

УДК 546.91 : 543.42

О.М. Пономаренко, А.І. Самчук,
О.П. Красюк, Т.І. Макаренко, О.Г. Антоненко**АНАЛІТИЧНІ СХЕМИ ПРОБОПІДГОТОВКИ ГІРСЬКИХ ПОРІД
ТА МІНЕРАЛІВ І ВИЗНАЧЕННЯ В НИХ МІКРОЕЛЕМЕНТІВ
МЕТОДОМ МАС-СПЕКТРОМЕТРІЇ З ІНДУКЦІЙНО
ЗВ'ЯЗАНОЮ ПЛАЗМОЮ (ICP-MS)**

Наведено аналітичні схеми розкладання гірських порід та мінералів з використанням мікрохвильової системи *ETHOS-I*, що дозволяють значно зменшити тривалість та працемісткість пробопідготовки. Наведено результати *ICP-MS* визначення мікроелементів у природних об'єктах без попереднього концентрування.

Вступ. Інтерес аналітиків до розробки нових ефективних способів пробопідготовки гірських порід та мінералів з використанням мікрохвильових (МХ) систем помітно зростає, що обумовлено прискоренням завдяки МХ-випроміненню фізико-хімічних процесів розкладання проб у кислотах та досягненням повноти розкладання. Пробопідготовка до аналізу є найважливішою, необхідною і разом з тим найтривалішою, працемісткою та затратною стадією аналітичного дослідження.

Особливо перспективним є гармонійне поєднання методу розкладання гірських порід у МХ-печах і визначення мікроелементів за допомогою методу мас-спектрометрії з індукційно зв'язаною плазмою (*ICP-MS*). Використання МХ-випромінювання дозволяє досягти істотного скорочення відтинку часу, протягом якого відбувається перехід проби гірської породи або мінералу в розчин. Це обумовлено дією таких чинників: створення в автоклаві високих температури та тиску (250 °С, 8 МПа) і вплив МХ-випромінювання на розчин та твердий зразок [1–3].

Метою нашого дослідження було створення аналітичних схем аналізу гірських порід та мінералів, побудованих за блоково-модульним принципом, які охоплюють пробопідготовку

(як із МХ-розкладанням, так і з класичним), одержання аналітичних форм і *ICP-MS* визначення вмісту рідкісних та благородних елементів.

Об'єкти та методи дослідження. *Розчини та реактиви:* лужні плавні Na_2O_2 , LiBO_2 (ч. д. а.), концентровані HF , HCl , HNO_3 , H_2SO_4 , H_3PO_4 (ос. ч.), які додатково очищали, використовуючи систему *SUBBOILING*. Воду із опором 18,2 Мом/см одержували за допомогою системи *DIRECT-03* фірми *MILLIPORE*. Для побудови калібрувальних графіків застосовували стандартні розчини елементів *FLUKA* (фірми *SIGMA-OLDRICH*, Швейцарія), а також стандартні зразки Фізико-хімічного інституту ім. О.В. Богатського НАН України.

Розчинення проб проводили у МХ-печі *ETHOS* фірми *MILESTONE* (Італія). Робоча частота МХ-випромінювання 2450 МГц, максимальна потужність — 1600 Вт. Значення температури, часу розкладання природних об'єктів та контроль за значеннями параметрів під час проходження реакції в автоклавах задається та здійснюється за допомогою сенсора із керамічним і тефлоновим покриттям, керування здійснюється через термінал із кольоровим монітором (*VGA 640–480*).

