

В поточних відходах збагачення масова частка заліза загального не перевищує 14 %.

Вихідні відходи збагачення ми розподілили на різні фракції в магнітних і гравітаційних полях і в результаті отримали різні за фізичними властивостями фракції.

Проведений аналіз мікрокомпонентного складу показав, що в електромагнітних фракціях Північного ГЗК концентруються церій, лантан, ітрій, ітербій. Найбільшого значення масова частка TR набуває в неелектромагнітній фракції у лежалих відходах збагачення і електромагнітній -1 за найменшої напруги магнітного поля в поточних відходах, що видно з табл. 3, 4. Підвищених значень концентрації германію у відходах збагачення Північного та інших ГЗК ми не спостерігаємо. Це підтверджує тезу про перерозподіл германію в залізистий концентрат під час збагачення залізистих кварцитів всіх комбінатів.

### ВИСНОВКИ

Отже, можна дійти таких висновків.

- Поточні відходи збагачення, складені переважно зернами дрібного класу крупності -0,071 мм; лежалі відходи, відібрані у верхній частині хвостосховища - крупним класом -0,25 мм.
- Масова частка заліза лежалих відходів має підвищене значення - до 38 % у фракції -0,071 мм; в поточних відходах масова частка в окремих класах крупності не перевищує 14 %.
- В електромагнітних фракціях концентруються рідкісноземельні елементи, сумарний вміст перевищує 300 г/т.
- У процесі накопичення відходів збагачення у хвостосховищах здійснюється концентрація заліза в дрібних фракціях і утворення збагачених залізом ділянок.
- Утворенню збагачених залізом ділянок сприяють більші розміри хвостосховища і подача пульпи з меншої кількості пульпопроводів.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Казак В.М., Борисенко В.Г., Губина В.Г. Умовия образования, особенности изучения, оценки техногенных месторождений хвостов обогащения железистых кварцитов // Тез. докл. "Охрана недр и комплексное использование сырья в железорудной промышленности". - М., 1989. - С. 59.
2. Губина В.Г. Распределение железа в техногенном месторождении Центрального ГОКа по данным математического моделирования // Сб. научн.

труд. Механобрчермет "Новое в технологии, технике и экономике переработки минерального сырья". Ч. 2. - Кривой Рог, 1998. - С. 87-97.

3. Евтехов В.Д., Федорова И.А. Топоминералогия отходов обогащения бедных железных руд Кривбасса как техногенного железорудного сырья // Геол.-минерал. вісник. - Кривий Ріг, 2001. - № 2. - С. 81-86.

4. Евтехов В.Д., Грицай Е.Ю., Паранько И.С. и др. Минералогические особенности и обогатимость лежалых хвостов Ингулецкого горно-обогатительного комбината // Там само. - 2004. - № 2. - С. 74-77.

5. Губина В.Г. Изменение вещественного состава и свойств вторичного железосиликатного сырья техногенных месторождений // Обогащение руд. - Днепропетровск, 1991. - С. 92-97.

### РЕЗЮМЕ

Приведены результаты исследований вещественного, гранулометрического состава и особенностей распределения отходов обогащения железистых кварцитов в хвостохранилищах горно-обогатительных комбинатов Кривбасса. Показано, что поточные отходы обогащения преимущественно представлены мелким классом крупности, лежалые, отобраные в верхней части хвостохранилища - крупным. Массовая часть железа лежалых отходов имеет повышенное значение во фракции -0,071 мм, в поточных - массовая доля железа ниже. В электромагнитных фракциях концентрируются редкоземельные элементы. В процессе накопления отходов обогащения происходит формирование обогащенных железом участков.

### SUMMARY

The investigation data about material and granulometric constitution and the distribution of iron tails in the tailing dumps of Kryvbass ore dressing and processing enterprise is represented. It's shown that the flow tails are introduced by small fractions, but the stale tails from the top of tailing dumps are coarse fractions. The most iron content in stale tails is in the fraction of -0.071 mm, but stale tails have low iron content. Rare earths are concentrated in electromagnetic fractions. Concentrated by iron sections are formed during accumulation tails.

