

УДК 523.681+552.6+549.2+549.5

**В.П. Іваницький¹, С.Н. Ширінбекова²,
О.Є. Гречановська¹, Е.В. Польшин³**

¹ Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення
ім. М.П. Семененка НАН України

03680, м. Київ-142, Україна, пр. Акад. Палладіна, 34

E-mail: grechanovskaya@gmail.com

² ДУ "Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України"

03680, м. Київ-142, Україна, пр. Акад. Палладіна, 34а

E-mail: cosmin@i.ua

³ Інститут металофізики ім. Г.В. Курдюмова НАН України

03680, м. Київ-142, Україна, бульв. Вернадського, 36

E-mail: ernst_polshin@yahoo.com

СКЛАД ПРОДУКТІВ ЗЕМНОГО ВИВІТРЮВАННЯ ЗАЛІЗНИХ МЕТЕОРИТІВ СІХОТЕ-АЛІНЬ І ЧІНГЕ ЗА ДАНИМИ МЕССБАУЕРІВСЬКОЇ СПЕКТРОСКОПІЇ ТА РЕНТГЕНОФАЗОВОГО АНАЛІЗУ

За допомогою методів мессбауерівської спектроскопії та рентгенофазового аналізу діагностовано фази магеміту і гетиту в тонкодисперсних продуктах земного вивітрювання октаедриту Сіхоте-Алінь та фази магеміту, камаситу і теніту в окиснених металевих пластинках атакситу Чінге. Наявність різного стану магнітного впорядкування іонів Fe^{3+} (магнітновпорядкованого і суперпарамагнітного) у структурі гетиту з метеорита Сіхоте-Алінь пов'язана з утворенням у мінералі кристалітів різного розміру. Фаза камаситу з вивітрених пластинок атакситу Чінге характеризується широким діапазоном концентрації та ймовірності розподілу домішок. Присутність фаз з іонами Fe^{3+} і Fe^{2+} в парамагнітному стані можна пов'язати із силікатами як продуктами земної контамінації зразка метеорита Чінге.

Ключові слова. залізні метеорити, гетит, магеміт, мессбауерівська спектроскопія, рентгенофазовий аналіз.

Вступ. Після падіння метеоритів на земну поверхню відбуваються поступові зміни їх первинних структурних і мінералогічних характеристик в окиснювальних і водовмісних умовах середовища. Під впливом факторів земного вивітрювання в метеоритній речовині за рахунок первинних космічних мінералів формуються вторинні гіпергенні мінеральні фази. Це знижує наукову цінність вивітрених метеоритів як єдиного доступного джерела генетичної інформації про процеси мінералоутворення в космічному середовищі [16]. У зв'язку з цим постає необхідність правильної діагностики продуктів земного вивітрювання метеоритів як

для коректної інтерпретації їх дозової історії, так і для визначення способів збереження метеоритів у лабораторних і музейних умовах.

Для вирішення зазначених актуальних завдань застосовують такі ефективні методи дослідження речовини метеоритів, як мессбауерівська спектроскопія на ядрах ^{57}Fe або ядерний гамма-резонанс (ЯГР) та рентгенофазовий аналіз (РФА).

Мессбауерівська спектроскопія дає можливість визначати ступінь окиснення та координаційне число атомів Fe у мінералах та фазовий склад Fe -вмісних мінералів метеоритів. Метеорити вміщують металеве залізо у формі Fe^0 в нікелістому залізі (Fe, Ni), закисне залізо у формі Fe^{2+} у силікатах і трійліті (FeS). Також іони Fe^{2+} і Fe^{3+} наявні в продуктах земного ви-

вiтряннн метеоритiв — оксидах-гiдроксидах залiза, карбонатах, сульфатах, водних фосфатах [16]. Метод дозволяє диференцiювати окисненi продукти доземного походження, що утворились у материнських тiлах метеоритiв, та вториннi гiпергеннi мiнеральнi фази екзогенного (земного) генезису; визначити в них кiлькiсний вiст iонiв Fe^{3+} [23, 32].

Характеристики мессбауерiвських спектрiв (МС) використано для визначення швидкостi та особливостей земного вивiтряннн метеоритiв залежно вiд їх доземної iсторiї — походження, ударного i термального метаморфiзму, а також вiд рiзних клiматичних умов земної поверхнi [18, 19, 20, 25, 34]. Ефект Мессбауера дозволяє вивчати мiнералогiю тонкодисперсних сумiшей оксидiв-гiдроксидiв Fe, якi замiщують, у першу чергу, нiкелисте залiзо у вивiтрянних зразках метеоритiв всiх типiв; впевнено дiагностувати рiзнi сполуки в α -, β -, γ -рядях системи $Fe_2O_3 \cdot H_2O$; встановлювати приналежнiсть моногiдрату оксиду Fe до певної полiморфної модифiкацiї та здiйснювати напiвкiлькiсне визначення цих фаз [4, 7, 8, 10, 34].

Метод мессбауерiвської спектроскопiї успiшно був застосований у процесi вивчення низки залiзних метеоритiв, для дiагностики фаз iз рiзним вiстом нiкелю [17, 23, 30, 31, 36], у тому числi октаедриту Сiхоте-Алiнь (*Sikhote-Alin*) та атакситу Чiнге (*Chinga*) [7, 9, 27, 29]; пiд час деталiзацiї магнiтної структури метеорита Сiхоте-Алiнь та знайдених у ньому фосфидiв — шрейберзиту i рабдиту ($(Fe, Ni, Co)_3P$) [5, 28].

За допомогою мессбауерiвської спектроскопiї дiагностовано продукти земного вивiтряннн (корозiї) фрагментiв метеоритiв Сiхоте-Алiнь i Чiнге, виявлено рiзницю мiж комплексами екзогенних фаз у зразках обох метеоритiв, що перебували у подiбних земних умовах [22]. Наприклад, у фрагментi кори плавлення з октаедриту Сiхоте-Алiнь впевнено встановлено такi корозiйнi продукти: магнетит (Fe_3O_4), магемiт ($\gamma-Fe_2O_3$), гематит ($\alpha-Fe_2O_3$) i акагенейт ($\beta-FeOON$), а також рiдкiсний космiчний мiнерал лавренсит ($FeCl_2$). У зразках обох метеоритiв, що знаходились у глинах, утворились дещо рiзнi продукти вивiтряннн. Так, у фрагментi метеорита Сiхоте-Алiнь наявнi фази $\gamma-Fe_2O_3$ та $\beta-FeOON$, тодi як у фрагментi атакситу Чiнге знайдени $\alpha-Fe_2O_3$ та $\beta-FeOON$, а також $FeCl_2$. Акаганейт визначено у фрагментах метеорита Сiхоте-Алiнь як

в пара-, так i в магнiтному станi, а в метеоритi Чiнге $\beta-FeOON$ — лише в парамагнiтному станi. Зазначалось, що такi вiдмiнностi можуть бути пов'язанi з розмiром частинок $\beta-FeOON$. Автори припускають, що процес iнтенсивного окиснення фрагментiв обох метеоритiв був обумовлений електрохiмiчними реакцiями в болотистому середовищi [22].

Рентгенофазовий аналіз вивітрянних пластинок метеорита Чiнге виявив фазу гетиту ($\alpha-FeOON$), тонкі (8 мкм) пластинки якого були розташовані по периферії зразка субпаралельно до смугастості плеситу [12]. Пластинчастий характер вивітряннн метеорита Чiнге був зумовлений орієнтованим розташуванням фази камаситу в плеситі. Встановлено асоцiацiю $\alpha-FeOON$ з нiкелистим залiзом (Fe, Ni), подiбним до фази камаситу ($\alpha-Fe, Ni$), а не тенiту ($\gamma-Fe, Ni$); спостережено бiльший ступiнь вивiтряннн камаситу [12].