Вміст рідкісних і благородних елементів визначали за допомогою *ICP-MS* аналізатора *ELEMENT-2* (Німеччина). Як внутрішній стандарт використовували індій (^{115}In), а

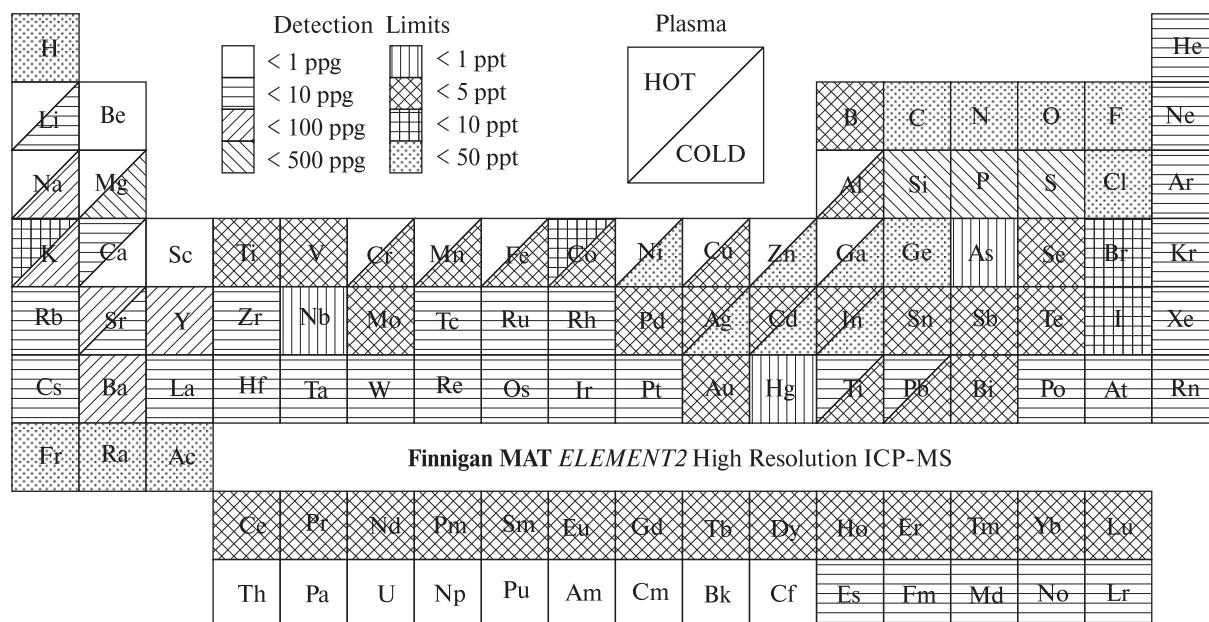


Рис. 1. Чутливість визначення елементів за допомогою ICP-MS [5]

зовнішній — стандартні зразки габро-ефективного (СГД-1А; СГД-2) і хвостів золотоносної руди (СЗХ-3) (Інститут геохімії ім. О.П. Виноградова СВ РАН). Чутливість визначення елементів і аналітичні схеми розкладання гірських порід та мінералів наведено на рис. 1 і у табл. 1 [4—6].

Аналітичні схеми, результати та їх обговорення. У сучасній ICP-MS проби вводять у плазму, як правило, у вигляді розчинів, тому актуальною залишається проблема розкладання мінеральної речовини з метою одержання розчинів, необхідних для аналізу.

Огляд опублікованих даних показує, що у процесі розкладання мінеральної речовини не завжди враховуються особливості ICP-MS аналізу. Раціональний хід аналізу повинен передбачати відповідність розчинників і реагентів умовам розкладання і, водночас, умовам подальшого вимірювання аналітичного сигналу. Через це виникає потреба в розгляді особливостей і можливостей використання різних способів розкладання гірських порід та мінералів і переведення їх у розчин у вигляді сполук, здатних досить легко транспортуватися в плазму. Окрім того, для ICP-MS концентрація речовини в розчині не повинна перевищувати 10 мг/мл, оскільки склад і концентрація розчину значно впливають на процеси переносу і розподіл атомів у плазмі, величину аналітичного сигналу на всіх стадіях його формування, на процес синтезу і випаровування

часточок аерозолі. Підвищення концентрації, поверхневого натягу, в'язкості розчину призводить до збільшення розміру часточок в аерозолі, зниження ефективності небулайзера і, як наслідок, до виникнення ефекту матричної інтерференції [4—7].

