

нічної експозиції з відмітками 100–115 м. На півдні території на схилі з висотами 160–175 м між сс. Яблонів та Хмільна спостерігається невелике ізометричне пониження. Карта вершинної поверхні другого порядку засвідчує нові підняття та зміщення положення долини Дніпра на південний схід, що відповідає його сучасному положенню.

Максимальні висоти сягають сучасних відміток 233,3–250 м, їх відносна висота складає 15 м. Вершини зазнали незначних деформацій, підшови височин базисної поверхні мають більш плавний малюнок ізобазит. Окремі підвищення із такими ж абсолютними відмітками (найвище із відміткою вершини 242,7 м) фіксуються у межах всієї території, яка продовжує витягуватись з північного заходу на південний схід. Схили північної та північно-східної експозиції є різко розчленованими, на відміну від південних та південно-західних. Морфологія центральної частини території не змінюється. Княжа гора зайняла сучасне гіпсометричне положення. Схили гір розчленовані і успадковані сучасним рельєфом. Спостерігається інтенсивний розвиток ерозійних систем, які розчленовують описувану територію на ряд блоків, які зазнають різнонаправлених зміщень впродовж її еволюції.

Характеризуючи розвиток рельєфу Канівських гір впродовж проаналізованих етапів із використанням карт базисних та вершинних поверхонь та карту сучасної гіпсометричної поверхні, слід зазначити про наявність ще одного останнього етапу підняття, що характеризувався зростанням відносних висот на 15–20 м. Він характеризувався заглибленням долин, ерозійних врізів та яружних форм, а також розділенням найвищої частини гір на два морфологічних підвищення. Східне підвищення є вищим за західне, спостерігається зростання регресійної ерозії та довжин більшості ярів. Південно-західні ділянки території мають округлі обриси, характе-

ризуються згладженістю форм та слабким розчленуванням схилів.

Висновки. Аналіз базисних та вершинних поверхонь Канівського Придніпров'я дозволив простежити етапність розвитку рельєфу цієї території впродовж неотектонічного етапу. Дослідивши гіпсометрію вершинних поверхонь семи порядків та базисних поверхонь п'яти порядків, провівши детальне співставлення однопорядкових поверхонь, визначено морфологію рельєфу кожного етапу розвитку території. На основі отриманих даних щодо характеру поверхонь, абсолютних та відносних відміток, характеру малюнку ізогіпсозабит детально проаналізовано геоморфологічну будову регіону впродовж певного етапу. Встановлено п'ять етапів морфогенезу Канівських гір, що характеризують їх тектонічну еволюцію. Співставлення та уточнення отриманих результатів із даними польових геолого-геоморфологічних спостережень, геолого-структурними та літолого-стратиграфічними даними дозволить встановити геологічну еволюцію цього регіону впродовж неотектонічного та сучасного етапів.

1. Іванік О.М., Тустановська Л.В. Застосування класичних методик структурно-морфометричного аналізу для реконструкції новітнього тектогенезу на основі ГІС // Вісник Київського університету. Геологія. – 2011. – Вип. 53. – С. 4–7. 2. Мироненко В.И. Использование морфометрических методов анализа рельефа дневной поверхности для изучения неотектонических движений в нефтегазоносных регионах (на примере Сребенской впадины ДДВ и ее обрамления) // Теоретичні та прикладні аспекти геоінформатики. – К., 2007. – С. 252–258. 3. Мкртчян О.С., Чулило Г.Р. Геоінформаційний аналіз просторових зв'язків морфометрії рельєфу із геологічною структурою (на прикладі західної частини вододільно-верховинських та полонинських Карпат) // Теоретичні та прикладні аспекти геоінформатики. – К., 2008. – С. 167–178. 4. Философов В.П. Краткое руководство по морфометрическому методу поисков тектонических структур. – Саратов, 1960. 5. Чернова И.Ю., Хасанов Д.И., Жарков И.Я. и др. Обнаружение и исследование зон новейших движений земной коры инструментами ГИС // Arcreview. – № 1 (32). – 2005.

