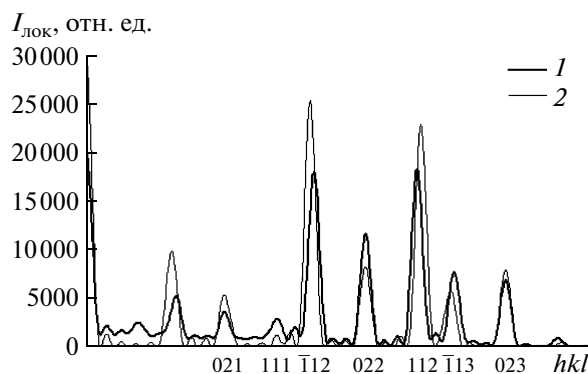
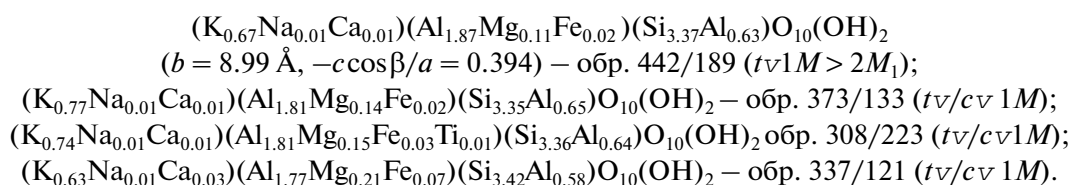


Рис. 2. Дифракционные профили вдоль первого эллипса (02l, 11l) электронограммы от текстур, вычисленные для $tv/cv1M$ иллита (статистическое переслаивание tv - и cv -слоев, $tv:cv = 0.7:0.3$, $-\text{ccos}\beta/a = 0.370$) (1) и регулярной структуры $tv1M$ ($-\text{ccos}\beta/a = 0.395$) (2).

нижнего рефлекса в третьей паре. Соотношение интенсивностей этих рефлексов, чувствительное к общей рассеивающей способности октаэдрических катионов, может меняться на противоположное при изменении рассеивающей способности или числа октаэдрических катионов, например, в случае мусковита и селадонита [22].

Сделанный на основании анализа дифракционных особенностей слюд вывод о преимущественно Al-катионном составе иллитов подтверждается и данными рентгено-спектрального микроанализа (С.Е. Борисовский, ИГЕМ РАН), полученными для некоторых образцов $tv1M$ и $tv/cv1M$ иллитов, которым соответствуют кристаллохимические формулы:



Полученные кристаллохимические формулы согласуются с формулами, приведенными в [14] для Al-обогащенных $tv1M$, $cv1M$ и $tv/cv1M$ иллитов.

Согласно уравнению $W_{cv} = (T_{tv} - T_{\text{эксп}})/(T_{tv} - T_{cv})$ [18], где $T_{\text{эксп}}$ – экспериментальные значения $-\text{ccos}\beta/a$, для Al-обогащенных иллитов при $T_{tv} = 0.395$ и $T_{cv} = 0.303$ полученные значения $-\text{ccos}\beta/a$, равные 0.384–0.359, соответствуют изменению соотношений tv - и cv -слоев в образцах в интервале 0.9:0.1–0.7:0.3.

ОСОБЕННОСТИ ПРОЯВЛЕНИЯ В ЭЛЕКТРОНОГРАММАХ ОТ ТЕКСТУР ДВУХФАЗНЫХ $tv/cv1M$ ИЛЛИТОВ

Кроме $tv/cv1M$ иллитов, характеризующихся определенными значениями $-\text{ccos}\beta/a$, установ-

лены также иллиты (рис. 1в), для которых значения $-\text{ccos}\beta/a$, вычисленные по рефлексам 111, $\bar{1}12$, 112 и $\bar{1}13$ электронограмм от текстур (таблица), заметно различались (положение рефлексов 11l не отвечало единой элементарной ячейке), при этом рефлексы 11l были уширены по сравнению с рефлексами 02l. Для вычисления значений $-\text{ccos}\beta/a$ использованы высоты рефлексов 02l и 11l $D_{hkl} = hp + lq$ [23], отсчитываемые от малой оси первого эллипса электронограмм от текстур, где p и q соответственно пропорциональны $a^* \cos\beta^*$ и c^* . Значения p получены как разность высот $D_{11l} - D_{02l}$ или $D_{02l} - D_{\bar{1}1l}$, $q = D_{02l}/l$. Отношение $p/q = -\text{ccos}\beta/a$.