Раціональні схеми розкладання для подальшого ICP-MS аналізу повинні задовольняти такі вимоги: повне вилучення елементів, що визначаються, із досліджуваної проби; універсальність або можливість застосування до проб різного складу; можливість визначення багатьох компонентів; низький сигнал холостої проби, що має особливе значення у випадку визначення нанограммового вмісту елементів; відокремлення компонентів; що заважають дослідженню, зокрема мінеральних; висока чутливість; відтворюваність результату.

Для розкладання мінеральної сировини найчастіше застосовують фтористоводневу, соляну, азотну і сірчану кислоти. Процес розкладання ґрунтується на руйнуванні структури мінералів внаслідок хімічної взаємодії їхніх компонентів із уведеними реагентами і сольватації. Швидкість процесу залежить від складу речовини, що аналізується, величини наважки і розміру фракції, а також від температури і концентрації кислоти.

Перевага застосування кислотного розкладання порівняно зі сплавленням гірських порід та мінералів полягає в тому, що в розчин не вводяться іони лужних металів.

У зв'язку з пошуком раціональних методик розкладання гірських порід і мінералів нами проведено порівняльну характеристику аналітичних схем розкладання: за допомогою суміші кислот і комбінованих зі сплавленням. Паралельно проведено розкладання в МХ-полі за підвищених значень тиску і температури.

Критерієм оцінки схем розкладання і розчинення проб мінералів слугував коефіцієнт переходу елемента з твердої проби у розчин, який визначали за відношенням вмісту елемента в розчині до його атестованого вмісту в пробі [6, 7]. Отже, повноту розчинення і ефективність аналітичних схем розкладання характеризує збільшення значення коефіцієнта і наближення його до одиниці.

Аналітична схема розкладання 1. Розкладання хлористоводневою і азотною кислотами. Наважку 0,25–0,1 г подрібненого матеріалу поміщали в термостійкий стакан, змочували його водою, добавляли 15–20 мл хлористоводневої кислоти (густина 1,19 г/см³), витримували за кімнатної температури не довше 60 хв. Потім розчин нагрівали і кип'ятили до припинення виділення газу. В охолоджений

стакан доливали 5–7 мл азотної кислоти (з густиною 1,4 г/см³) і продовжували нагрівати до розкладання проби. Розчин випаровували на водяній бані до сухих солей. Залишок розчиняли в 10 мл хлористоводневої кислоти (1,19 г/см³) і повторювали випаровування до вологих солей, яку, нагріваючи, розчиняли в 10 %-ній хлористоводневій кислоті. Розчин переливали у мірну колбу місткістю 50–100 мл і доливали до мітки тією ж кислотою.

Аналітична схема розкладання 2. Метод ґрунтується на розкладанні фтористоводневою і сірчаною кислотами. Наважку 0,25 г тонкоподрібненого досліджуваного матеріалу поміщали у чашку із платини або фторопласту, змочували невеликою кількістю води, приливали 20 мл фтористоводневої і 1 мл сірчаної кислот (1 : 1). Вміст чашки перемішували і проводили розкладання досліджуваного матеріалу на водяній бані. Розчин випаровували до появи парів сірчаної кислоти. Потім повторювали обробку кислотами, якщо розкладання проби було неповним. Одержаний розчин випаровували на піщаній бані до початку виділення парів сірчаної кислоти. Після охо-

Таблиця 1. Аналітичні схеми розкладання гірських порід та мінералів для ICP-MS аналізу [6]