Надійшла до редколегії 28.02.11

МІНЕРАЛОГІЯ, ГЕОХІМІЯ ТА ПЕТРОГРАФІЯ

УДК 550.4.01

О. Бункевич, інж.,
С. Шнюков, д-р геол. наук, доц.

РЕПРЕЗЕНТАТИВНІСТЬ ВИБІРКИ ДЕТРИТОВИХ АКЦЕСОРНИХ МІНЕРАЛІВ ПРИ ПОЗЕРНОВОМУ ГЕОХІМІЧНОМУ ДОСЛІДЖЕННІ ЇХ ПОПУЛЯЦІЙ

(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром геол.-мінералог. наук, проф. В.І. Павлишиним)

Позернове геохімічне дослідження детритових популяцій акцесорних мінералів є потужним інструментом визначення джерел постачання осадового матеріалу, встановлення типу та віку материнських порід. Одна з проблем цього методу – розрахунок обсягу репрезентативної вибірки зерен, що аналізуються. Запропоновано оптимальну методику розв'язання цієї проблеми для різноманітних реальних умов.

Single-grain geochemical study of accessory minerals detrital populations is a powerful tool for sedimentary provenance including source rocks determination and their age dating. Estimation of representative amount of analysed grains sampling is one of the problems of this method. Technique for this problem solving under various realistic conditions was suggested.

Вступ. Позернове геохімічне вивчення великих детритових популяцій "наскрізних" акцесорних мінералів (НАМ), найбільш розповсюджених у провідних типах гірських порід та руд, зараз розглядається [4; 7; 10; 11; 13; 18; 19 тощо] як потужний інструмент дослідження джерел постачання осадового матеріалу. Індикаторне значення цих НАМ (циркон, апатит, монацит тощо [10; 11; 13]) крім високої стійкості в умовах седиментогенезу (за цією ознакою на першому місці знаходиться циркон) зумовлюється широким набором ізоморфних елементів-домішок, в першу чергу REE, Y, Hf, Sr, Th, U, Pb. Так, встановлені закономірні варіації вмісту перелічених домішкових катіонів дозволяють геохімічно класифікувати НАМ у відповідності зі складом вміщуючих материнських порід та руд [10; 16;

18; 19], що забезпечує вирішення оберненої задачі, яка полягає в ідентифікації їх типів за домішковим складом зерен цих мінералів з відкладів. В свою чергу, геохронологічна інформативність НАМ забезпечується можливістю використання Th-U-Pb, Sm-Nd та Lu-Hf ізотопних систем для локального та сублокального датування їх зерен [20; 23 тощо], в тому числі й експресним методом "загального свинцю" [1; 3 тощо]. Комплексна інтерпретація даних потенційно дозволяє визначати для всіх досліджених в популяції детритових зерен НАМ індивідуальні джерела постачання – тип і вік материнських порід та руд, а також їх просторові (об'ємні) співвідношення у межах денудованих ділянок за співвідношенням зерен відповідних геохімічних типів [11; 13].

Саме тому вже з кінця 1980-х – початку 1990-х рр метод був спрямований на вирішення наступних прикладних та фундаментальних завдань [2; 10; 11–13; 15]: (1) визначення областей живлення осадових басейнів, їх петрофондова реконструкція та встановлення шляхів переносу уламкового матеріалу при вирішенні задач палеогеографії; (2) стратифікація та кореляція "німих" теригенних товщ; (3) шліхо-мінералогічні пошуки алмазозонних кімберлітів та апатит-рідкіснометалевих карбонатитів. Крім цього, за останні 10–15 років широко розгорнулись дослідження історії формування земної кори, які використовують високу геохімічну репрезентативність теригенного стоку рік та льодовикового переносу уламкового матеріалу відносно великих ділянок континентів, що дренуються ними [4; 7; 13; 14; 16; 20; 24 тощо]. Така репрезентативність найкраще виявляється для Zr, який мігрує переважно у формі циркону. Це й визначає правомірність використання його великих детритових популяцій, а також популяцій деяких інших НАМ (монацит) для вирішення цієї фундаментальної задачі.