Структурные характеристики смешанослойных tv/cv $1M$ иллитов (по электронографическим данным)

Образец (номер сква- жины/глуби- на, м)	Поли типы, совершенство структуры, примесь хлорита	$b, \text{ \AA}$	Значения $-\cos\beta/a$				Состав tv/cv -фаз ($tv : cv$)
			111	$\bar{1}12$	112	$\bar{1}13$	
I. Однофазные tv/cv $1M$ иллиты							
412/240	$1M$, ср.	9.00		0.384	0.384	0.384	0.88 : 0.12
482/83	$1M$, хор.	9.01		0.385	0.383	0.382	0.87 : 0.13
376/102	$1M >$ хлорита, ср.	9.01		0.384	0.382	0.381	0.86 : 0.14
376/119-1	$1M \gg 2M_1 >$ хлорита, хор.	9.01		0.383	0.382	0.380	0.86 : 0.14
373/133	$1M \gg 2M_1$, ср.	8.99		0.383	0.382	0.382	0.86 : 0.14
336/105.5	$1M$, ср.	8.99		0.383	0.381	0.382	0.86 : 0.14
452/95.8	$1M > 2M_1$, ср./низк.	8.99		0.381	0.378	0.380	0.85 : 0.15
411/27	$1M \gg 2M_1$, хор./ср.	8.98		0.379	0.377	0.378	0.81 : 0.19
375/90	$1M \gg 2M_1$, хор.	8.99		0.379	0.376	0.378	0.81 : 0.19
373/120.5	$1M \gg 2M_1$, ср.	9.01		0.378	0.375	0.380	0.81 : 0.19
375/83	$1M \gg 2M_1$, ср.	9.01		0.370	0.367	0.368	0.70 : 0.30
II. Двухфазные tv/cv $1M$ иллиты							
380/120	$1M$, ср.	9.01		0.387	0.386	0.378	(0.9 : 0.1) 80% (0.1 : 0.9) 20%
308/111.5	$1M \gg 2M_1$, ср./низк.	8.99		0.385	0.384	0.350	(0.9 : 0.1) 75% (0.1 : 0.9) 25%
338/104	$1M$, низк.	8.99		0.384	0.383	0.345	(0.9 : 0.1) 70% (0.1 : 0.9) 30%
336/108	$1M$, ср.	9.00	0.327	0.378	0.372	0.352	(0.8 : 0.2) 70% (0.1 : 0.9) 30%
380/195	$1M \gg 2M_1 >$ хлорита, ср.	9.01	0.322	0.385	0.379	0.339	(0.9 : 0.1) 65% (0.1 : 0.9) 35%
309/175	$1M \gg 2M_1$, ср.	8.99	0.323	0.381	0.375	0.340	(0.9 : 0.1) 60% (0.1 : 0.9) 40%
308/223	$1M \gg 2M_1$, ср./хор.	9.01	0.320	0.383	0.377	0.342	(0.9 : 0.1) 60% (0.1 : 0.9) 40%
338/94.3	$1M$, ср./низк.	8.97	0.319	0.382	0.375	0.338	(0.9 : 0.1) 60% (0.1 : 0.9) 40%
337/121	$1M >$ хлорита, ср./низк.	8.99			0.378	0.330	(0.9 : 0.1) 55% (0.1 : 0.9) 45%
338/65.4	$1M$, ср./низк.	9.01		0.379	0.371	0.332	(0.9 : 0.1) 50% (0.1 : 0.9) 50%

Примечание. Значения $\cos\beta$ tv/cv $1M$ иллитов изменяются в интервале 9.98–10.01 \AA .

Иллиты, характеризующиеся отмеченными дифракционными особенностями, можно рассматривать как физическую смесь двух смешанослойных tv/cv $1M$ -фаз, различающихся содержанием неупорядоченно переслаивающихся tv - и cv -слоев. Для идентификации таких иллитов положение максимумов рефлексов $11l$ и интенсивности рефлексов $02l$, $11l$ в электронограммах от текстур сравнивались с наблюдаемыми в дифракционных профилях вдоль первого эллипса (рефлексы $02l$, $11l$), рассчитанных для двухфазных моделей, различающихся составами отдельных фаз и их соотношением (рис. 3). Установлено, что содержание tv -слоев в сосуществующих tv/cv $1M$ -

фазах составляет ~90–80 или 10% соответственно (таблица). Эти смешанослойные фазы образуют ассоциации, в которых содержание фазы с большим содержанием tv -слоев составляет от 80 до 50%. При этом для большинства образцов среднее содержание cv -слоев (30–50%) в двухфазных tv/cv $1M$ иллитах значительно превышает содержание cv -слоев в однофазных tv/cv $1M$ иллитах (10–20%).