Інститут геохімії навколишнього середовища  
НАН та МНС України, м. Київ  
e-mail: etn@rambler.ru

УДК 550.4

Е.Я. ЖОВИНСЬКИЙ, Н.О. КРЮЧЕНКО

## ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ПОШУКОВОЇ ГЕОХІМІЇ

*Розглянуто ступінь ефективності геохімічних методів і представлені напрями подальших досліджень для розвитку пошукової геохімії.*

Геохімічні методи пошуків корисних копалин були широко застосовані на території України в 50-70 рр. ХХ ст. Вони базуються на дослідженнях В.І. Вернадського, В.М. Гольдшміда, О.С. Ферсмана, О.П. Виноградова та ін.

На той час висока ефективність використання лі-

тогеохімічних пошуків за первинними та вторинними механічними ореолами розсіювання була обумовлена відкриттям більшості родовищ, розташованих поблизу земної поверхні. Але за умов сучасного високого антропогенного навантаження та переходу до пошуків корисних копалин глибинного за-

лягання, використання наявних геохімічних методів стає малоефективним, а пошуки корисних копалин потребують значного збільшення об'ємів бурових робіт та зростання витрат.

Геохімічним методам належить провідне місце в загальному комплексі геологорозвідувальних робіт під час пошуків і розвідки родовищ корисних копалин різних типів. Найзначнішим досягненням теорії і практики геохімічних методів пошуків рудних родовищ є збільшення глибинності досліджень, що висунуло геохімічні методи у ряд основних для пошуків родовищ глибокого залягання.

Найважливішою передумовою збільшення глибинності пошуків зруденіння по вторинних ореолах стали успіхи, досягнуті дослідниками у вивченні і практичному застосуванні первинних і вторинних геохімічних ореолів - ефективних ознак похованого зруденіння.

*Гідрогеохімічні методи* ґрунтуються на дослідженні хімічного складу природних поверхневих і підземних вод. Принципові засади їх полягають у вивченні здатності води до розчинення порід, її участі в хімічних перетвореннях мінералів і властивостей води як рухомого середовища. Зв'язок між хімічним складом води і наявністю поблизу джерела покладів корисних копалин є однією з причин виникнення гідрогеохімічних аномалій, що мають пошукове значення. Але гідрогеохімічні методи мають застосування лише на територіях з достатньою кількістю джерел.

*Літогеохімічні методи* є найбільш ефективними на території України, вони ґрунтуються на виявленні ділянок з підвищеним (аномальним) вмістом хімічних елементів на фоні нормального для даного району їхнього вмісту. По первинних ореолах розсіяння можуть бути знайдені рудні тіла, які виходять на поверхню або приховані корінними породами, по вторинних - рудні тіла, які розкриті ерозією чи виходять на поверхню, або приховані під товщею крихких наносів.

*Біогеохімічні методи* пошуків родовищ корисних копалин засновані на дослідженні хімічного складу живої речовини, як правило, складу рослин. Між хімічним складом живих організмів і складом середовища існує тісна залежність. Біогеохімічні методи пошуків пов'язані з хімічним аналізом речовини, спостереженнями за видовим складом і морфологічними особливостями рослинності. В результаті таких досліджень незмінно підтверджувалася наявність біогеохімічних аномалій у хімічному складі рослин, що виростають над родовищами міді, цинку, свинцю, урану, молібдену, нікелю, бору, золота й інших корисних копалин. Звичайно ці біогеохімічні зйомки проводилися шляхом опробування одного або декількох панівних видів рослин, озолення рослинної речовини і спектрального аналізу отриманої золи.

*Атмогеохімічні методи*, засновані на дослідженні складу підземної атмосфери. Атмосферу складають, головним чином, три гази - азот (78 %), кисень (21 %) і аргон (1 %), що у сумі становить 99,94 % її маси. В змінних кількостях в атмосфері присутня водяна пара; вміст  $\text{CO}_2$  становить близько 0,03 %, решти газів -  $10^{-4}$ - $10^{-6}$  %. Низьке значення геохімічного фону і висока рухомість хімічних елементів у газовій фазі створюють сприятливі умови для формування атмохімічних ореолів розсіяння будь-яких