Звичайно, що коректна практична реалізація методу для вирішення будь-якої з перелічених задач залежить від багатьох факторів (геологічна репрезентативність опробування відкладів, якість аналітичних досліджень, методика інтерпретації мінерало-геохімічних даних тощо). В цій роботі розглядається лише один з них, а саме – репрезентативність статистично-випадкової вибірки зерен конкретного НАМ, які геохімічно досліджуються, відносно всієї його популяції в завідомо геологічно репрезентативній пробі відкладів. Очевидно, що цей фактор має принципове значення, але рівень його сучасного дослідження не є достатнім для впевненого вирішення реальних завдань.

Постановка задачі. Репрезентативність вибірки зерен будь-якого НАМ, у свою чергу, залежить від наступних конкретних факторів: (1) кількості джерел постачання; (2) вмісту цього НАМ у кожному джерелі постачання (материнському петротипі); (3) обсягу вибірки; (4) точності аналізу. В реальних дослідженнях ми можемо варіювати тільки обсягом вибірки, тому мета роботи полягала в дослідженні цього обсягу в залежності від решти факторів. Головна задача роботи полягала у виведенні універсальної розрахункової формули, яка дозволить обчислювати такий обсяг репрезентативної вибірки конкретного НАМ, що забезпечить у ній достатню (задану) кількість його зерен з кожного джерела постачання із заданою імовірністю.

Існуючі розв'язки. Не зупиняючись на давній та досить примітивній спробі другого співавтора [11], констатуємо, що сформульовану задачу вже намагалися розв'язати декілька дослідників, але теж у дещо спрощених варіантах. Огляд цих підходів можна знайти в роботі [17]. З сучасних спроб найбільшої уваги заслуговують дві:

Так, в [21] запропоновано формулу обчислення імовірності p того, що i -та фракція (в даному контексті це всі зерна мінералу з певного джерела постачання) із відносною часткою у популяції (генеральній сукупності) f_i не була втрачена у вибірці обсягу n :

$$p = 1 - (1 - f_i)^n. \quad (1)$$

Із (1) можна обчислити обсяг вибірки n . Але недоліком цієї формули є те, що за нею обчислюється імовірність того, що ми не втратимо тільки одну з фракцій замість обчислення імовірності не втратити жодної. Ще один недолік полягає у тому, що вираз "ми не втратимо певну фракцію" означає, що у вибірці буде принаймні одне зерно із цієї фракції. Але це не враховує точність аналізу, оскільки із-за похибки аналізу певне зерно може бути помилково віднесене до іншої фракції. Таким

чином, формула (1) не може бути застосована до обчислення обсягу репрезентативної вибірки.

У роботі [25] вказано на перший з вищезгаданих недоліків та запропоновано власні формули. Так, у випадку, коли маємо M однакових за обсягом фракцій, кожна з яких має частку $f=1/M$:

$$p = \sum_{i=1}^{M-1} (-1)^{i-1} C_i^M (1 - if)^n, \quad (2)$$

де p – імовірність того, що принаймні одна з фракцій буде втрачена; n – обсяг вибірки; C_i^M – кількість сполучень із i по M елементів.

У випадку, коли маємо $M-1$ фракцій обсягом f та одну фракцію обсягом $1-f(M-1)$:

$$p = \sum_{i=1}^{M-A} (-1)^{i-1} \left(C_i^{M-A} (1 - if)^n + B C_{i-1}^{M-1} ((M-i)f)^n \right) \\ A = 0 \quad \text{якщо } Mf = 1 \\ A = 1 \quad \text{якщо } Mf \neq 1 \\ B = 0 \quad \text{якщо } Mf \geq 1 \\ B = 1 \quad \text{якщо } Mf < 1, \quad (3)$$

де позначення аналогічні до формули (2).

Формули (2) та (3) більш загальні, ніж (1), але також мають недоліки. По-перше, очевидно, що два розглянуті випадки не відображають усього природного розмаїття співвідношень фракцій. По-друге, залишається вищезгаданий недолік формули (1) – не враховано похибки аналізу.