Следует отметить, что интерпретация таких дифракционных картин может быть проведена и в рамках однофазной tv/cv -модели при условии, что tv - и cv -слои распределены с некоторой тенденцией к сегрегации. Дифракционные особен-

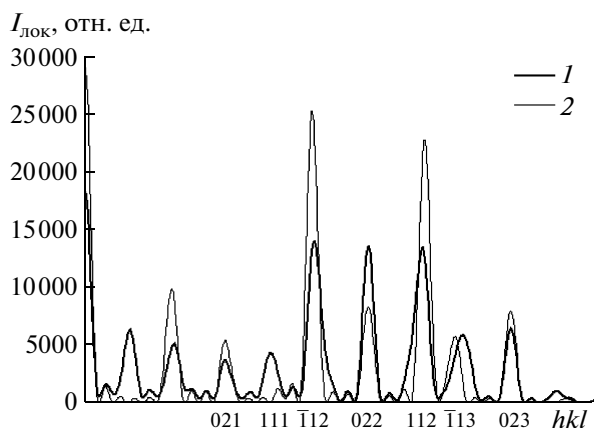


Рис. 3. Дифракционные профили вдоль первого эллипса (02l, 11l) электронограммы от текстур, вычисленные для физической смеси двух *tv/cv1M*-фаз (60% (*tv:cv* = 0.9:0.1) и 40% (*tv:cv* = 0.1:0.9) (1) и регулярной структуры *tv1M* (2). Видны неодинаковые интервалы смещения рефлексов $\bar{1}12$, 112 и $\bar{1}13$ для смеси двух фаз от позиций соответствующих рефлексов структуры *tv1M*, что в таблице отображается различиями в значениях $-\cos\beta/a$ рефлексов $11l$.

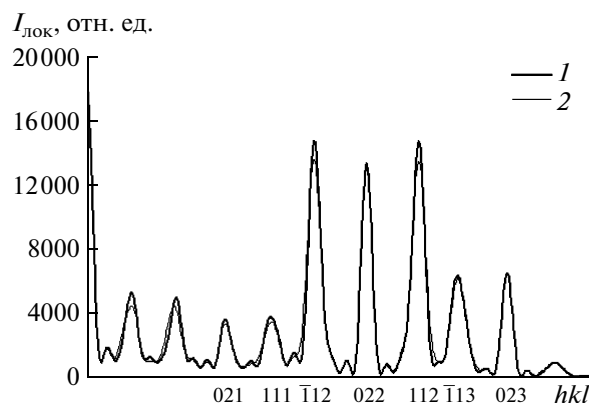


Рис. 4. Дифракционные профили вдоль первого эллипса (02l, 11l) электронограммы от текстур, вычисленные для физической смеси двух *tv/cv1M*-фаз (70% (*tv:cv* = 0.8:0.2) и 30% (*tv:cv* = 0.1:0.9), $S = 0$ (1) и смешанослойной *tv/cv*-фазы с проявлением тенденции к сегрегации (*tv:cv* = 0.6:0.4), $S = 1$, $pBB = 0.8$ (2).

ности (позиции рефлексов и распределение интенсивностей) для модели, представленной смесью двух *tv/cv1M*-фаз, и сегрегационной модели в значительной мере подобны при равенстве среднего содержания *tv*- и *cv*-слоев. Это хорошо видно на рис. 4, где представлены рассчитанные профили для смеси двух смешанослойных фаз 70% (*tv:cv* = 0.8:0.2) и 30% (*tv:cv* = 0.1:0.9) при среднем содержании *tv*- и *cv*-слоев 0.6 и 0.4, а также смешанослойной фазы (*tv:cv* = 0.6:0.4), в которой *tv*- и *cv*-слои распределены с тенденцией к сегрегации ($S = 1$, $pBB = 0.8$). В случае сегрегационной модели будут преобладать частицы иллита с соотношением *tv*- и *cv*-слоев, близким к их среднему содержанию в образцах. Причем эти слои имеют тенденцию к обособлению в отдельные зоны, т.е. фактически к разделению на две фракции, обогащенные *tv*- или *cv*-слоями, что может указывать на меньшую стабильность таких частиц иллита.

