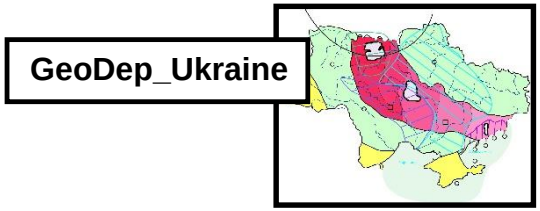
Київський національний університет імені Тараса Шевченка
Науково-дослідна частина
ННІ "Інститут геології"
Комплексна наукова програма "НАДРА"



Розробка комплексної петролого-мінерало-геохімічної моделі північно-західної частини Українського щита на базі створеного Геологічного Депозитарію цього регіону

(за результатами виконання держбюджетної теми 16БФ049-01, 2016-2017 рр.)

С.Є.Шнюков,
д. геол. н., завідувач кафедри
мінералогії, геохімії та петрографії
E-mail: shnyukov@univ.kiev.ua

Мета роботи:

Створення комплексної геохімічної (петролого-мінерало-геохімічної) моделі північно-західної частини УЩ на базі запропонованих теоретичних та методологічних розробок з використанням створеного раніше Геологічного Депозитарію (речовинно-інформаційного банку даних) цього регіону в якості джерела вихідних даних.

Основні завдання:

(1) Створення геохімічної моделі формування та функціонування рудогенеруючої магматичної/магматогенно-гідротермальної системи КП – провідного магматичного комплексу протерозойського етапу активізації регіону. Вихідні дані – прецизійні та репрезентативні (N ≥ n·1000 у кожному випадку) геохімічні дані для провідних петротипів КП (whole rock XRF), їх породоутворюючих (microprobe) та "наскрізних" акцесорних (циркон, апатит, монацит тощо) (single grain XRF) мінералів.

(2) Створення геохімічної моделі еволюції континентальної земної кори регіону. Вихідні дані – прецизійні та репрезентативні (N ≥ n·1000 у кожному випадку) геохімічні дані для великих за обсягом детритових популяцій циркону та монациту з продуктів регіонального алювіального/льодовикового дренажу (single grain XRF).

(3) Інтеграція комплементарних складових (1) та (2), що забезпечить досягнення фундаментальної мети проекту (комплексна модель) та дозволить запропонувати перспективну технологію узагальнюючого дослідження надр для Геологічної Служби України та інших організацій.

Етапи науково-дослідної роботи:

№ п / п	Назва етапів НДР	Термін виконання		Очікувані результати за етапами	Звітні документи та наукова продукція, що підлягають здачі в кінці етапу
		початок (дата)	закін-чення (дата)		
1	Створення геохімічної моделі формування та функціонування рудогенеруючої магматичної/магматогенно-гідротермальної системи Коростенського плутону	01.03.2016	31.12.2016	Вдосконалений метод та методики геохімічного моделювання магматичних та магматогенно-гідротермальних систем з оцінкою їх рудогенеруючого потенціалу. Геохімічна модель формування та функціонування рудогенеруючої магматичної/магматогенно-гідротермальної системи Коростенського плутону.	Проміжний звіт.
2	Створення геохімічної моделі еволюції континентальної земної кори північно-західної частини УЩ.	01.01.2017	31.12.2017	Вдосконалений метод та методики геохімічного моделювання еволюції континентальної земної кори за даними дослідження елементів-домішок в популяціях широко розповсюджених акцесорних мінералів з алювіальних та льодовикових відкладів, які утворились за рахунок дренажу великих за розміром геоблоків. Геохімічна модель еволюції континентальної земної кори північно-західної частини УЩ.	Проміжний звіт.
3	Створення комплексної регіональної геохімічної (петролого-мінерало-геохімічної) моделі північно-західної частини УЩ.	01.01.2018	31.12.2018	Вдосконалені методи узгодження моделей еволюції магматичних систем та континентальної кори. Комплексна регіональна геохімічна (петролого-мінерало-геохімічна) модель північно-західної частини УЩ. Рекомендації щодо перспективної технології узагальнюючого дослідження надр.	Заключний звіт. Презентаційні матеріали

Геологічний Депозитарій
північно-західної частини Українського щита
як основа для розробки комплексної
петролого-мінерало-геохімічної моделі цього регіону