Об'єкт аналізу	Реагент	Умови розкладання
Альбітизований граніт СГ-1А	4HNO ₃ + 3HCl + 2HF LiBO ₂ : n = 5 : 1	МХП — 220 °С, 25 хв Сплавлення — 900 °С
Амфібол, олівін, епідот	Те саме	Те саме
Гранат	4H ₂ SO ₄ + 2HNO ₃ + 2HF	МХП — 240 °С, 30 хв
Топаз, берил	H ₃ BO ₃ + LiF KHF ₂	Сплавлення "
Циркон	KHF ₂ : n = 10 : 1; H ₃ BO ₃ + LiF LiBO ₂ : n = 1 : 5 [2]	Сплавлення — 800 °С 45 хв, 1000 °С
Турмалін	H ₃ PO ₄ + H ₂ SO ₄ + HF	МХП — 240 °С
Хвости флотації та гравітації	Na ₂ O ₂ : n = 5 : 1 3HCl + 2HNO ₃ + 2HF	600 °С, сплавлення МХП — 230 °С, 30 хв
Доломіт, сидерит, паризит	6HCl + 2HNO ₃ + 2HF	МХП — 220 °С, 20 хв
Сульфідні руди	6HCl + 2HNO ₃ + 2HF	Те саме
Пірит, халькопірит, галеніт, сфалерит	HCl + HNO ₃	" "
Колумбіт	H ₂ SO ₄ + HF	МХП — 240 °С, 25 хв
Ільменіт	H ₃ BO ₃ + 3NaF	Сплавлення — 5 хв
Магнетит, хромові руди, хромшпінель	3H ₂ SO ₄ + 5H ₃ PO ₄	МХП — 240 °С, 30 хв
Рутил, корунд, колумбіт	H ₃ BO ₃ + NaF, LiBO ₂	Сплавлення
Шееліт, вольфраміт, каситерит	HCl LiBO ₂ : n = 6 : 1	МХП — 210 °С, 20 хв Сплавлення — 100 °С
Апатит	4HNO ₃ + 2HCl + 2HF	МХП — 200 °С, 15 хв
Монацит	4HNO ₃ + 2HCl + 2HF; H ₂ SO ₄	МХП — 210 °С, 20 хв

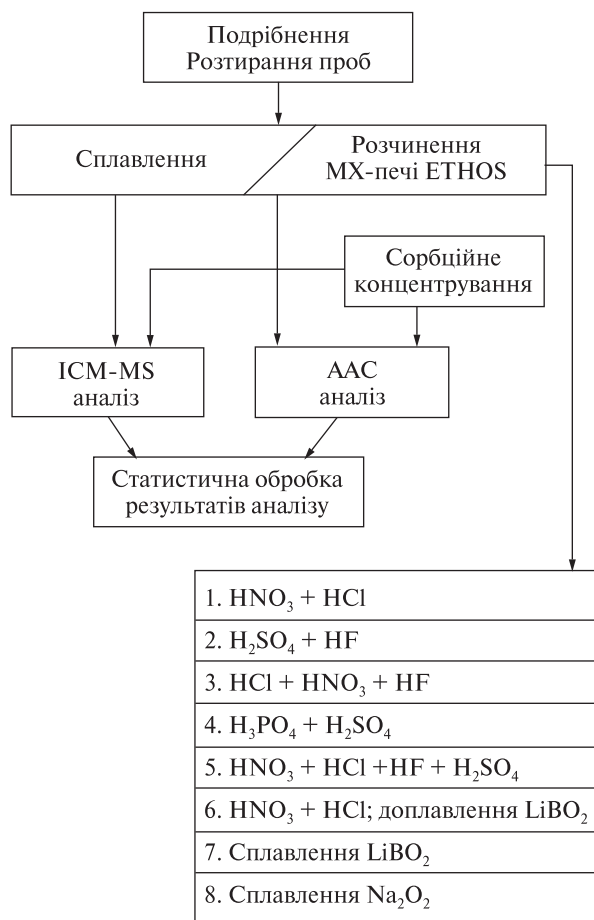


Рис. 2. Аналітичні схеми розкладання та ICP-MS аналізу гірських порід

лодження чашки обмивали її стінки струменем води. Щоб видалити фтор-іони, розчин випаровували на піщаній бані до появи густої білої пари сірчаної кислоти. Залишок сухих солей розчиняли, нагріваючи у 10 мл хлористоводневої кислоти (1 : 1). Розчин випаровували до вологих солей, які розчиняли в 20 мл 10 %-вої хлористоводневої кислоти. Розчин переливали у мірну колбу місткістю 100 мл і доводили до мітки 10 %-вим розчином тієї ж кислоти.