Принимая во внимание факт идентификации на данном месторождении однофазных (*tv*-обогащенных) смешанослойных *tv/cv1M* иллитов, очевидно, более правильной является интерпретация дифракционных картин иллитов, полученных от физической смеси двух смешанослойных *tv/cv1M*-фаз, существенно различающихся содержанием *tv*- или *cv*-слоев. В этом случае состав фазы с преобладающими *tv*-слоями соответствует составу наиболее распространенных однофазных *tv/cv1M* иллитов (*tv:cv* \approx 0.9:0.1). При этом *tv/cv1M* иллиты с высоким содержанием *cv*-слоев также могут оказаться кристаллохимически выгодными при определенных условиях минералообразования.

В [14, 20] отмечено, что формированию слюдов *cv1M* благоприятствует конфигурация межслоевых промежутков, образующихся при развороте

на 120° смежных тетраэдрических сеток, когда межслоевой катион К имеет окружение, подобное окружению в наиболее устойчивой слюде — мусковите $2M_1$. Такая межслоевая конфигурация приводит и к уменьшению взаимного отталкивания ближайших базальных атомов кислорода смежных слоев. Проявлению стабилизирующего влияния этих факторов способствует уменьшение количества октаэдрических катионов Mg, Fe³⁺, Fe²⁺ и увеличение тетраэдрического Al [14, 20]. Из символического описания политипов 33_033 (*tv1M*), 51_051 (*cv1M*) [2] видно, что для политипа *tv1M* тетраэдрические сетки смежных слоев имеют одинаковую ориентировку, а для *cv1M* тетраэдрические сетки, образующие межслоевую промежутков, развернуты на 120°. При формировании соединений *tv/cv1M* образуются сочетания смежных слоев 33_033 , 51_051 (15_015), 33_051 (33_015), 51_033 (15_033), из которых по конфигурации межслоевых промежутков кроме 51_051 (15_015) кристаллохимически выгодными являются сочетания 33_051 (33_015), 51_033 (15_033), при которых тетраэдрические сетки смежных слоев развернуты на 120°. Сочетания слоев 15_051 и 51_015 представляются менее вероятными из-за одинаковой ориентировки тетраэдрических сеток смежных слоев. При неупорядоченном распределении *tv*- и *cv*-слоев в *cv*-обогащенной фазе имеется меньшая вероятность образования последовательностей слоев 33_033 , что ведет к относительному увеличению содержания межслоевых промежутков, подобных межслоевым промежуткам в структуре мусковита $2M_1$, и к кристаллохимической предпочтительности таких *tv/cv*-структур в определенных гидротермальных условиях. Это свидетельствует в пользу двухфазной модели *tv/cv1M* иллитов, представленной *tv*- и *cv*-обогащенными фазами.

Пока в литературе имеется ограниченное число сообщений об идентификации иллитов,

содержащих смесь двух $tv/cv1M$ -фаз. В [17] рентгенографически идентифицирован иллит, представленный смесью двух $tv/cv1M$ -фаз с соотношением tv - и cv -слоев (0.9:0.1 и 0.1:0.9). В [24] по электронограммам от текстур в твердой и мягкой фракциях образца иллита (образец 41/ж из [11]) установлены физические смеси двух $tv/cv1M$ -фаз, для которых с использованием описанной выше методики уточнен состав этих фаз ($(tv:cv = 0.8:0.2)$ и $(tv:cv = 0.1:0.9)$) при различном их соотношении (0.6:0.4 и 0.4:0.6 соответственно).

Для иллитов Галкинского месторождения установлены некоторые закономерности в распространенности одно- и двухфазных смешанослойных образований. Так, в контурах богатых руд или в непосредственной близости от них (особенно в зонах поздних тектонических подвижек) преобладают двухфазные $tv/cv1M$ иллиты с максимальным для данного месторождения общим содержанием cv -слоев, тогда как в незатронутых гидротермально-метасоматическими процессами надрудных породах и породах на флангах рудных зон присутствуют только tv иллиты. Двухфазные $tv/cv1M$ иллиты идентифицированы также в кварцево-гидрослюдистом метасоматите с рудной вкрапленностью. В большинстве случаев в образцах двухфазных $tv/cv1M$ иллитов отсутствует примесь политипа $2M_1$ иллита. Напротив, в рудных зонах, в которых установлены только однофазные $tv/cv1M$ иллиты, характеризующиеся в основном небольшим содержанием cv -слоев, они часто образуют ассоциации с политипом $2M_1$. По всей вероятности, образование сосуществующих фаз иллитов, различающихся содержанием tv - или cv -слоев, в Галкинском месторождении было связано с разными стадиями гидротермальной активности и сменной во времени условий минералообразования — рН, температуры и состава растворов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С использованием электронограмм от текстур в сочетании с расчетным моделированием дифракционных картин установлено широкое проявление смешанослойных $tv/cv1M$ иллитов, в структурах которых статистически переслаиваются диоктаэдрические слои с вакантными *транс*- или *цис*-октаэдрическими позициями. Кроме однофазных $tv/cv1M$ иллитов выявлены иллиты, представленные физической смесью двух смешанослойных фаз, в которых доминируют tv - или cv -слои. Показано, что в последнем случае дифракционные картины можно интерпретировать и в рамках однофазной tv/cv -модели при условии распределения tv - и cv -слоев с некоторой тенденцией к сегрегации. Рассмотрены структурные особенности, указывающие на предпочтительность использования двухфазной модели для tv/cv иллитов. Отмечены некоторые закономерности в распространенности одно- и двухфазных $tv/cv1M$ иллитов.