Об'єкти i методи. Об'єктами дослiдження були вивiтряннi фрагменти з тонкодисперсними продуктами земного вивiтряннн двох залiзних метеоритiв — октаедриту Сiхоте-Алiнь (зр. 1) i атакситу Чiнге (зр. 2). Фрагменти обох метеоритiв отриманi для дослiдження з колекцiї Комiтету по метеоритах (КМЕТ) НАН України. Вiдомостi про походження, будову, структурну i хiмiчну класифiкацiї, мiнеральний склад обох метеоритiв подано в низцi робiт [6, 12, 13, 21]. Залiзнi метеорити Сiхоте-Алiнь i Чiнге походять з територiї Росiйської Федерацiї, дослiдженi фрагменти були знайденi, вiдповiдно, у 1960-х рр. та 1985 р. пiд час експедицiї КМЕТ АН УРСР.

Зразок 1 — порошок, приготовлений iз розтертих в агатовiй ступцi продуктiв земного вивiтряннн, попередньо вiдокремлених за допомогою сталевого шкребка з поверхнi осколкового фрагмента дуже грубоструктурного октаедриту Сiхоте-Алiнь (*Ogg*, хiмiчна група IIВ).

Варто зазначити, що дослiджений фрагмент був знайдений у ґрунті, де пролежав понад двадцять рокiв з моменту падiння метеоритного дощу Сiхоте-Алiнь, яке сталося у 1947 р. на територiї Приморського краю Росiї. Пiд час вивчення цього фрагмента пiд бiнокюляром встановлено, що поверхневi продукти вивiтряннн вiдрiзнялись за морфологiчними i фiзичними характеристиками — кольором, будовою, магнiтнiстю, товщиною вiдкладiв, а також за мiсцем локалiзацiї на поверхнi металу.

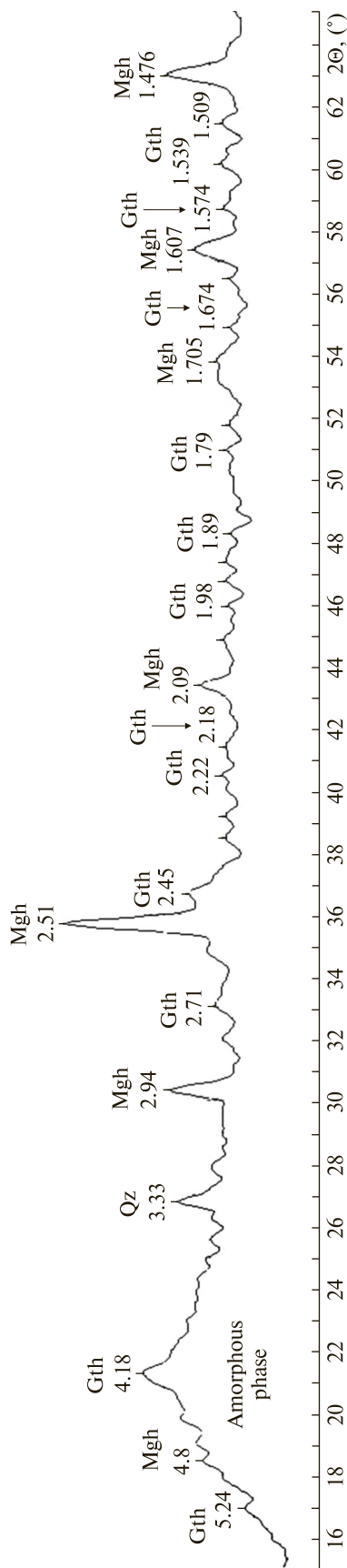


Рис. 1. Дифрактограма магнітної фракції продуктів вивітрювання зразка октаедриту Сіхоте-Алінь. Мінерали позначено згідно з даними [35]

Fig. 1. X-ray pattern of the terrestrial weathering products of the Sikhote-Alin octahedrite sample (magnetic fraction). Abbreviations of minerals are presented according to [35]

Зразок 2 — порошок із розтертих в агатовій ступці металевих пластинок (первинні розміри яких $\leq 1-2$ мм) з продуктами земного вивітрювання Ni-збагаченого атакситу Чінге (*D*, хімічна група *IVB*).

Окиснені металеві пластинки — це поверхневий шар, раніше відлущений з фрагмента метеорита Чінге, знайденого в алювіальних відкладах на схилах правої притоки р. Чінге, на території Республіки Тува, Росія, де він пролежав протягом тривалого часу, враховуючи, що земний вік метеорита становить >2000 рр.

Попереднє системне сканувальне електронно-мікроскопічне (SEM) вивчення окиснених металевих пластинок атакситу Чінге показало, що утворені за рахунок металу тонкодисперсні оксиди-(окси)гідроксиди заліза характеризуються морфологічною різноманітністю, різним ступенем кристалічності, нано-, субмікрометричними розмірами кристалів, значними варіаціями хімічного складу. Серед них діагностовано фазу Cl-вмісного акаганейту (β -FeO (OH, Cl)). Селективний характер вивітрювання камаситових фаз у плеситі виявив реліктову тонку структуру атакситів — голчасті кристали тенітової фази [15].

Для вивчення обох зразків використані методи: 1) рентгенофазовий аналіз — діагностика фазового складу; 2) месбауерівська спектроскопія на ядрах ^{57}Fe — діагностика залізовмісних фаз, валентного, координаційного та магнітного станів катіонів заліза в структурах фаз, що співіснують.

Рентгенофазовий аналіз порошкових зразків із метеоритів Сіхоте-Алінь і Чінге проводили на автоматичному дифрактометрі ДРОН-3М та ДРОН-2 на мідному випромінюванні ($\text{Cu}_{K\alpha} = 1,54178 \text{ \AA}$). Область сканування зр. 1 метеорита Сіхоте-Алінь — в діапазоні кутів $2\theta = 15-65^\circ$; крок сканування — $0,05$ град/с. Оглядові рентгенограми для якісного фазового аналізу зр. 2 метеорита Чінге отримані в діапазоні кутів $2\theta = 4-65^\circ$ зі швидкістю сканування $1,0$ град/хв. Результати діагностики порівнювали з еталонними зразками банку даних американської картотеки *PCPDFWIN (PDF-2)* 2003 р. Результати діагностики показані на рис. 1.

Для діагностики аморфної фази, що присутня в обох зразках метеоритів Сіхоте-Алінь та Чінге, застосовано термообробку зразків. Зразки прогрівали в муфельній печі (марки СНОЛ 7,2/1100, виробництва *TermoLab*, Україна) за