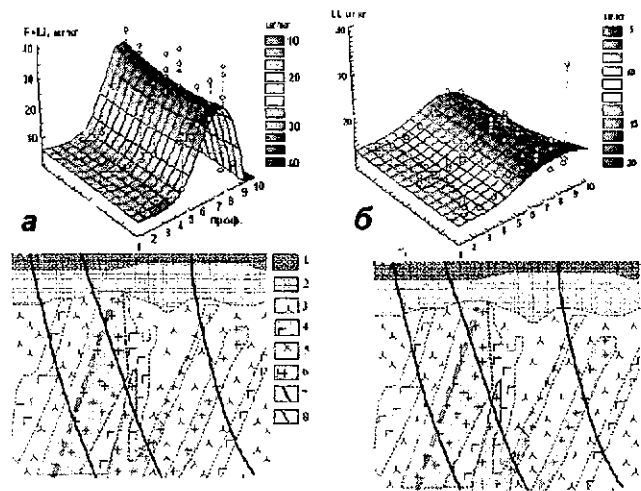


Рис. 1. Розподіл рухомих форм хімічних елементів у ґрунтовому розчині: а - фтору та літію, б - літію (на прикладі Полохівського рудопрояву літію). 1 - пісок середньозернистий, 2 - суглинки, 3 - гнейси, 4 - граніти, 5 - граніти-апліт-пегматоїдні, пегматити, 6 - граніти-апліт-пегматоїдні з багатим зруденінням, 7 - свердловини, 8 - тектонічні порушення

родовищ корисних копалин. Цей метод стає прямим геохімічним методом пошуків нафти і газу за визначенням вмісту метану і важких вуглеводнів у ґрунтовому повітрі, повітрі бурових свердловин, керні. У багатьох районах, особливо в гірськоскладчастих, цей метод є результативним і дозволяє знаходити нафтогазові поклади на глибині сотень метрів.

Більшість родовищ корисних копалин розташовано у місцях тектонічних порушень і найбільш ефективним є виділення цих зон за геохімічними даними.

Розвиток мінерально-сировинної бази України сьогодні потребує удосконалення наявних геохімічних методів пошуків та розробки нових теоретичних основ як фундаменту для розвитку та створення системи новаторських, більш економічних та ефективних методів пошуків корисних копалин.

На прикладі вивчення геохімії фтору були вдосконалені раніше відомі геохімічні методи пошуків за його первинними і вторинними ореолами розсіяння на основі застосування фізико-хімічного апарату, дослідження термодинаміки і кінетики природного процесу. Розроблені фторометричні методи пошуків були апробовані на багатьох родовищах і рудопроявах низки корисних копалин, пов'язаних з рудно-флюоритовими формаціями - олова, вольфраму, молібдену, берилію, рідкісноземельних елементів і багатьох інших.

За останні десятиріччя виникла реальна необхідність разом з якісною інформацією знати кількісні параметри розподілу мікроелементів для з'ясування механізму утворення природних і техногенних ореолів розсіяння, а також для вирішення пошукових і екологічних задач.

На основі законів фізичної хімії і термодинаміки з'явилася можливість моделювання складних геохімічних процесів, що відбуваються в природних системах і одержання їх кількісної оцінки. Застосування фізико-хімічних підходів дало можливість створення спеціальних математичних моделей, які описують закономірності міграції мікроелементів і їх сполук в природній системі (гірська порода - вода - рослина).

Під час дослідження форм міграції мікроелемен-

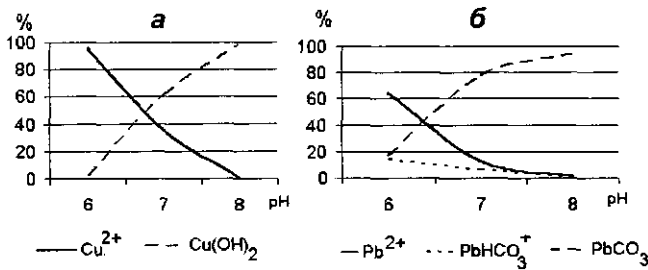


Рис. 2. Форми міграції міді (а) та свинцю (б) за різних значень рН ґрунтових розчинів

тів у природних розчинах авторами використані імітаційні моделі з термодинамічними параметрами. До недавнього часу було складно провести розрахунків міграційних форм елементів, оскільки не було можливості враховувати різноманітні комплексні сполуки, особливо з органічною речовиною, через відсутність їх термодинамічних параметрів. Дослідження з використанням інформації про термодинамічні характеристики комплексних сполук з органічною речовиною дозволяють проводити ці розрахунки за програмою *MINTEQA 2* [1]. Було встановлено, що основна частина мікроелементів мігрує в ґрунтових розчинах і поверхневих водах у вигляді складних органічних комплексів.