Таким чином, питання щодо обчислення обсягу репрезентативної вибірки у загальному випадку, який охоплює весь спектр реальних ситуацій, залишається відкритим.

Розрахунок обсягу вибірки. Припустимо, що популяція конкретного НАМ складається з M фракцій із часткою f_i кожна. Із популяції вибираємо навмання r зерен. Нехай подія A полягає у тому, що в отриманій вибірці буде принаймні k зерен з кожної фракції (при умові $r \geq Mk$). Обчислимо імовірність $p(A)$ події A .

Для обчислення $p(A)$ скористаємось формулами для поліноміального розподілу [9, с. 174]. Нехай проводиться n незалежних випробувань, кожне з яких може мати декілька наслідків. Позначимо можливі наслідки будь-якого випробування через $E_1, \dots, E_r$, та припустимо, що імовірність здійснення наслідку E_i в кожному випробуванні p_i ($i=1, \dots, r$). В загальному випадку p_i підкорені умові $p_1 + \dots + p_r = 1$, $p_i \geq 0$. Наслідком n випробувань є послідовність на зразок $E_3 E_1 E_2 \dots$. Імовірність P того, що в n випробуваннях наслідок E_1 з'явиться k_1 раз, наслідок E_2 з'явиться k_2 раз і т.д. дорівнює

$$P = \frac{n!}{k_1! k_2! \dots k_r!} p_1^{k_1} \dots p_r^{k_r}. \quad (4)$$

Тут k_i – довільні невід'ємні цілі числа, підкорені умові $k_1 + \dots + k_r = n$.

Із формули (4) випливає наслідок: імовірність P^* того, що в n випробуваннях наслідок E_1 з'явиться принаймні k_1 раз, наслідок E_2 з'явиться принаймні k_2 раз і т.д. дорівнює

$$P^* = \sum_{i_1=k_1, i_2=k_2, \dots, i_r=k_r}^{i_1+i_2+\dots+i_r=n} \frac{n!}{i_1! i_2! \dots i_r!} p_1^{i_1} \dots p_r^{i_r}, \quad (5)$$

сумування відбувається по всіх індексах i_j .

Користуючись формулою (5), тепер можемо обчислити імовірність $p(A)$:

$$p(A) = \sum_{i_1=k_1, i_2=k_2, \dots, i_M=k_M}^{i_1+i_2+\dots+i_M=r} \frac{r!}{i_1! i_2! \dots i_M!} f_1^{i_1} \dots f_M^{i_M}. \quad (6)$$

Задаючи імовірність $p(A)$ (наприклад, 0,95) та розв'язуючи рівняння (6) чисельними методами відносно r отримаємо шуканий обсяг вибірки.

Формулою (6) можна користуватись у певних випадках, але в загальному випадку її застосувати важко. Вираз під знаком суми має бути обчислений $C_{r-(k-1)M+1}^{M-1}$ разів, що при великих r , M та малих k становить дуже велику кількість обчислень (наприклад, при $M=20$, $k=2$, $r=200$, $C_{181}^{19} \approx 2.43 \cdot 10^{25}$).

Виведемо формулу імовірності $p(A)$ через імовірність $p(\hat{A})$ протилежної події $\hat{A}$. Подія $\hat{A}$ полягає у тому, що в отриманій вибірці буде менше k зерен принаймні з однієї фракції (при умові $r \geq Mk$). $\hat{A} = \hat{A}_1 + \hat{A}_2 + \dots + \hat{A}_M$, де подія $\hat{A}_i$ полягає в тому, що у вибірці обсягу r буде менше k зерен i -ї фракції. Знак "+" означає "або". За формулою імовірності суми подій [6, с. 18] $p(\hat{A})$ дорівнює:

$$P(\hat{A}) = \sum_{i=1}^M P(\hat{A}_i) - \sum_{ij} P(\hat{A}_i \hat{A}_j) + \sum_{ijk} P(\hat{A}_i \hat{A}_j \hat{A}_k) - \dots - (-1)^M P(\hat{A}_1 \hat{A}_2 \dots \hat{A}_M) \quad (7)$$

де $\sum_{ij} P(\hat{A}_i \hat{A}_j)$ – сума по всіх індексах $i, j=1..M$ імовірностей одночасного здійснення подій $\hat{A}_i$ та $\hat{A}_j$; $\sum_{ijk} P(\hat{A}_i \hat{A}_j \hat{A}_k)$ – сума по всіх індексах $i, j, k=1..M$ імовірностей одночасного здійснення подій $\hat{A}_i$, $\hat{A}_j$ та $\hat{A}_k$ і т.д.