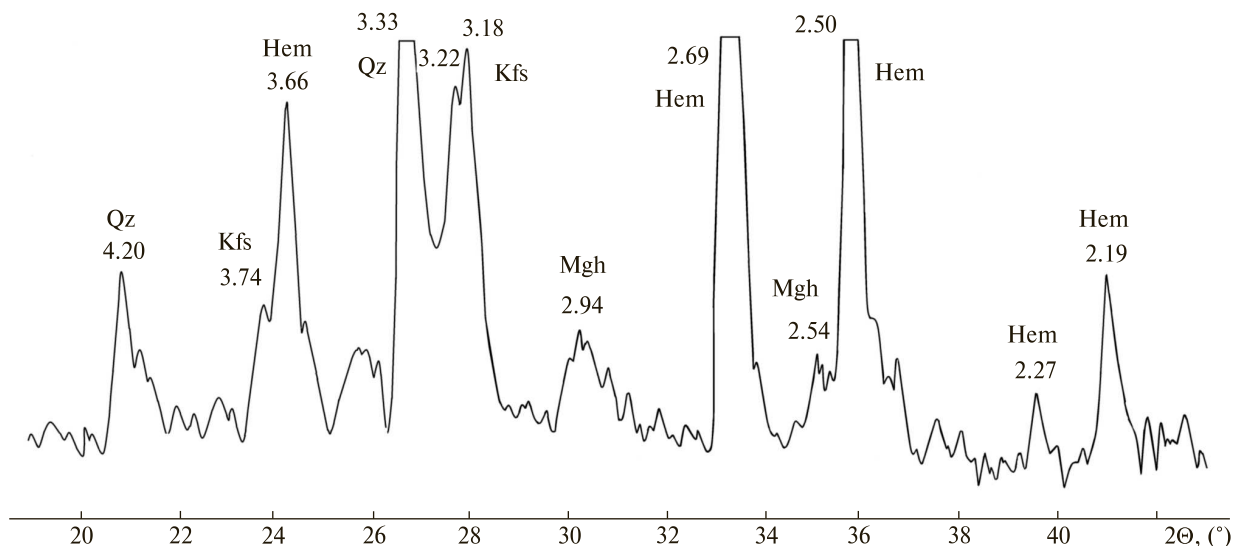


Рис. 2. Дифрактограма продуктів вивітрювання зразка октаедриту Сіхоте-Алінь (магнітна фракція), прогрітого за температури 950 °С

Fig. 2. X-ray pattern of the terrestrial weathering products of the Sikhote-Alin octahedrite sample (magnetic fraction) annealed at 950 °C

температури 950 °С на повітрі протягом 3 год, а потім досліджували на дифрактометрі ДРОН-2 в діапазоні кутів $2\theta = 4\text{--}65^\circ$ зі швидкістю сканування 1,0 град/хв.

МС отримано на установці постійних прискорень із використанням джерела ^{57}Co в матриці хрому за кімнатної температури (300 К) експозиції зразків обох метеоритів, а для зр. 2 — також за температури рідкого азоту (77 К). Обробка МС виконана за програмою *Univem2*, що реалізує метод найменших квадратів. Інтенсивності ліній поглинання в секстетах магнітного розщеплення попарно (1—6, 2—5 і 3—4), а півширини всіх шести ліній прирівнювались. У дублетах квадрупольного розщеплення прирівнювались як інтенсивності, так і півширини обох ліній поглинання.

Експериментальні результати та їх обговорення. Рентгенофазовий аналіз. Магнітна фракція продуктів земного вивітрювання в зр. 1 октаедриту Сіхоте-Алінь представлена здебільшого магемітом, у незначній кількості — тонкодисперсним гетитом та аморфною фазою (рис. 1). На рентгенограмі дифракційні лінії гетиту значно уширені і мають дуже низьку інтенсивність, що пов'язано з тонкодисперсністю мінералу (низькою кристалічністю) та обводненням його структури.

Термічне дослідження магнітної фракції продуктів вивітрювання зр. 1 октаедриту Сіхоте-Алінь показало, що аморфна фаза представле-

на кремнеземом з домішкою алюмосилікатного скла (рис. 2). На це вказують інтенсивні лінії кварцу та калієвого польового шпату, які з'являються на рентгенограмі зр. 1 метеорита після прогріву його до температури 950 °С. Наявність аморфного кремнезему з домішкою алюмосилікатного скла пов'язана із земним забрудненням під час перебування фрагмента метеорита у ґрунті. Отже, у вивітреному зразку залізного метеорита Сіхоте-Алінь вперше встановлені тонкодисперсний гетит та аморфний кремнезем з домішкою алюмосилікатного скла. На рентгенограмі також діагностовані лінії гематиту, що мають значну інтенсивність. Лінії магеміту на дифрактограмі є, але мають значно нижчу інтенсивність (рис. 2).

Дослідження зр. 2 атакситу Чінге показало, що до його складу входять переважно камасит ($\alpha\text{-Fe, Ni, Co}$) і теніт ($\gamma\text{-Fe, Ni}$), у незначній кількості — аморфна фаза і кварц (рис. 3). На рентгенограмі дифракційні лінії камаситу і теніту мають значну інтенсивність та мало уширені (рис. 3). Це свідчить про кристалічність обох фаз металу. Варто відмітити, що камаситова фаза домінує над тенітовою. Про кількісну перевагу частки камаситу в плеситі також повідомляли інші автори, які досліджували зразок даного метеорита за допомогою методу *EBS*D (методу обернено відбитих електронів) [14]. Було показано, що теніт є більш тонкодисперсною фазою, розвинутою по границях

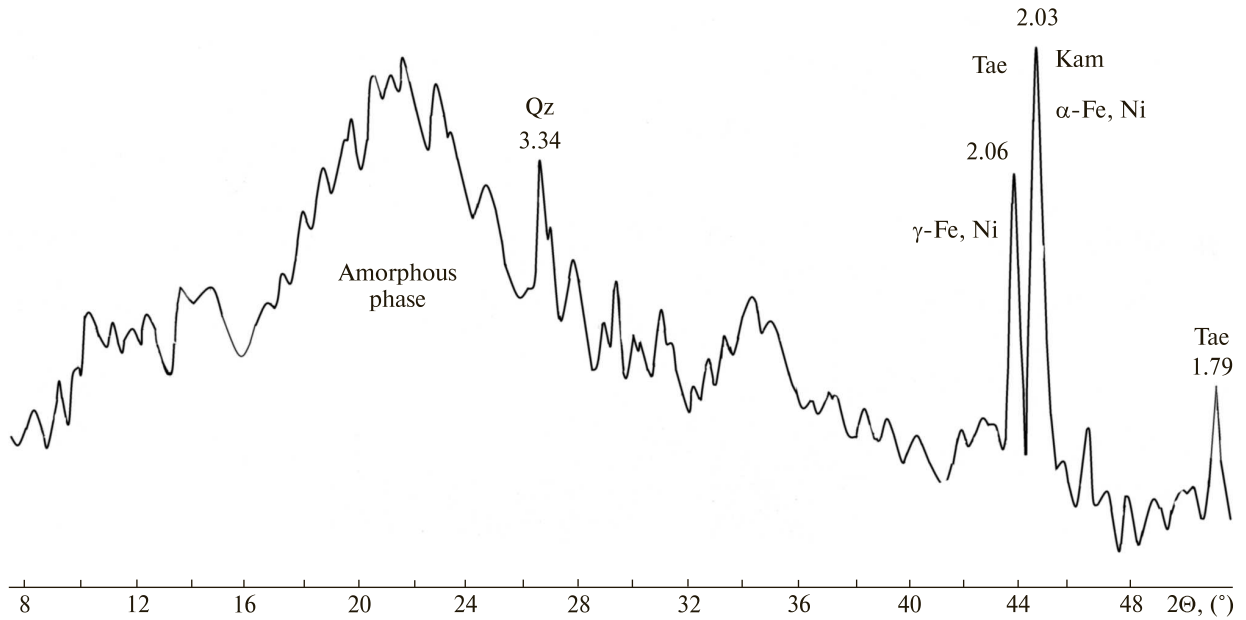


Рис. 3. Рентгенограма зразка атакситу Чінге
 Fig. 3. X-ray pattern of the Chinga ataxite sample