Геохімічні пошуки родовищ, розташованих на значній глибині, по первинних і вторинних механічних ореолах розсіяння хімічних елементів дуже трудомісткі і не завжди ефективні. Найвищу ефективність показали пошуки по накладених сорбційних ореолах розсіяння. Принципово новим є і визначення форм хімічних елементів із застосуванням при цьому кінетики сорбції і десорбції геохімічного процесу, а також термодинамічного аналізу на стадії дослідно-експериментальних робіт, які необхідно проводити перед масштабним геохімічним опробуванням території пошуків.

Роботами попередніх років [2, 3] доведено ефективність використання накладених сольових ореолів у ході пошуків родовищ корисних копалин на прикладі фтору та інших хімічних елементів, проте при цьому визначався сумарний вміст рухомих форм хімічних елементів. Але, як показали результати досліджень, в різних ландшафтно-геохімічних зонах за різних фізико-хімічних умов середовища пошукове значення можуть мати лише конкретні індикаторні форми хімічних елементів [1, 4] та особливо їх асоціації, що показано на прикладі фтору та літію (рис. 1).

Водночас постає завдання - встановлення залежності стійкості різних форм хімічних елементів у системі "ґрунт - ґрунтовий розчин" при утворенні на рудному об'єкті вторинних сольових ореолів, від фізико-хімічних умов природного середовища, в якому проводиться геохімічне опробування. На прикладі геохімічного опробування одного з мідних рудопроявів Українського щита були проведені термодинамічні розрахунки умов рівноваги природної системи "тверда фаза - розчин". Розрахунок рівноваги в багатокомпонентних системах виконували за програмою *PHREEQC* (що враховує всі вірогідні форми міграції елементів і всі конкуруючі реакції, що відбуваються в системі) з використанням методів термодинамічного аналізу і математичного мо-

делювання. Було встановлено, що за температури 15-35 °С вміст рухомих форм хімічних елементів змінюється неістотно [4]. Тобто, визначаючи стійкість рухомих форм хімічних елементів у процесі міграції температуру можна не враховувати.

Утворення різних форм значною мірою залежить від фізико-хімічних параметрів системи "ґрунт - розчин" і, перш за все, від рН ґрунту. Значення рН ґрунтових розчинів на території України змінюється від 3 до 10, об'єктування вмісту різних форм міграції (у відсотках від суми мольних концентрацій всіх можливих форм) за температури 25 °С дозволило встановити, що такі катіонні й аніонні форми, як  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  за будь-яких фізико-хімічних умов середовища складають понад 90 % від суми рухомих форм кожного елемента. Що стосується міді та свинцю, то за значень рН (6-8) утворюються характерні певні їх форми міграції (рис. 2).

Тобто встановлено, що основними індикаторними формами при геохімічних пошуках для більшості типів ґрунтів слугують прості катіонні і аніонні форми хімічних елементів. Виняток становлять лише ті типи ґрунтів, у яких рН ґрунтового розчину збільшується до 9-10 (деякі чорноземи і засолені ґрунти), в них індикаторними формами можуть бути карбонатні і, рідше, гідроксильні форми.

В даний час визначення сумарного вмісту рухомих форм проводять за допомогою методу атомної абсорбції (на спектрофотометрах С-115, "Сатурн-3"), а також іон-селективного методу.

Оскільки прості катіонні і аніонні форми хімічних елементів мають найбільше значення для пошуків, доцільно, проводячи аналітичні дослідження, використовувати іон-селективний метод для визначення катіонів ( $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ) і аніонів ( $\text{F}^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ). Перевага його в тому, що визначення стійких рухомих форм можна проводити і в польових умовах. Це дозволить значно підвищити ефективність геохімічних пошуків і одночасно зменшити вартість пошукових робіт.

Перехід від пошуків відкритих і неглибоко розташованих рудних тіл до пошуків тіл глибокого залягання ставить підвищені вимоги до критеріїв виявлення і прогностичної оцінки геохімічних аномалій. Встановлення таких критеріїв необхідне практично на всіх стадіях геологорозвідувальних робіт.

Ускладнення пошукових задач призводить до збільшення кількості ознак, встановлення взаємозв'язків між ними, а також просторової закономірності їх розподілу. Як показала практика, найбільш доцільно для цієї мети використовувати методи математичного моделювання ореольного середовища для визначення перспективності конкретного геологічного об'єкту. Методи статистичного моделювання, які раніше широко використовувались, в даний час через зменшення обсягу буріння мало ефективні. Виникає цілий ряд причин, які обмежують доцільність використання статистичних методів для пошукової мети. По-перше, досягнення необхідної надійності результатів статистичного моделювання вимагає розширення класифікаційних ознак для різного типу еталонів і, відповідно, великих масивів експериментальних даних. По-друге, статистичні методи не дають якісного розуміння фізико-хімічних процесів, які відбуваються в навколорудному просторі.