Аналітична схема розкладання 3. Метод ґрунтується на розкладанні фтористо-, хлористоводневою і азотною кислотами. Наважку 0,25–0,1 г досліджуваного матеріалу поміщали в чашку із фторопласту, змочували декількома краплинами води, добавляли 10 мл хлористоводневої і 20 мл фтористоводневої кислоти і залишали за кімнатної температури протягом 60 хв. Потім розчин випаровували на водяній бані, додавали 10 мл фтористоводневої кислоти і 15 мл свіжоприготованої суміші

(3 : 1) хлористоводневої й азотної кислот і продовжували розкладання з нагріванням до утворення сухої солі, обмивали краї чашки водою, повторювали випаровування на піщаній бані до видалення парів кислот. Залишок солей, нагріваючи, розчиняли у 5 мл хлористоводневої кислоти. Одержаний розчин переливали в мірну колбу місткістю 50–100 мл і доводили об'єм до мітки 10 %-вою соляною кислотою.

Аналітична схема розкладання 4. Метод ґрунтується на розкладанні мінеральної сировини в суміші фосфорної та сірчаної кислот. У тefлоновий автоклав поміщали 0,1 г тонкоподрібненої породи і доливали 3 мл H_2SO_4 і 4 мл H_3PO_4 . Ротор вставляли в МХ-піч, яку нагрівали за 240°C протягом 30 хв. Після охолодження автоклава розчин випаровували до сухих солей, які розчиняли 1 %-вою HNO_3 і переливали в мірну колбу місткістю 50 мл.

Аналітична схема розкладання 5. Метод ґрунтується на розкладанні проб в суміші хлористоводневої, азотної, фтористоводневої і сірчаної кислот в МХ-печі. Наважку проби 0,1–0,2 г поміщали в автоклав із фторопласту, доливали 10 мл хлористоводневої і 2 мл азотної, 2 мл фтористоводневої і 1 мл сірчаної кислоти. Тefлонова посудина має бути при цьому заповнена менш ніж на половину свого об'єму. Посудину щільно закривали кришкою і поміщали ротор в МХ-піч, яку нагрівали за 230°C протягом 30 хв. Після охолодження автоклава його розкривали, обмивали кришку посудини водою і випаровували розчин досуха до вилучення фтор-іона. Сухий залишок розчиняли в 10 мл хлористоводневої кислоти (1 : 1), переливали розчин у мірну колбу місткістю 50 мл і доливали до мітки водою (рис. 2).

Аналітична схема розкладання 6. Комбінований метод розкладання ґрунтується на розчиненні проб у кислотах і подальшому сплавленні нерозчинного залишку з метаборатом літію. Наважку 0,1–0,2 г досліджуваного матеріалу поміщали в автоклав і розкладали в 9 мл фтористоводневої і 3 мл азотної кислоти (1 : 1) в МХ-печі за 240°C протягом 35 хв. Після охолодження автоклава випаровували розчин досуха; сухий залишок розчиняли, нагріваючи в 10 мл хлористоводневої кислоти (1 : 1). Нерозчинний осад відфільтровували через щільний фільтр, промивали 5 %-вим розчином соляної кислоти, а потім водою. Фільтр з осадом поміщали до платиного тиглю, висушували, озоляли. Залишок сплавили з 1 г метаборату

літію за 1000 °С у платиновому тиглі протягом 15 хв, розчиняли в 10 %-вому розчині хлористоводневої кислоти і приєднували одержаний розчин до основного, який переливали в мірну колбу місткістю 50 мл і доливали до мітки дистильованою водою.