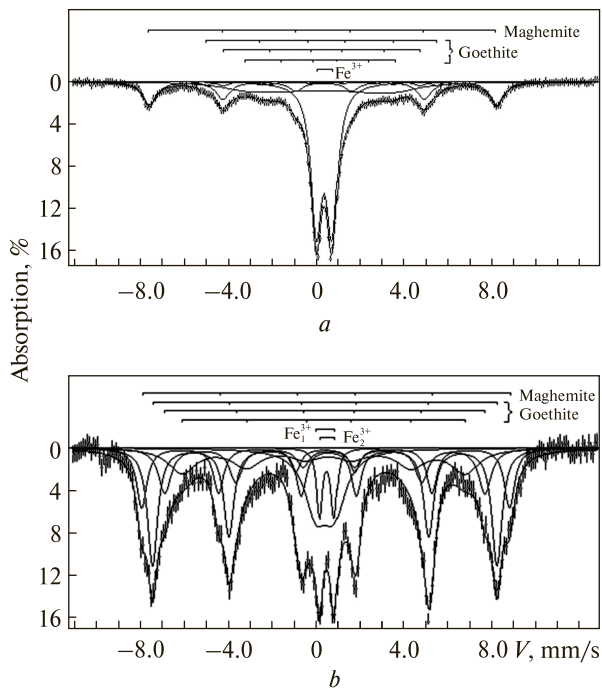


Рис. 4. Мессбауерівські спектри зр. 1 — продуктів земного вивітрювання, видалених з поверхні метеорита Сіхоте-Алінь, отриманих за температури експозиції зразка: кімнатної (а) та рідкого азоту (b). Штрихами над МС показано положення ліній поглинання ідентифікованих фаз

Fig. 4. Mössbauer spectra of sample 1 — terrestrial weathering products from the surface of the Sikhote-Alin meteorite, were obtained at the temperatures exposure pattern: room (a) and liquid nitrogen (b). Bar shows the position of the MC absorption lines of the identified phases

зерен камаситу. Зерна камаситу певним чином орієнтовані, а дисперсні частинки теніту — ні. Характер співіснування γ - та α -фаз у субмікροструктурі плеситу обумовлений реакцією мартенситового типу зі збереженням орієнтації первинної γ -фази [14]. Це пояснює той факт, що іноді під час оптичних та рентгенівських досліджень зразків атакситу Чінге спостерігались тільки субпаралельно орієнтовані зерна камаситу [12].

Наявність кварцу в зр. 2 можна пояснити земною контамінацією, що відбувалась внаслідок перебування фрагмента метеорита Чінге в алювіальному водному середовищі.

Термічне дослідження зразка атакситу Чінге показало, що аморфна фаза у ньому є залізо-вмісною. Основні лінії на рентгенограмі після термічної обробки зразка (2,93(40)*; 2,68(25)**; 2,51(100)*; 2,40(35)*; 2,08(60)*; 1,72(35)*; 1,60(30)*; 1,48(40)*) діагностовано як магеміт (магнетит ?)* та гематит**.

Мессбауерівська спектроскопія. МС продуктів земного вивітрювання метеоритів Сіхоте-Алінь і Чінге та їх комп'ютерну апроксимацію на компоненти показано на рис. 4 і 5 відповідно. Визначені параметри та їх фазову відповідність вказано в таблиці.

МС зр. 1 (рис. 4, a), отриманий за кімнатної температури, характеризується прогином, тобто носить релаксаційний характер, його лінії магнітного розщеплення розширені та асиметричні.

МС апроксимовано сумою чотирьох секстетів магнітного розщеплення та одного дублета суперпарамагнітної природи. Секстет з максимальним значенням внутрішнього магнітного поля на ядрі заліза ($H_{\text{вн}} = 489$ кЕ) на основі порівняння отриманих параметрів з відомими даними [11, 18, 24], пов'язаний нами з резонансним поглинанням гамма-випромінювання на ядрах Fe^{3+} у структурі магеміту ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$). Дещо менші значення $H_{\text{вн}}$, порівняно з його значеннями для масивного зразка, можна пояснити малим розміром частинок [26] або ізоморфними заміщеннями типу $\text{Fe}_{2-x}\text{R}_x\text{O}_3$, де R — метал [33]. Велике значення ширини резонансних ліній свідчить про існування множини магнітних станів іонів Fe^{3+} , утворених за рахунок неоднозначності їх ближнього оточення, яка може бути пов'язана з різницею ймовірностей розподілу вакансій чи ізоморфних елементів у структурі.

Три інші секстети магнітного розщеплення з меншими значеннями $H_{\text{вн}}$, порівнюючи їх параметри з відомими [11, 33], ми пов'язали з ре-

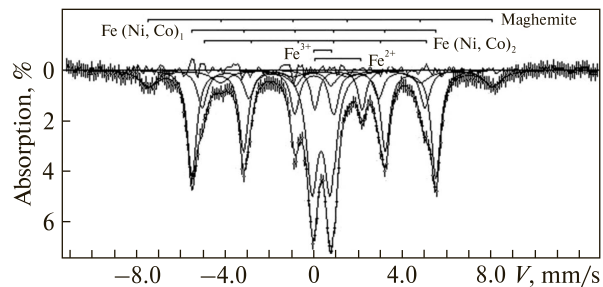


Рис. 5. МС зр. 2 — металевих пластинок з продуктами земного вивітрювання атакситу Чінге

Fig. 5. Mössbauer spectra of sample 2 — metal plates of the Chinga ataxite with terrestrial weathering products

зонансним поглинанням на ядрах Fe^{3+} у структурі гетиту. Великі значення Γ ліній виділених секстетів гетиту свідчать про можливість збільшення в структурі спектрів числа компонент. Багатокомпонентність спектра можна пояснити наявністю частинок гетиту різного ступеня дисперсності та гідратацією структур. Оскільки у першій координаційній сфері Fe^{3+} у структурі гетиту перебувають три іони O^{2-} , то у ви-

Параметри месбауерівських спектрів продуктів земного вивітрювання октаедриту Сіхоте-Алінь (зр. 1) та окиснених металевих пластинок атакситу Чінге (зр. 2)

Parameters of Mössbauer spectra of terrestrial weathering products of the Sikhote-Alin octahedrite (sample 1) and oxidized metal plates of the Chinga ataxite (sample 2)

Зразок	Т, К	Фаза	Позиція (іон)	$H_{\text{вн}}$, кЕ	І.З., мм/с	К.Р., мм/с	Γ , мм/с	S , %	
1	300	Магеміт	Fe^{3+}	489	0,31	-0,02	0,76	22,9	
			Гетит	1(Fe^{3+})	324	0,33	-0,24	0,52	2,6
		ПМФ + СПМФ	2(Fe^{3+})	277	0,35	-0,23	0,63	3,4	
			3(Fe^{3+})	213	0,32	-0,22	2,62	22,1	
			Fe_1^{3+}	0	0,36	0,70	0,58	49	
1	77	Магеміт	Fe^{3+}	518	0,41	0,02	0,57	16,3	
			Гетит	1(Fe^{3+})	485	0,47	-0,18	0,55	31,2
		ПМФ СПМФ	2(Fe^{3+})	451	0,47	-0,18	0,70	15,3	
			3(Fe^{3+})	398	0,44	-0,23	1,52	17,4	
			Fe_1^{3+}	0	0,40	0,83	1,22	15,3	
			Fe_2^{3+}	0	0,48	0,64	0,29	4,5	
2	300	Магеміт	Fe^{3+}	481	0,31	0,01	0,95	12	
			$\text{Fe}(\text{Ni}, \text{Co})_1$	Fe^0	340	0,03	-0,02	0,49	41
		ПМФ	$\text{Fe}(\text{Ni}, \text{Co})_2$	Fe^0	311	0,01	0,00	0,54	16
			"	Fe^{3+}	0	0,37	0,81	0,61	25
			"	Fe^{2+}	0	1,13	2,09	0,43	6

Примітка. $H_{\text{вн}}$ — внутрішнє магнітне поле на ядрах заліза; І.З. — ізомерний зсув відносно $\alpha\text{-Fe}$; К.Р. — квадрупольне розщеплення; Γ — напівширина лінії поглинання, S — відносна площа компоненти, %. Похибки визначення І.З., К.Р., Γ — 0,04 мм/с, $H_{\text{вн}}$ — 5 кЕ, S — 5 %. ПМФ і СПМФ — пара- і суперпарамагнітна фази.