Основою для моделювання є створений Геологічний Депозитарій північно-західної частини Українського щита,

Згідно його концепції:

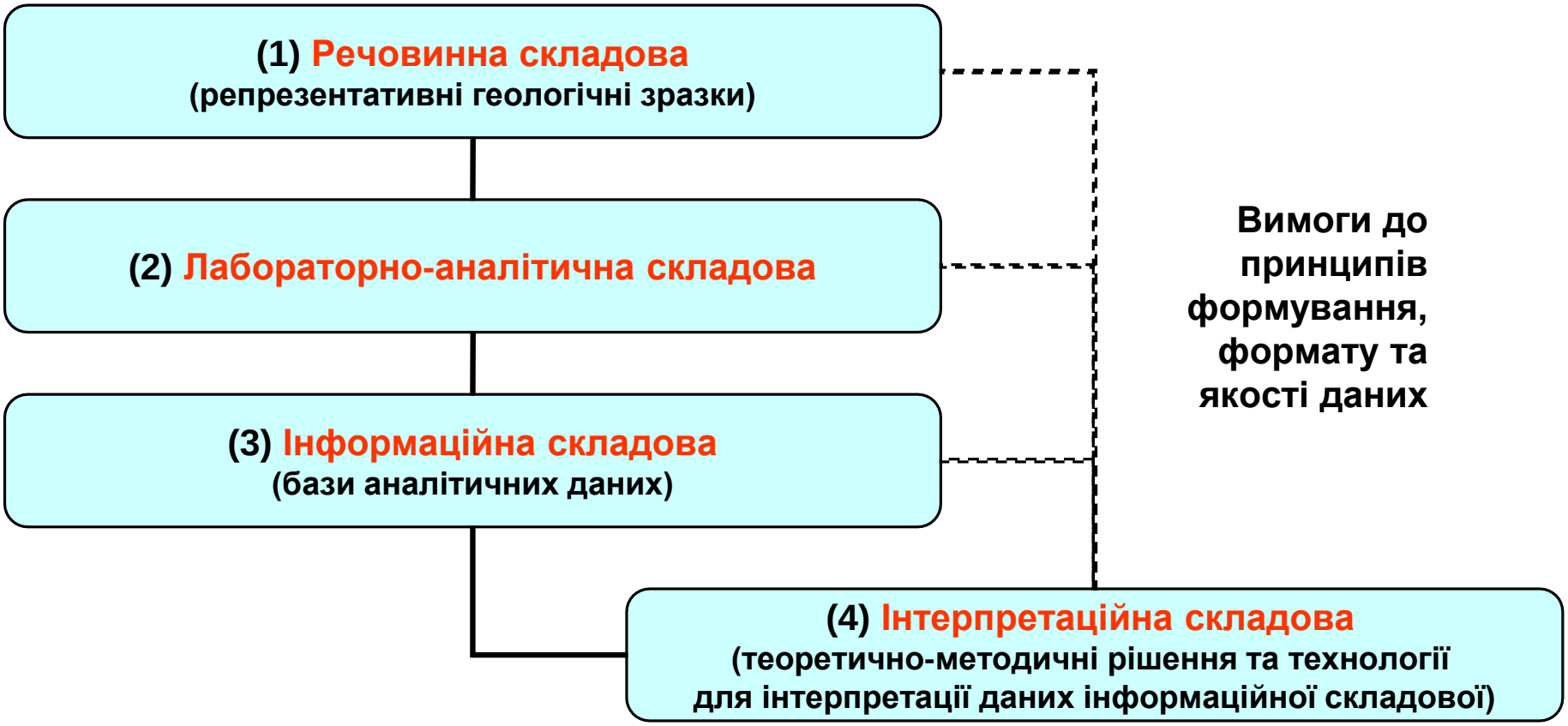
Компактність розміщення речовинної складової забезпечується відходом від безперспективного принципу збереження *всіх матеріалів* на користь орієнтації *Депозитарію* саме на вибіркові, «ключові» породні комплекси регіону

В якості «ключових» породних комплексів (геологічних об'єктів) північно-західної частини Українського щита розглядаються:

(1) Найбільші диференційований магматичний комплекс етапу активізації - Коростенський плутони)

(2) Продукти регіонального алювіального та льодовикового дренажу відповідних геоблоків

Геологічний депозитарій: взаємодія складових



Взаємоузгодження складових за принципом “зворотнього зв’язку”!