Авторы признательны **В.Л. Русинову** (ИГЕМ РАН), который инициировал настоящее исследование.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки (госконтракт № 02.740.11.0327), Президиума РАН (П-24-3), Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 09-05-01050).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Mering J., Orbelin A. // *Clays Clay Miner.* 1967. V. 15. № 1. P. 3.
2. Звягин Б.Б., Врублевская З.В., Жухлистов А.П. и др. Высоковольтная электронография в исследовании глинистых минералов. М.: Наука, 1979. 224 с.
3. Drits B.A., Plançon A., Sakharov B.A. et al. // *Clays Clay Miner.* 1984. V. 19. P. 541.
4. Ципурский С.И., Дриц В.А. // *Минерал. журн.* 1984. Т. 6. № 1. С. 3.
5. Tsipursky S.I., Drits B.A. // *Clay Miner.* 1984. V. 19. P. 177.
6. Звягин Б.Б., Работнов В.Т., Сидоренко О.В., Котельников Д.Д. // *Известия АН СССР. Сер. геол.* 1985. № 5. С. 121.
7. Bloch A.M., Zhukhlistov A.P., Zvyagin B.B. // *Abstracts of the 15th General IMA Meeting.* Beijing, China. 1990. V. 1. P. 297.
8. Drits B.A., Weber F., Salyn A.L., Tsipursky S.I. // *Clays Clay Miner.* 1993. V. 41. № 3. P. 389.
9. Lee M. // *Abstracts 33 Annual meeting of the Clay Miner. Soc., Gatlinburg, Tennessee.* 1996. P. 106.
10. Reynolds R.C., Thomson C.H. // *Clays Clay Miner.* 1993. V. 41. № 1. P. 66.
11. Жухлистов А.П., Драгулеску Е.М., Русинов В.Л. и др. // *Зап. Всерос. минерал. о-ва.* 1996. № 4. С. 47.
12. Guadros J., Altaner S.P. // *Eur. J. Mineral.* 1998. V. 10. P. 111.
13. Ylagan R.F., Altaner S.P., Pozzuoli A. // *Clays Clay Miner.* 2000. V. 48. № 6. P. 610.
14. Drits B.A., McCarty L.K., Zviagina B.B. *Clays Clay Miner.* 2006. V. 54. № 2. P. 131.
15. Reynolds R.C. // *Computer application to X-ray diffraction methods.* Clay Miner. Soc., Workshop Lectures, 1993. V. 5. P. 44.
16. McCarty L.K., Reynolds R.C. // *Clays Clay Miner.* 1995. V. 43. № 3. P. 271.
17. Drits B.A., Salyn A.L., Sucha V. // *Clays Clay Miner.* 1996. V. 44. № 2. P. 181.
18. Drits B.A., McCarty L.K. // *Am. Mineral.* 1996. V. 16. P. 852.
19. Викентьев И.В., Русинов В.Л., Русинова О.В. и др. // *Материалы Всерос. конф., посвященной 80-летию ИГЕМ РАН.* М.: ИГЕМ РАН, 2010. С. 215.
20. Drits B.A., Zviagina B.B. // *Clays Clay Minerals.* 2009. V. 57. № 4. P. 405.
21. Drits V.A., Tchoubar C. // *X-ray diffraction by disordered lamellar structures.* Heidelberg: Springer Verlag, 1987. 304 p.
22. Жухлистов А.П., Звягин Б.Б., Шурига Т.Н. // *Минерал. журн.* 1983. Т. 5. № 2. С. 92.
23. Звягин Б.Б. Электронография и структурная кристаллография глинистых минералов. М.: Наука, 1964. 312 с.
24. Жухлистов А.П. // *Тез. докл. Междунар. науч. конф. "Спектроскопия, рентгенография и кристаллохимия минералов".* 2005. Казань, С. 88.