Note. $H_{\text{вн}}$ — internal magnetic field at the nuclei of iron; І.З. — isomer shift relative to $\alpha\text{-Fe}$; К.Р. — quadrupole splitting; Γ — half-width of the absorption line, S — relative area of the component, %. Error of І.З., К.Р., Γ — 0.04 mm/s, $H_{\text{вн}}$ — 5 kE, S — 5 %. ПМФ and СПМФ — paramagnetic and super paramagnetic phases.

падку приєднання молекул H_2O , крім основної конфігурації ближнього оточення (три іони O^{2-} і три OH -групи), можливе різномовірне виникнення ще трьох конфігурацій внаслідок утворення слабких водневих зв'язків з молекулами води одного, двох і трьох іонів кисню відповідно [3].

Дублет, внесок якого в сумарний спектр становить 49 %, діагностовано нами як результат сумарного поглинання Fe^{3+} в структурах парата суперпарамагнітної фаз, з огляду на зменшення його інтенсивності в низькотемпературному (77 К) спектрі.

Аналогічну апроксимацію виконано для спектра, отриманого за температури рідкого азоту (рис. 4, *b*). Секстет з максимальним значенням $H_{\text{вн}}$ ($S = 16,3\%$) був пов'язаний з внеском у резонансне поглинання магеміту, три інші ($S = 63,9\%$) — гетиту. Збільшення внеску компоненти α - $FeOON$ в площу низькотемпературного сумарного спектра, порівняно з її внеском у МС за кімнатної температури, можна пояснити: 1) переходом частини іонів Fe^{3+} , що знаходились у нанорозмірних частинках у суперпарамагнітному стані за кімнатної температури, в магнітнвпорядкований стан за температури рідкого азоту, значення якої нижче від температури блокування спін-ґраткової релаксації [2, 11]; 2) збільшенням коефіцієнта резонансного поглинання Fe^{3+} у структурі гетиту за рахунок заморожування води в його структурі та зменшення при цьому середнього квадрата амплітуди коливань резонансного ядра в напрямку випромінювання γ -квантів [2, 11].

Новий дублет із дещо більшим значенням квадрупольного розщеплення, вірогідно, є результатом резонансного поглинання γ -квантів на ядрах Fe^{3+} у структурах силікатів.

МС метеорита Чінге (рис. 5) апроксимовано трьома секстетамі магнітного та двома дублетами квадрупольного розщеплення. Секстет з максимальним значенням внутрішнього магнітного поля на ядрі заліза ($H_{\text{вн}} = 481$ кЕ), виходячи із викладених вище щодо спектрів метеорита Сіхоте-Алінь міркувань і посилай на опубліковані джерела, пов'язаний нами з резонансним поглинанням гамма-випромінювання на ядрах Fe^{3+} в структурі γ - Fe_2O_3 . Дещо менші значення $H_{\text{вн}}$, порівняно з їхнім значенням для масивного зразка, можуть бути пояснені малим розміром частинок [26] чи ізоморфними заміщеннями типу $Fe_{2-x}R_xO_3$, де R — метал

[33]. Велике значення ширини резонансних ліній свідчить про існування множини магнітних станів іонів Fe^{3+} внаслідок неоднозначності їх ближнього оточення, пов'язаної, вірогідно, з різницею ймовірностей розподілу вакансій чи ізоморфних елементів у структурі. Магеміт як продукт вивітрювання залізних метеоритів у земних умовах, також був виявлений у ході мессбауерівських досліджень метеоритів Сіхоте-Алінь і Чінге [22].

Секстети з меншими значеннями $H_{\text{вн}}$ (340 та 311 кЕ), аналогічно до викладеного [5], віднесені нами до резонансного поглинання α - Fe , Ni , Co з різними значеннями концентрації та ймовірністю розподілу Ni та Co в сплаві.

Два квадрупольних дублети відповідно до встановленої залежності їх параметрів від координаційного числа [1] віднесені нами до вкладу в поглинання резонансних іонів Fe^{3+} (менше значення К.Р.) та Fe^{2+} (більше значення К.Р.) в октаедричному оточенні. Припускаємо, що обидва вони можуть бути пов'язані з внеском у резонансне поглинання силікатних фаз. Наявність дублета Fe^{2+} в продуктах вивітрювання метеоритів Сіхоте-Алінь та Чінге у роботі [22] пов'язана із залізом у структурі глини або $FeCl_2$ (лавренситу), а дублету Fe^{3+} — з внеском заліза в парамагнітному стані в структурі β - $FeOON$ (акаганейту). Відсутність у роботі значень параметрів дублетів виключає можливість зіставлення нами результатів діагностики фаз.

Висновки. За допомогою методів мессбауерівської спектроскопії та рентгенофазового аналізу визначено продукти земного вивітрювання в зразках двох залізних метеоритів — Сіхоте-Алінь та Чінге. Серед продуктів вивітрювання з фрагмента октаедриту Сіхоте-Алінь діагностовано: 1) вперше — тонкодисперсний гетит із структурними катіонами Fe^{3+} у магнітнвпорядкованому і суперпарамагнітному станах; 2) магеміт. Наявність різних станів магнітного впорядкування іонів Fe^{3+} в структурі тонкодисперсного гетиту пов'язуємо з гідратацією його структури понад моногідрату та існуванням в мінералі кристалітів різного розміру.

Окрім продуктів земного вивітрювання октаедриту у метеориті Сіхоте-Алінь вперше встановлено аморфний кремнезем з домішкою алюмосилікатного скла, що можна пояснити земним забрудненням під час перебування фрагмента метеорита в ґрунті.

У зразку атакситу Чінге діагностовано металеві фази — камасит α -Fe, Ni, Co і теніт γ -Fe, Ni, а уширення дифракційних ліній обох фаз свідчать про їх кристалічність. Склад камаситу представлений широким діапазоном концентрації та ймовірності розподілу домішок. Встановлено домінування фази α -Fe, Ni над γ -Fe, Ni.

У дослідженому фрагменті атакситу Чінге серед продуктів земного вивітрювання нами вперше виявлено фазу магеміту. Враховуючи результати попередніх досліджень [12, 15], можна стверджувати, що у вивітрених зразках атакситу Чінге утворилась екзогенна мінеральна асоціація гетиту, магеміту і СІ-акаганейту, яка виникла в процесі лімонізації нікелістого заліза під час перебування фрагмента цього метеорита в алювіальному водному середовищі. Діагностовано фази з вмістом іонів Fe^{3+} і Fe^{2+} в парамагнітному стані, які, на нашу думку, можуть бути пов'язані із силкатами. Знайдені в зразку силкати і кварц належать до продуктів земного забруднення метеорита Чінге.

Нами підтверджено висновок [12] про особливості мінерального складу вивітрених ділянок металу атакситу Чінге, для яких встановлено мінеральну асоціацію оксидів-оксигідроксидів заліза з фазою менш стійкого камаситу, яка домінує.