Користуючись формулою (4), отримаємо:

$$P(\hat{A}_j) = \sum_{i_1=0}^{k-1} \frac{r!}{i_1!(r-i_1)!} f_j^{i_1} (1-f_j)^{r-i_1}$$

$$P(\hat{A}_i \hat{A}_j) = \sum_{i_1=0}^{k-1} \sum_{i_2=0}^{k-1} \frac{r!}{i_1! i_2! (r-i_1-i_2)!} f_i^{i_1} f_j^{i_2} (1-f_i-f_j)^{r-i_1-i_2} \quad (8)$$

...

$$P(\hat{A}_1 \hat{A}_2 \dots \hat{A}_M) = 0, \text{ оскільки } 1 - \sum_{l=1}^M f_l = 0$$

Остаточна імовірність $p(A)$ дорівнює:

$$P(A) = 1 - P(\hat{A}) \quad (9)$$

Задаючи імовірність $p(A)$, з рівнянь (7)-(9) отримаємо шуканий обсяг вибірки r .

При великих значеннях M можна користуватись наближеними обчисленнями, залишаючи у формулі (7) певну кількість членів (для практичних розрахунків достатньо, як правило, 3 члени).

Вихідні дані для розрахунку та найпростіший алгоритм розв'язку задачі. Вихідними даними для розрахунку об'єму вибірки за формулами (7)-(9) є: (1) кількість джерел постачання M ; (2) відносний вміст даного НАМ з кожного джерела постачання в його популяції f_i ; (3) необхідна кількість зерен мінералу у вибірці з кожного джерела k ; (4) довірка імовірність P .

Одразу потрібно відмітити, що визначення джерел постачання НАМ (тобто гірських порід, які складали область денудації) є досить нетривіальною задачею. Взагалі кажучи, ця задача залежить від цілей дослідження та їх детальності, а в загальному випадку має бути розв'язана ітеративно. Наведемо один з найпростіших варіантів алгоритму розв'язку:

1. Задаємо "перше наближення". Наприклад, за геологічною картою оцінюємо набір різновікових типів порід області денудації та співвідношення та ареали розповсюдження порід на теперішній час.

2. Знаходимо вміст даного НАМ в виділених петротипах та його гранулометричний склад (за літературними даними або з інших зовнішніх джерел). Звідси одержимо *зерновий* вміст цього НАМ в породах.

3. За рівнянням механічного потоку розсіювання [8, с. 62] оцінюємо вміст НАМ з кожного джерела постачання f_i у місці опробування.

4. За формулами (7)-(9) розраховуємо об'єм репрезентативної вибірки для цього НАМ.

5. Здійснюємо відбір вибірки та визначаємо аналітичними методами мікроелементний склад кожного зерна НАМ.

6. За даними аналізу зерен НАМ оцінюємо породний склад (набір та співвідношення петротипів) області денудації.

Якщо породний склад, отриманий за даними дослідження сформованої вибірки принципово відрізняється від передбачуваного – повертаємось до п. 4.

Зауважимо, що наведений "простий" алгоритм розв'язку є лише базовою (ідеалізованою) схемою, пряма реалізація якої якщо й реальна, то лише у деяких природних випадках. Загалом кажучи, кожна з перелічених вище задач методу, що обговорюється, повинна формувати на цій базі свій власний алгоритм використання рівнянь (7)-(9), який має бути узгодженим як з метою досліджень, так і з їх комплектацією вихідними даними.