Ця аналітична схема використовується для переводу в розчин стійких оксидів корунду, хроміту, хромшпінелі, залізних і марганцевих руд.

Аналітична схема розкладання 7. Метод ґрунтується на розкладанні проб сплавленням із метаборатом літію та розчиненням у 5 %-вій азотній кислоті.

Наважку 0,1 г досліджуваного матеріалу поміщали до платинового тиглю, добавляли 0,5 г безводного метаборату літію і перемішували. Суміш сплавили протягом 30 хв (для стійких силікатів — 45 хв) у муфельній печі за 1000 °С. Під час сплавлення речовину необхідно обережно перемішувати, а після — охолодити до кімнатної температури. Плавень розчиняли у 5 %-му розчині азотної кислоти протягом 1 год, одержуючи прозорий стійкий розчин. Метаборат літію є активним плавнем, що розкладає всі основні породоутворювальні силікатні мінерали та породи. Ця аналітична схема не придатна для розкладання стійких силікатів.

Аналітична схема розкладання 8. Метод ґрунтується на розкладанні гірських порід та мінералів сплавленням із пероксидом натрію та наступному розчиненні сплаву в азотній кислоті.

Наважку 0,1—0,50 г тонкоподрібненого та розтертого досліджуваного матеріалу поміщали в цирконієвий або керамічний тигель, додавали 0,5—2 г пероксиду натрію і старанно перемішували. Пробу сплавили із пероксидом натрію у співвідношенні 1 : 5 за температури 750—800 °С протягом 30 хв. Після охолодження тигель зі сплавом перенесли у стакан з водою, добавляли азотну кислоту (1 : 3, приблизно 15—20 мл), ставили на магнітну мішалку і розчиняли плавень до повного розчинення. Переливали розчин в мірну колбу на 50 мл.

Для вимірювання аналітичного сигналу на приладі *ICP-MS ELEMENT-2* брали аліквоту 2—5 мл і доводили до 10 мл 3 %-вою азотною кислотою.

Запропонована аналітична схема окиснювального сплавлення із Na_2O_2 найбільш придатна для повного переведення благородних металів у розчин ($k > 0,9$). Встановлено, що проби з високим вмістом кремнезему не-

обхідно попередньо обробляти фтористоводневою кислотою, а сульфідні матеріали — обпалювати за 700 °С [9].

Вивчення поведінки гірських порід і мінералів під час розкладання показує, що в деяких випадках у розчинах, одержаних після обробки досліджуваних проб за описаними схемами, утворюються осади. Склад одержаних осадів після їх відокремлення і висушування вивчали за допомогою емісійного спектрального і атомно-абсорбційного методів. Як можна було сподіватись, найбільша кількість осадів утворюється в результаті використання аналітичних схем 1 і 2.

Виявлено, що розкладанням силікатних гірських порід і мінералів у сумішах хлористоводневої і азотної кислот неможливо досягти повного переходу у розчин головних породоутворювальних елементів. Аналітична схема розкладання 1 найбільш ефективна для розчинення поліметалічних руд, сульфідних мінералів, карбонатних порід. У результаті розкладання фтористоводневою і сірчаною кислотами за схемою 2 одержуємо низький коефіцієнт переходу в розчин стронцію, кальцію, молибдену, свинцю, барію. Не розкладаються турмалін, циркон, колумбіт, берил, топаз, ставроліт, сподумен.

Одержані результати свідчать, що під час використання схем 1 і 3 найповніше розкладаються сульфідні, карбонатні, а також фосфатні рідкісноземельних елементів (табл. 2).

Розкладання проб різних мінералів за схемами 3 і 4 забезпечує повний перехід до розчину більшості досліджуваних елементів — міді, кадмію, свинцю, цинку, нікелю, кобальту, індію, молибдену, ванадію.