Отримані дані мессбауерівської спектроскопії стосовно знахідки тонкодисперсного гетиту α -FeOОН у вивітrenomу зразку октаедриду Сіхоте-Алінь і магеміту γ -Fe₂O₃ у продуктах вивітрювання атакситу Чінге відрізняються від результатів подібних робіт, в яких було повідомлено про дещо інший склад оксидів-оксигідроксидів заліза [22]. Ця відмінність продуктів земного вивітрювання зумовлена впливом локальних умов середовища на процес заміщення метеоритного металу, в якому перебували різні фрагменти обох залізних метеоритів.

Комплекс отриманих результатів мессбауерівської спектроскопії, рентгенофазового аналізу, а також проведеного раніше електронно-мікроскопічного вивчення морфології з визначенням хімічного складу тонких продуктів земного вивітрювання в окиснених металевих пластинках метеорита Чінге [15] дозволяє класифікувати морфологічні різновиди оксидів-оксигідроксидів Fe, пов'язані з мінеральною асоціацією магеміту, гетиту і СІ-акаганейту. Магеміт представлений мікрокристалами пластинчастої форми. Гетит утворює голчасті мікрокристали та їх щіткоподібні агрегати. Видов-

жені, веретеноподібні мікрокристалики СІ-акаганейту зібрані у тонкозернисті, пучкоподібні агрегати, які разом з гетитом є складовою сфероїдів, розвинених на поверхні металевих пластинок з атакситу Чінге.

Висловлюємо щире подяку д-ру геол.-мінерал. наук, проф. В.П. Семенову (ДУ "ІГНС НАН України") за цінні наукові консультації та поради під час підготовки статті, відбору матеріалу та надані зразки; зав. хімічною лабораторією ІГМР НАН України, д-ру хім. наук А.І. Самчуку та наук. співр. хімічної лабораторії О.П. Красюк — за технічну допомогу у ході підготовки зразків для РФА; зав. лабораторією ізотопної геохімії ДУ "ІГНС НАН України" канд. геол.-мінерал. наук Ю.М. Деміхову — за технічне сприяння у проведенні інструментальних досліджень; інженеру відділу регіональної та генетичної мінералогії ІГМР НАН України Г.І. Демиденко за технічну допомогу у проведенні РФА.

ЛІТЕРАТУРА

1. Бенкрофт Г., Меддок А., Барнс Р. Применение эффекта Мессбауэра к минералогии силикатов: I. Силикаты железа с известной структурой // Физика минералов. — М.: Мир, 1971. — С. 179—204.
2. Вертгейм Г. Эффект Мессбауэра. Принципы и применения. — М.: Мир, 1966. — 172 с.
3. Гендлер Т.С., Кузьмин Р.Н., Уразабаева Т.К. Исследование эффекта Мессбауэра в гидротите // Кристаллография. — 1970. — 21, вып. 4. — С. 774—781.
4. Гончаров Г.Н., Останевич Ю.М., Томилов С.Б. Эффект Мессбауэра в гидроокислах железа // Минералогия и геохимия. — Л.: ЛГУ, 1967. — № 2. — С. 71—80.
5. Гроховский В.И., Жиганова Е.В., Ларионов М.Ю., Уймина К.А., Оштрах М.И. Мессбауэровская спектроскопия с высоким скоростным разрешением в исследовании метеоритов // Физика металлов и металловедение. — 2008. — 105, № 2. — С. 189—200.
6. Заварицкий А.Н., Кваша Л.Г. Метеориты СССР. — М.: Изд-во АН СССР, 1952. — 245 с.
7. Мальшева Т.В. Эффект Мессбауэра в геохимии и космохимии. — М.: Наука, 1975. — 166 с.
8. Мальшева Т.В., Барышникова Г.В., Полосин А.В. Распределение железа в минералах хондр и матрицы обыкновенных хондритов 4-го петрологического типа // Метеоритика. — 1986. — Вып. 45. — С. 85—94.
9. Мальшева Т.В., Шевалеевский И.Д., Швагерев В.Д. Исследование метеорита Сихотэ-Алинь методами мессбауэровской и микрорентгеновской спектроскопии // Метеоритика. — 1974. — № 33. — С. 113—116.
10. Методы минералогических исследований: Справ. / Под ред. А.И. Гинзбурга. — М.: Недра, 1985. — 480 с.

11. Пономаренко О.М., Іваницький В.П., Брик О.Б., Дудченко Н.О. Властивості природних, синтетичних та біогенних оксидів та гідроксидів заліза за даними месбауерівської спектроскопії. — К.: Наук. думка, 2013. — 159 с.
12. Семенов В.П., Самойлович Л.Г., Егорова Л.Н., Козлов И.С. Состав и строение фаз никелистого железа в атаксите Чинге // Метеоритика. — 1982. — Вып. 41. — С. 93—95.
13. Соботович Э.В., Семенов В.П. Вещество метеоритов. — Киев: Наук. думка, 1984. — 192 с.
14. Уймина К.А., Ларионов М.Ю., Карабаналов М.С. Определение кристаллографических ориентировок методом EBSD в сплавах внеземного происхождения // X Междунар. науч.-техн. Урал. шк.-сем. металловедов — молодых ученых. — Екатеринбург, 2009. — С. 136—138.
15. Ширінбекова С.Н., Семенов В.П. Особливості селективного вивітрювання атакситу Чинге // ЗУМТ. — 2006. — 3. — С. 196—199.
16. Юдин И.А., Коломенский В.Д. Минералогия метеоритов. — Свердловск: УНЦ АН СССР, 1987. — 200 с.
17. Albertsen J.F., Aydin M., Knudsen J.M. Mössbauer effect studies of taenite lamellae of an iron meteorite Cape York (III.A) // Phys. Scripta. — 1978. — 17. — P. 467—472.
18. Bauminger R., Cohen S.G., Marinov A., Ofer S. Study of the internal fields acting on iron nuclei in iron garnet, using the recoil-free absorption in Fe⁵⁷ of the 14.4 keV gamma radiation from Fe^{57m} // Phys. Rev. — 1961. — 122, No 3. — P. 743—748.
19. Bland P.A., Berry F.J., Jull A.J.T., Smith T.B., Bevan A.W.R., Cadogan J.M., Sexton A.S., Franchi L.A., Pillinger C.T. ⁵⁷Fe Mössbauer spectroscopy studies of meteorites: Implications for weathering rates, meteorites flux and early solar system processes // Hyperfine Interactions. — 2002. — 142. — P. 481—494.
20. Bland P.A., Sexton A.S., Jull A.J.T., Bevan A.W.R., Berry F.J., Thornley D.M., Astin T.R., Britt D.T., Pillinger C.T. Climate and rock weathering: A study of terrestrial age dated ordinary chondritic meteorites from hot desert regime // Geochim. et cosmochim. acta. — 1998. — 62. — P. 3169—3184.
21. Graham A.L., Bevan A.W.R., Hutchison R. Catalogue of Meteorites: with special reference to those represented in the collection of the British Museum (Natural History). — Tucson, Ariz.: Univ. Arizona Press, 1985. — 460 p.
22. Grokhovsky V.I., Mamaev I.A., Milder O.B., Oshtrakh M.I. Weathering and corrosion of iron meteorites studied by Mössbauer spectroscopy // Meteoritics and Planet. Sci. Suppl. — 2002. — 37. — P. A56.
23. Grokhovsky V.I., Oshtrakh M.I., Milder O.B., Semionkin V.A. Mössbauer spectroscopy of iron meteorite Dronino and products of its corrosion // ICAME. — 2005—2007. — 1 (Part I-II/V). — P. 671—677.
24. Kelly W.H., Hass M., Schreiner W.N., Beard G.B. Mössbauer effect in γ -Fe₂O₃ // Bull. Amer. Phys. Soc. — 1961. — 6, No 2. — P. 135.
25. Maliszewski A., Szlachta K., Galanzka-Friedman J., Bakun-Czubarow N. Mössbauer studies of Polish enstatite meteorite — Zakłodzie // Hyperfine Interact. — 2008. — 186. — P. 121—125.
26. Nakamura T., Shimizu S. Experimental study of the Mössbauer effect of Fe⁵⁷ in several iron compounds // Bull. Inst. Chem. Res., Kyoto Univ. — 1964. — 42, No 5. — P. 310—318.
27. Oshtrakh M.I., Grokhovsky V.I., Abramova N.V., Semionkin V.A., Milder O.B. Iron-nickel alloy from iron meteorite Chinga studied by Mössbauer spectroscopy with high velocity resolution // ISIAEME 2008. — 2009. — P. 317—324.
28. Oshtrakh M.I., Larionov M.Yu., Grokhovsky V.I., Semionkin V.A. Study of iron meteorite Sikhote-Alin and extracted iron-nickel phosphides using Mössbauer spectroscopy with high velocity resolution // Hyperfine Interactions. — 2008. — 186, Is. 1—3. — P. 53—59.
29. Oshtrakh M.I., Milder O.B., Grokhovsky V.I., Semionkin V.A. Hyperfine interactions in iron meteorites: comparative study by Mössbauer spectroscopy // Hyperfine Interact. — 2004. — 158, Is. 1—4. — P. 365—375.
30. Petersen J.F., Aydin M., Knudsen J.M. Mössbauer spectroscopy of an ordered phase (superstructure) of FeNi in an iron meteorite // Phys. Lett. A. — 1977. — 62, Is. 3—8. — P. 192—194.
31. Scorzelli R.B. Application of the Mössbauer effect to the study of meteorites — A review // Hyperfine Interactions. — 1991. — 66, Is. 1—4. — P. 249—257.
32. Solberg T.C., Burns R.G. Mossbauer spectra of weathered stony meteorites relevant to oxidation on Mars: I. Chondrites // LPSC. — 1988. — XIX. — P. 1103—1104.
33. Szutula A., Burawicz A., Dyrek K., Hryniewicz A., Kulgawczuk D., Obuszko Z., Rzany H., Wanic A. Susceptibility measurements of antiferromagnetic α -goethite // Phys. Status Solidi. B. — 1966. — 17, No 2. — P. K195—K197.
34. Verma H.C., Tripathi R.P. Anomalous Mössbauer parameters in the second generation regolith Ghubara meteorite // Meteoritics and Planet. Sci. — 2004. — 39, No 10. — P. 1755—1759.
35. Whitney D.L., Evans B.W. Abbreviations for names of rock-forming minerals // Amer. Miner. — 2010. — Vol. 95. — P. 185—187.
36. Wojnarowska A., Dziel T., Galanzka-Friedman J., Karwowsky L. New mineralogical phases identified by Mössbauer measurements in Morasko meteorite // Hyperfine Interact. — 2008. — 186. — P. 167—171.