Додамо, що необхідну кількість зерен НАМ у вибірці з кожного джерела k можна отримати, виходячи з похибки аналізу зерен на домішкові елементи та природного розкиду їх концентрацій. Припустимо, що результати вимірювання X_i елементного складу зерен мінералу з кожного джерела розподілені нормально:

$$X_i \in N(x, \sigma^2), \quad (10)$$

де x – істинне значення величини (невідоме), σ – похибка. Дисперсію можна оцінити за попередніми результатами вимірювань.

Користуючись формулами для інтервальної оцінки математичного очікування нормального розподілу при відомому σ [5, с. 216], можна обчислити необхідну кількість вимірювань k .

Довірчу імовірність можна задавати виходячи з практичних міркувань (найчастіше – 0,95).

Обговорення запропонованого засобу розрахунку обсягу вибірки. Отримані формули розрахунку (7)-(9) є більш універсальними, ніж (1)-(3). Неважко впевнитись, що при $M=2$, $k=1$ вони зводяться до (1); при $k=1$, $f_i=f$ – до (2); при $k=1$, $f_i=f$, $i=1..M-1$ – до (3). Відповідно, в цих випадках отримані такі ж результати, як і у авторів [21, 25]:

$M=2$, $k=1$, $f_1=0.05$, $f_2=0.95$, $P=0.95$ – об'єм вибірки 59 зерен [21];

$M=2$, $k=1$, $f_1=0.01$, $f_2=0.99$, $P=0.95$ – об'єм вибірки 299 зерен [21];

$M=20$, $k=1$, $f=0.05$, $P=0.95$ – об'єм вибірки 117 зерен [25].

Наведемо нижче декілька графіків (рис. 1), що ілюструють можливості розрахунків за формулами (7)-(9).

На рис. 1а наведено графіки залежності імовірності від обсягу вибірки для різних значеннях k – кількості зерен з кожного джерела. Розрахунок здійснено для "найкращого варіанту", який відповідає однаковому відносному вмісту фракцій НАМ в його популяції. Приклад результатів розрахунку: якщо треба з імовірністю 0,95 отримати не менше 1 зерна з кожної фракції, потрібна вибірка обсягом 51 зерно; якщо, відповідно, 3 зерна з кожної фракції – потрібна вибірка з 89 зерен; якщо 5 зерен – потрібна вибірка з 122 зерен.

На рис. 1б наведено графіки залежності імовірності від обсягу вибірки для різних значеннях k для одного з "найгірших варіантів", який відповідає вкрай неоднаковому співвідношенню фракцій НАМ в його популяції. Приклад результатів розрахунку: якщо треба з імовірністю 0,95 отримати не менше 1 зерна з кожної фракції, потрібна вибірка обсягом 406 зерен; якщо, відповідно, 3 зерна з кожної фракції – потрібна вибірка з 771 зерна; якщо 5 зерен – потрібна вибірка з 1080 зерен.

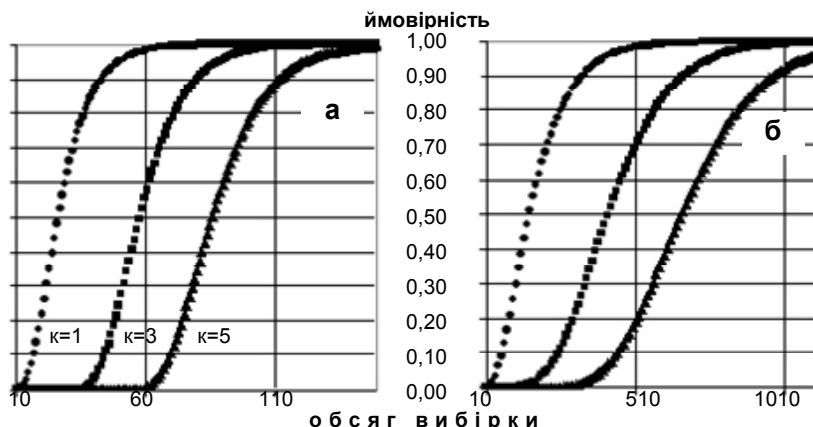


Рис. 1. Графіки залежності імовірності від обсягу вибірки при $k=1,3,5$ для:

а – "найкращий випадок", розрахунок для 10 фракцій з відносними частками 0.1); б – "найгірший випадок", розрахунок для 10 фракцій з відносними частками: 3 по 0.01, 6 по 0.1, 1 по 0.37

Висновки. Результати роботи можуть бути застосовані при геохімічному дослідженні детритових популяцій НАМ для розв'язання будь-якої задачі методу, що обговорюється, оскільки:

(1) Рівняння (7)-(9) дозволяють розрахувати обсяг репрезентативної вибірки кожного з НАМ в загальному (реальному) випадку. Це зумовлюється тим, що вхідними даними можуть бути: будь-яка кількість фракцій даного НАМ (джерел постачання – петротипів різного віку); будь-яке співвідношення цих фракцій; довільне число зерен з кожної фракції; задана імовірність успіху.

(2) Запропонований базовий ("простий") алгоритм використання цих рівнянь при вирішенні перелічених вище задач методу, що обговорюється, дозволяє суттєву, але досить просту модифікацію відповідно до мети досліджень та її комплектацією вихідними даними.

(3) Саме такі "модифіковані" ("конкретизовані") алгоритми, після їх накопичення та систематизації, можуть закласти принципово важливі засади у створення ефективних прикладних програмних продуктів, орієнтованих на вирішення актуальної вже зараз проблеми, яка полягає в коректній обробці постійно зростаючого обсягу інформації щодо геохімії детритових популяцій НАМ.

Додатково зауважимо, що результати роботи можуть бути застосовані не тільки в цій, але й в інших галузях, перш за все близьких, – наприклад, при пошуках алмазоносних кімберлітів за прецизійно визначеними та генетично зумовленими геохімічними особливостями традиційних мінералів-індикаторів [22].

1. Андреев А.В. Современные возможности метода общего свинца в радиогеохронологических исследованиях // Геол. журн. – 1992. – № 6. – С. 125–130. 2. Андреев А.В., Шнюков С.Е., Савенко С.П., Белоусова Е.А., Чебуркин А.К. Реконструкция областей питания и критерии стратиграфического расчленения терригенных образований таврической серии Крыма по данным исследования вещественного состава песчанников. Ст. 2: Результаты геохимического изучения терригенных цирконов из песчанников таврической серии // Геол. журн. – 1998. – № 3–4. – С. 66–74. 3. Андреев О.В. Особенности оценки wieku монацитов методом общего свинца с рентген-флуоресцентным определением вмісту U, Th та Pb // Еволюція докембрійських гранітоїдів і пов'язаних з ними корисних копалин у зв'язку з енергетикою Землі і етапами її тектоно-магматичної активізації. – 2008. 4. Андреев О.В., Полканов Ю.О., Шнюков С.Е., Андреев О.О., Савенко С.П., Степанюк Л.М., Хлонь Е.А. Монацити з осадового чохла Українського щита – свідки рифей-венд-палеозойської тектоно-магматичної активізації південного заходу Східно-Європейської платформи // Еволюція докембрійських гранітоїдів і пов'язаних з ними корисних копалин у зв'язку з енергетикою Землі і етапами її тектоно-магматичної активізації. – 2008. 5. Гурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика: Учебное пособие для вузов. – М., 1972. 6. Прохоров Ю.В., Розанов Ю.А. Теория вероятностей. Основные понятия. Предельные теоремы. Случайные процессы: Справочник. – М., 1987. 7. Савенко С.П., Шнюков С.Е., Андреев А.В.,