Найбільш доцільно використовувати не статистичні моделі, які кількісно відображають найпоширеніші випадки, а детерміновані моделі, які відображають функціональні зв'язки між елементами геохімічної системи на основі фундаментальних законів, які описують поведінку речовини і енергії.

Моделювання утворення вторинних сольових ореолів розсіяння хімічних елементів і виявлення їх зв'язку з рудними тілами глибокого залягання та визначення їх прогнозно-кількісної оцінки - одна з актуальних проблем пошукової геохімії, вирішення якої дозволить більш ефективно та з найменшими витратами проводити пошукові та геологорозвідувальні роботи на території України.

Математичні моделі - абстрактні аналоги понятійних моделей, де елементи і властивості замінені математичними категоріями - змінними, константами, параметрами. Закономірні відносини конструюються за допомогою функціональних зв'язків між змінними (детерміновані моделі), а відносини, що часто зустрічаються, - за допомогою статистичних зв'язків (статистичні моделі). Застосування системного підходу дозволяє представити різноманітність природної реальності як впорядковану єдність (систему). Конструювання системи відбувається шляхом заміни складного нескінченномірного об'єкту реальності його абстрактною моделлю. Такий об'єкт розглядається як комплекс елементів, взаємопов'язаних одне з одним, які створюють цілісну єдність. Кожний об'єкт має нескінченну кількість властивостей; при моделюванні відбираються істотні, необхідні для вирішення задачі.

Економічна ефективність геохімічних методів пошуків визначена трьома головними показниками: питомою вагою витрат на їх виконання у загальному комплексі методів пошуків і розвідки родовищ; величиною тієї частини витрат, яка скорочується завдяки їх застосуванню; співвідношенням вартості проведених геохімічних пошуків і виявлених прогнозних ресурсів та розвіданих запасів. Основним шляхом підвищення ефективності геохімічних методів пошуків є створення технологій якомога більш контрастних відображень геохімічних аномалій, що і є на даний час перспективним напрямом розвитку пошукової геохімії.

Розвиток геохімічних методів пошуків повинен бути направлений на вирішення наступних задач:

створення карт геохімічної спеціалізації, що дозволяють виділяти потенційно рудоносні території; оцінку регіональних і локальних геохімічних фонів; встановлення критеріїв розбракування природних (рудних) і техногенних аномалій; розробку технологій визначення елементів-індикаторів пошуків; удосконалення аналітичних методів і апаратури; упродовження експресних геохімічних методів - ртутно-, йодо-, фторометрії і багатьох інших; широке використання термодинамічного аналізу і математичного моделювання для прогнозно-оцінки виявлених аномалій; розробку моделей для визначення кількісного зв'язку ореолів розсіяння з рудними об'єктами; комплексування різних геохімічних методів.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Жовинский Э.Я. Геохимия тяжелых металлов в почвах Украины / Э.Я. Жовинский, И.В. Кураева. - К.: Наук. думка, 2002. - 213 с.
2. Жовинский Э.Я. Геохимические методы поисков по подвижным формам химических элементов на Украинском щите / Э.Я. Жовинский, Н.О. Крюченко // Дальний Восток-2. - 2007. - С. 213-222.
3. Жовинский Э.Я. Подвижность разных форм цинка, меди, кобальта и никеля в почвах Украины / Э.Я. Жовинский, И.В. Кураева, Л.Б. Новикова // Минерал. журн. - 1996. - 18, № 5. - С. 57-68.
4. Крюченко Н.О. Геохимичні пошуки за вторинними сольовими ореолами на території Українського щита // Пошукова та екологічна геохімія. - 2007. - № 2 (7). - С. 3-60.

#### РЕЗЮМЕ

Рассмотрена степень эффективности геохимических методов и представлены направления последующих исследований для развития поисковой геохимии.

#### SUMMARY

In the article the degree of efficiency of the applied geochemical methods is considered and directions of further researches for development of searching geochemistry are presented.

*Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України, м. Київ  
e-mail: geochem@ln.ua*