Надійшла 03.09.2014

REFERENCES

1. Bancroft, G.M., Maddok, A.G. and Burns, R.G. (1967), *Geochim. et cosmochim. acta*, Vol. 31 No 1, pp. 2219-2249.
2. Vertheim, G. (1966), *Effekt Messbauera. Printsipy i primeneniya*, Mir, Moscow, 172 p.
3. Gendler, T.S., Kuz'min, R.N. and Urazabaeva, T.K. (1970), *Kristallografia*, Vol. 21 Vyp. 4, pp. 774-781.
4. Goncharov, G.N., Ostanevich, Yu.M. and Tomilov, S.B. (1967), *Mineralogia i geochimia*, LGU, Leningrad, No 2, pp. 71-80.
5. Grokhovsky, V.I., Zhiganova, Ye.V., Larionov, M.Yu., Uimina, K.A. and Oshtrakh, M.I. (2008), *Fizika metallov i metallovedenie*, Vol. 105 No 2, pp. 189-200.

6. Zavaritsky, A.N. and Kvasha, L.G. (1952), *Meteority SSSR*, Izd-vo AN SSSR, Moscow, 245 p.
7. Malysheva, T.V. (1975), *Effekt Messbauera v geokhimii i kosmochimii*, Nauka, Moscow, 166 p.
8. Malysheva, T.V., Baryshnikova, G.V. and Polosin, A.V. (1986), *Meteoritika*, Vyp. 45, pp. 85-94.
9. Malysheva, T.V., Shevaleevsky, I.D. and Shvagerev, V.D. (1974), *Meteoritika*, Vyp. 33, pp. 113-116.
10. Ginzburg, A.I. (ed.) (1985), *Metody mineralogicheskikh issledovaniy*, Spravochnik, Nedra, Moscow, 480 p.
11. Ponomarenko, O.M., Ivanitsky, V.P., Brik, A.B. and Dudchenko, N.O. (2013), *Vlastivosti prirodnykh, sintetichnykh ta biogennykh oksidiv ta gidroksidiv zaliza za danimi mesbauerivs'koї spektroskopii*, Naukova dumka, Kyiv, 159 p.
12. Semenenko, V.P., Samoilovich, L.G., Yegorova, L.N. and Kozlov, I.S. (1982), *Meteoritika*, Vyp. 41, pp. 93-95.
13. Sobotovych, E.V. and Semenenko, V.P. (1984), *Veshhestvo meteoritov*, Naukova dumka, Kiev, 192 p.
14. Uimina, K.A., Larionov, M.Yu. and Karabanalov, M.S. (2009), *Opreделение kristallograficheskikh orientirovok metodom EBSD v splavakh vnezemnogo proiskhozhdeniya*, X Mezhdunar. nauch.-tekhn. Ural. shk.-sem. metallovedov - molodykh uchenykh, Yekaterinburg, pp. 136-138.
15. Shyrinbekova, S.N. and Semenenko, V.P. (2006), *ZUMT*, Vol. 3, pp. 196-199.
16. Yudin, I.A. and Kolomenski, V.D. (1987), *Mineralogiya meteoritov*, UNTs AN SSSR, Sverdlovsk, 200 p.
17. Albertsen, J.F., Aydin, M. and Knudsen, J.M. (1978), *Phys. Scripta*, Vol. 17, pp. 467-472.
18. Bauminger, R., Cohen, S.G., Marinov, A. and Ofer, S. (1961), *Phys. Rev.*, Vol. 122 No 3, pp. 743-748.
19. Bland, P.A., Berry, F.J., Jull, A.J.T., Smith, T.B., Bevan, A.W.R., Cadogan, J.M., Sexton, A.S., Franchi, L.A. and Pillinger, C.T. (2002), *Hyperfine Interactions*, Vol. 142, pp. 481-494.
20. Bland, P.A., Sexton, A.S., Jull, A.J.T., Bevan, A.W.R., Berry, F.J., Thornley, D.M., Astin, T.R., Britt, D.T. and Pillinger, C.T. (1998), *Geochim. et cosmochim. acta*, Vol. 62, pp. 3169-3184.
21. Graham, A.L., Bevan, A.W.R. and Hutchison, R. (1985), *Catalogue of Meteorites: with special reference to those represented in the collection of the British Museum (Natural History)*, Univ. Arizona Press, Tucson, Ariz., 460 p.
22. Grokhovsky, V.I., Mamaev, I.A., Milder, O.B. and Oshtrakh, M.I. (2002), *Meteoritics and Planet. Sci.*, Suppl., Vol. 37, P. A56.
23. Grokhovsky, V.I., Oshtrakh, M.I., Milder, O.B. and Semionkin, V.A. (2005-2007), *ICAME*, Vol. 1 (Part I-II/V), pp. 671-677.
24. Kelly, W.H., Hass, M., Schreiner, W.N. and Beard, G.B. (1961), *Bull. Amer. Phys. Soc.*, Vol. 6 No 2, p. 135.
25. Maliszewski, A., Szlachta, K., Gałanzka-Friedman, J. and Bakun-Czubarow, N. (2008), *Hyperfine Interaction*, Vol. 186, pp. 121-125.
26. Nakamura, T. and Shimizu, S. (1964), *Bull. Inst. Chem. Res., Kyoto Univ.*, Vol. 42 No 5, pp. 310-318.
27. Oshtrakh, M.I., Grokhovsky, V.I., Abramova, N.V., Semionkin, V.A. and Milder, O.B. (2009), *ISIAME*, 2008, pp. 317-324.
28. Oshtrakh, M.I., Larionov, M.Yu., Grokhovsky, V.I. and Semionkin, V.A. (2008), *Hyperfine Interactions*, Vol. 186 Is. 1-3, pp. 53-59.
29. Oshtrakh, M.I., Milder, O.B., Grokhovsky, V.I. and Semionkin, V.A. (2004), *Hyperfine Interactions*, Vol. 158 Is. 1-4, pp. 365-375.
30. Petersen, J.F., Aydin, M. and Knudsen, J.M. (1977), *Phys. Lett. A*, Vol. 62 Is. 3-8, pp. 192-194.
31. Scorzelli, R.B. (1991), *Hyperfine Interactions*, Vol. 66 Is. 1-4, pp. 249-257.
32. Solberg, T.C. and Burns, R.G. (1988), *LPSC*, XIX, pp. 1103-1104.
33. Szutula, A., Burawicz, A., Dyrek, K., Hryniewicz, A., Kulgawczuk, D., Obuszko, Z., Rzany, H. and Wanic, A. (1966), *Phys. Status Solidi. B.*, Vol. 17 No 2, pp. K195-K197.
34. Verma, H.C. and Tripathi, R.P. (2004), *Meteoritics and Planet. Sci.*, Vol. 39 No 10, pp. 1755-1759.
35. Whitney, D.L. and Evans, B.W. (2010), *Amer. Miner.*, Vol. 95, pp. 185-187.
36. Wojnarowska, A., Dziel, T., Gałanzka-Friedman, J. and Karwowsky, Ł. (2008), *Hyperfine Interaction*, Vol. 186, pp. 167-171.