Морозенко В.Р. Геохимия цирконов и монацитов из аллювиальных и ледниковых отложений Украины (Восточно-Европейская платформа) и Антарктического полуострова (Западная Антарктида): сопоставление и возможная интерпретация // Украинский антарктический журн. – 2005. – № 3. – С. 57–66. 8. Соловов А.П. Геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых: Учебник для вузов. – М., 1985. 9. Феллер В. Введение в теорию вероятностей и ее приложения. – М., 1967. – Т. 1. 10. Шнюков С.Е., Чебуркин А.К., Андреев А.В. Геохимия "сквозных" сосуществующих акцессорных минералов и ее роль в исследовании эндо- и экзогенных геологических процессов // Геол. журн. – 1989. – № 2. – С. 107–114. 11. Шнюков С.Е., Чебуркин А.К., Андреев А.В. Перспективы, проблемы и возможная методика терригенно-минералогических исследований с использованием типохимических особенностей "сквозных" терригенных минералов // Геол. журн. – 1991. – № 6. – С. 100–115. 12. Шнюков С.Е., Савенко С.П., Андреев А.В., Сиденко О.Г., Чайковский Б.П., Белоусова Е.А., Проскурка К.С. Реконструкция областей питания и критерии стратиграфического расчленения терригенных образований таврической серии Крыма по данным исследования вещественного состава песчанников. Ст. 1: Результаты петро-геохимических и терригенно-минералогических исследований // Геол. журн. – 1997. – № 1–2. – С. 93–99. 13. Шнюков С.Е. Геохимия сквозных акцессорных минералов в терригенно-минералогических и прогнозно-поисковых исследованиях // Геологические проблемы Черного моря. – К., 2001. 14. Шнюков С.Е. Геохимические модели эволюции магматических систем и земной коры: потенциальный источник петрофизической и рудогенетической информации // Геофиз. журн. – 2002. – № 6. – С. 201–219. 15. Шнюков С.Е., Чебуркин А.К., Андреев О.В. Держела зносу терригенного матеріалу та прогнозна оцінка донних відкладів шельфа Гвінеї за даними геохімічного вивчення терригенних цирконов // Аспекти геології металевих і неметалевих корисних копалин. – К., 2002. 16. Шнюков С.Е. Геохимическая классификация цирконов и апатитов из ведущих типов горных пород и руд: современное состояние, применение и перспективы развития // Геол. журн. – 2003. – № 1. – С. 99–103. 17. Andersen T. Detrital zircons as tracers of sedimentary provenance: limiting conditions from statistics and numerical simulation // Chemical Geology. – 2005. – Vol. 216. – P. 249–270. 18. Belousova E.A., Griffin W.L., O'Reilly Suzanne Y., Fisher N.I. Apatite as an indicator mineral for mineral exploration: trace-element compositions and their relationship to host rock type // J. Geochem. Explor. – 2002. – Vol. 76. – P. 45–69. 19. Belousova E.A., Griffin W.L., O'Reilly Suzanne Y., Fisher N.I. Igneous zircon: trace element composition as an indicator of source rock type // Contrib. Mineral. Petrol. – 2002. – Vol. 143. – P. 602–622. 20. Condie K.C., Beyer E., Belousova E. et al. U-Pb isotopic ages and Hf isotopic composition of single zircons: The search for juvenile Precambrian continental crust // Precambrian Research. – 2005. – Vol. 139. – P. 42–100. 21. Dodson M.H., Compston W., Williams I.S., Wilson J.F. A search for ancient detrital zircons in Zimbabwean sediments // J. Geol. Soc. – London. – 1988. – Vol. 145 (6). – P. 977–983. 22. Griffin W.L., Ryan C.G. Trace elements in indicator minerals: area selection and target evaluation in diamond exploration // Journal of Geochemical Exploration. – 1995. – Vol. 53. – P. 311–337. 23. Jackson E., Pearson N.J., Griffin W.L., Belousova E.A. The application of laser ablation – inductively coupled plasma – mass spectrometry to in situ U-Pb zircon geochronology // Chemical Geology. – 2004. – Vol. 211. – P. 47–69. 24. Rino S., Komiya T., Windley B.F. et al. Major episodic increases of continental crustal growth determined from zircon ages of river sands; implications for mantle overturns in the Early Precambrian // Physics of the Earth and Planetary Interiors. – 2004. – Vol. 146. – P. 369–394. 25. Vermeesch P. How many grains are needed for a provenance study? // Earth Planet. Sci. Lett. – 2004. – Vol. 224. – P. 351–441.

Надійшла до редколегії 28.05.09