Під тиском МХ-печі за підвищеної температури повністю розкладаються за схемою 5 стійкі силікатні породи.

Природні карбонати легко розчиняються в соляній, азотній кислотах з інтенсивним виділенням вуглекислого газу. Однак при цьому залишається нерозчинний залишок мінеральної речовини, представлений найчастіше кварцом і піритом. Карбонатні мінерали — кальцит, вітерит, стронціаніт, сидерит, доломіт, малахіт, смітсоніт, отавіт, у соляній і азотній кислотах розкладаються досить швидко без нагрівання. Однак складні фторвмісні карбонати рідкісноземельних елементів, наприклад паризит, розкладаються в концентрованих соляній або азотній кислотах під час нагрівання.

Таблиця 2. Результати визначення мікроелементів у стандартних зразках гірських порід з використанням різних схем прободготовки

Об'єкт аналізу	Елемент	Метод	Знайдено \bar{x}^* , ррп
Габро есекситове (СГД-2)	Be	ICP-MS	1,66
	Nb	"	6,70
	Mo	"	1,1
	Ge	"	1,1
Доломітизований вапняк (СИ-2)	Be	AAC	1,0
	Cu	"	16,5
	Pb	"	6,0
Альбітизований граніт (СГ-1А)	Ag	ICP-MS	0,08
	Cd	"	0,17
	W	"	1,95
	Ge	"	2,90
Габро есекситове (СГД-1А)	La	"	72
	Ce	"	125
	Pr	"	12
	Nd	"	59
Хвости гравітації золото-вмісної руди (СЗХ-3)	Au	"	1,3
	Ag	"	0,45
Дерново-підзолисті ґрунти (СДПС-2)	Cd	AAC	0,12
Дерново-підзолисті ґрунти (СДПС-1)	As	ICP-MS	3,36
	Se	"	0,1

Примітка. * — Sr — відносне стандартне відхилення 0,10—0,25.

Природні сульфідні мінерали — галеніт, буланжерит, ковелін, гринокіт, сфалерит, розкладаються в концентрованих соляній або азотній кислотах на холоді. В соляній кислоті не розкладаються кіновар, молібденіт, нікелін, герсдорфіт, арсенопірит.

У концентрованій азотній або сірчаній кислотах розкладаються внаслідок нагрівання сульфідні олова, сурми, арсену, молібдену.

Природні оксиди та гідроксиди — гематит, лімоніт, гетит, піролюзит, гаусманіт тощо, повільно розчиняються під дією соляної і азотної кислот. Соляна і азотна кислоти розчиняють гідратовані оксиди значно легше, ніж безводні. Високою стійкістю до дії соляної, азотної і сірчаної кислот відзначаються каситерит, рутил, кварц, корунд, а також хризоберил, бейкерит, колумбіт. Добре розчиняються в концентрованій азотній кислоті такі мінерали молібдену і вольфраму: повеліт, молібденіт, шееліт, вольфраміт.

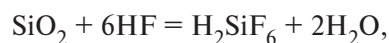
Фосфати кальцію і рідкісноземельних елементів — апатит, монацит, ксенотим, розкладаються в соляній кислоті не повністю. Однак

фосфати заліза, марганцю, алюмінію, міді легко розчиняються в соляній кислоті (табл. 2). В азотній кислоті добре розчиняються більшість фосфатів, наприклад апатит, ксенотим, монацит.

Силікатні породи та мінерали не розкладаються мінеральними кислотами або розкладаються неповністю. Стійкість силікатних мінералів до дії соляної та інших мінеральних кислот залежить головним чином від співвідношення кількості кремнієвої кислоти і основ. Відомо, що чим сильніша основність катіонів і чим менше вказане співвідношення, тим краще силікатний мінерал розкладається. Швидкість розкладання залежить від властивостей даної системи, ваги проби та значення температури.