Received 03.09.2014

В.П. Іваницький¹, С.Н. Ширинбекова²,
Е.Е. Гречановская¹, Э.В. Польшин³

¹ Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. Н.П. Семененко НАН України
03680, г. Київ-142, Україна, пр. Акад. Палладина, 34
E-mail: grechanovskaya@gmail.com

² ГУ "Інститут геохімії оточуючої середовища НАН України"
03680, г. Київ-142, Україна, пр. Акад. Палладина, 34а
E-mail: cosmin@i.ua

³ Інститут металлофізики ім. Г.В. Курдюмова НАН України
03680, г. Київ-142, Україна, бульв. Вернадського, 36
E-mail: ernst_polshin@yahoo.com

СОСТАВ ПРОДУКТОВ ЗЕМНОГО ВИВЕТРИВАНИЯ ЖЕЛЕЗНЫХ МЕТЕОРИТОВ СИХОТЭ-АЛИНЬ И ЧИНГЕ ПО ДАННЫМ МЕССБАУЭРОВСКОЙ СПЕКТРОСКОПИИ И РЕНТГЕНОФАЗОВОГО АНАЛИЗА

С помощью методов мессбауэровской спектроскопии и рентгенофазового анализа диагностированы продукты земного выветривания двух железных метеоритов Сихотэ-Алинь и Чинге. В тонкодисперсных продуктах земного выветривания октаэдрита Сихотэ-Алинь диагностирован маггемит и впервые обнаружен гетит. Наличие разных состояний магнитного упорядочения ионов Fe³⁺ (магнитупорядоченного и суперпарамагнитного) в структуре гетита в октаэдрите Сихотэ-Алинь связано с существованием в минерале кристаллитов разного размера. В выветренном образце октаэдрита Сихотэ-Алинь также установлен аморфный кремнезем с примесью алюмосиликатного стекла, что связано с земным загрязнением в период пребывания фрагмента метеорита в почве. В окисленных металлических пластинках атаксита Чинге впервые диагностирована фаза маггемита. Установленная минеральная ассоциация маггемит + гетит + Сl-акаганеит в продуктах земного выветривания отражает особенности окисления фрагмента железного метеорита Чинге в

условиях аллювиальной водной среды. Фаза камасита из выветренного металла данного метеорита характеризуется широким диапазоном значений концентрации и вероятности распределения примесей. Фазы, содержащие ионы Fe^{3+} и Fe^{2+} в парамагнитном состоянии, можно отнести к силикатам, являющимся продуктами земной контаминации фрагмента метеорита Чинге.

Ключевые слова: железные метеориты, гетит, маггемит, мессбауэровская спектроскопия, рентгенофазовый анализ.

*V.P. Ivanitskiy*¹, *S.N. Shyrinbekova*²,
*E.E. Grechanovskaya*¹, *E.V. Polshin*³

¹ M.P. Semenenko Institute of Geochemistry,
Mineralogy and Ore Formation of NAS of Ukraine
34, Acad. Palladina Pr., Kyiv-142, Ukraine, 03680
E-mail: grechanovskaya@gmail.com

² State Institution "Institute of Environmental
Geochemistry of NAS of Ukraine"
34a, Acad. Palladina Pr., Kyiv-142, Ukraine, 03680
E-mail: cosmin@i.ua

³ G.V. Kurdyumov Institute of Metallophysics
of NAS of Ukraine
36, Vernadsky Av., Kyiv-142, Ukraine, 03680
E-mail: ernst_polshin@yahoo.com

COMPOSITION OF TERRESTRIAL WEATHERING
PRODUCTS OF THE SIKHOTE-ALIN
AND CHINGA IRON METEORITES STUDIED
BY MÖSSBAUER SPECTROSCOPY AND X-RAY
DIFFRACTION ANALYSIS

Terrestrial weathering products of the Sikhote-Alin and Chinga iron meteorites samples were identified by the

methods of Mössbauer spectroscopy and X-ray diffraction analysis. Maghemite and goethite phases were identified in the finedispersed terrestrial weathering products from the Sikhote-Alin meteorite sample. Goethite phases were found for the first time. The presence of the different states of magnetic ordering of the magnetic-ordered and super paramagnetic Fe^{3+} ions in the structure of goethite from the Sikhote-Alin meteorite sample is related to the wide range of size distribution of the crystalline particles. Amorphous silica was found as the terrestrial (soil) contamination product of the Sikhote-Alin meteorite sample. The phase of maghemite was first found in oxidized metal plates from the Chinga meteorite. This makes it possible to suggest that lamellar crystals are maghemite, that were found at previous SEM study of the Chinga oxidized metal plates. The mineral association maghemite + goethite + akaganite was found, that reflects the weathering and corrosion of the iron meteorite Chinga fragment in conditions of alluvial aquatic environment. Kamacite phase in Chinga weathered metal plates is characterized by a wide range of concentrations and the probability of impurity distribution. The presence of phases that containing ions Fe^{3+} and Fe^{2+} in the paramagnetic state, can be associated with silicates as the result of terrestrial contamination of the Chinga sample.

Keyword: iron meteorites, goethite, maghemite, Mössbauer spectroscopy, X-ray diffraction analysis.