На розчинність силікатних порід значно впливає також характер металу. Так, силікати, до складу яких входить важкий метал, розкладаються в більшості мінеральних кислот. Вілеміт, родоніт, хризосола, каламін, ортит, а також цеоліти розчиняються в соляній і азотній кислотах.

Для розкладання силікатів найчастіше застосовують суміш фтористоводневої та сірчаної або хлорної кислот, ґрунтуючись на реакції утворення леткого фториду кремнію:



Дослідження поведінки гранітів, базальтів, діабазів і основних породоутворювальних мінералів — біотиту, амфіболу, серпентину, слюди, епідоту, гіперстену, актиноліту, олівіну, під час розкладання у відкритих системах за допомогою суміші фтористоводневої, хлористоводневої, сірчаної і азотної кислот показує, що протягом чотирьох год за 90—100 °С і перемішування відбувається повне їх розкладання.

Деякі силікатні мінерали виявляють значну стійкість під час розчинення в суміші фтористоводневої і сірчаної кислот навіть за тривалої дії цих реагентів та нагрівання — топаз, аксиніт, циркон, ставроліт, берил, гранат. Для їх розчинення найраціональніше використовувати МХ-печі *ETHOS-1*. У цьому випадку швидкість реакції розчинення зростає в 50—100 разів порівняно із класичними методами прободготовки.

Висновки. Розроблено аналітичні схеми розкладання гірських порід та мінералів із ви-

користанням мікрохвильового поля, які дозволяють значно зменшити тривалість та працездатність пробопідготовки. Наведені результати *ICP-MS* визначення вмісту мікроелементів у природних об'єктах без попереднього

концентрування. Розроблено комплекс методик *ICP-MS* визначення вмісту рідкісних та благородних металів у гірських породах у діапазоні від 0,01 ppb до 10 ppm з відносним стандартним відхиленням 0,1–0,2.

1. Бердонсон С.С., Бердоносова Д.Г., Знаменская И.В. Микроволновое излучение в химической практике // Хим. технология. — 2000. — № 3. — С. 2–8.
2. Бок Р. Методы разложения в аналитической химии. — М.: Химия, 1984. — 428 с.
3. Кубрикова И.В., Кузьмин Н.М. Микроволновая пробоподготовка в неорганическом элементном анализе // Завод. лаб. — 1992. — 58, № 8. — С. 2–5.
4. Пробоподготовка в микроволновых печах: теория и практика / Под ред. Г.М. Кингстона, Л.Б. Джели. — М.: Мир, 1991. — 33 с.
5. Руководство оператора. ELEMENT-2. Operator Manual. — Rev. O. — ISSUE, 1999. — 24 p.
6. Самчук А.И., Пилипенко А.Т. Аналитическая химия минералов. — Киев: Наук. думка, 1982. — 199 с.
7. Симонова З.И. Атомно-абсорбционные методы определения элементов в породах и минералах. — Новосибирск: Наука, 1986. — 210 с.
8. Томпсон М. Руководство по спектрометрическому анализу с индуктивно связанной плазмой. — М.: Недра, 1988. — 289 с.
9. Физические методы анализа в геохимии: Сб. тр. — Новосибирск: Наука, 1978. — 150 с.

Ін-т геохімії, мінералогії та рудоутворення
ім. М.П. Семененка НАН України, Київ

Надійшла 14.10.2008

РЕЗЮМЕ. Приведены аналитические схемы разложения горных пород и минералов с применением микроволновой системы *ETHOS-1* для последующего определения микроэлементов с помощью метода *ICP-MS* спектрометрии. Разработанные методики отличаются высокой эффективностью и позволяют значительно уменьшить время и трудоемкость пробоподготовки, по сравнению с классическими схемами.

SUMMARY. Analytical schemes for decomposition of rocks and minerals applying microwave system *ETHOS-1* for the following determination of microelements using *ICP-MS* spectrometry are represented. The methods developed are highly effective and time-saving in comparison with classical schemes.