Створення геологічного депозитарію північно-західної та центральної частин Українського щита

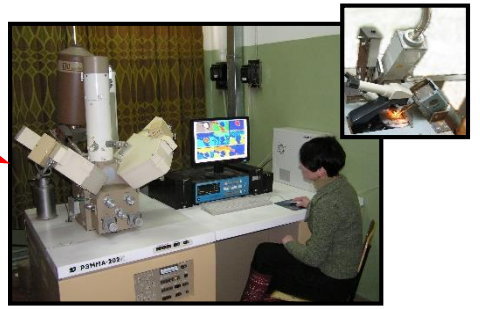
5.03.2014 – 31.12.2015 рр.

НДР № 14БП049-02 (прикладна), № ДР 0114U003477, керівник – д. геол. н. С.Є.Шнюков

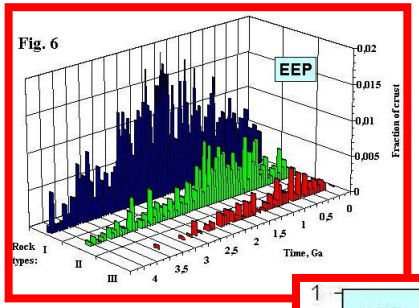
Створено речовинну складову Геологічного Депозитарію північно-західної та центральної частин УЩ за рахунок репрезентативного опробування провідних магматичних комплексів (Коростенський та Корсунь-Новомиргородський плутони) і продуктів алювіального/льодовикового уламкового дренажу вміщуючих геоблоків. Розроблено систему її компактного зберігання.



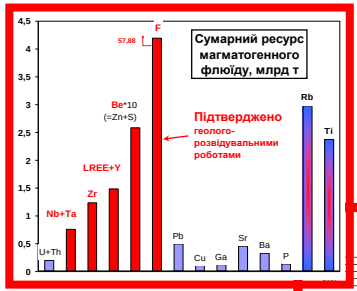
Вдосконалено лабораторно-аналітичну складову Депозитарію - базовий комплекс методів, методик та прецизійного обладнання для геохімічного дослідження гірських порід, руд і мінералів з формуванням інформаційної складової Депозитарію, яка зараз базується на нових результатах вивчення відібраних репрезентативних опорних (200) та рядових (3000) проб.



Запропоновано інтерпретаційну складову Геологічного Депозитарію



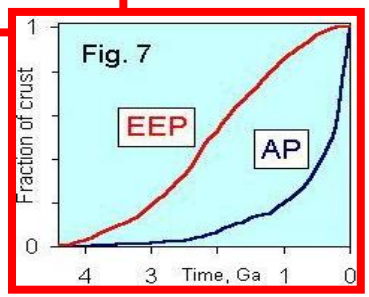
Встановлення етапів еволюції континентальної земної кори

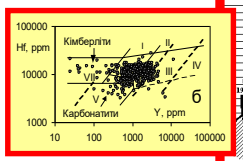


Незалежна оцінка мінерально-сировинного потенціалу її геоблоків

Геологічний Депозитарій

- якісно новий інструмент для ефективного вирішення фундаментальних та прикладних наукових, а також освітянських задач державного значення, які відповідають сучасним та перспективним пріоритетам







Лабораторно-аналітична складова:

Базовий комплекс методів, методик та прецизійного обладнання для дослідження речовинного складу гірських порід, руд і мінералів з визначенням концентрацій всіх головних та широкого набору мікроелементів з метою формування первинних банків мінералого-геохімічних даних - Інформаційної складової Депозитарію.

Має власне прикладне значення

XRF



Елементний аналіз гірських порід і руд на головні та мікроелементи (XRF)

XRD



Визначення їх мінерального складу (XRD)

Гравітаційна, магнітна, електромагнітна та МГС-сепарація



Вилучення акцесорних мінералів (АМ)

Оптична та люмінесцентна мікроскопія



Їх оптичне дослідження

Локальний елементний аналіз

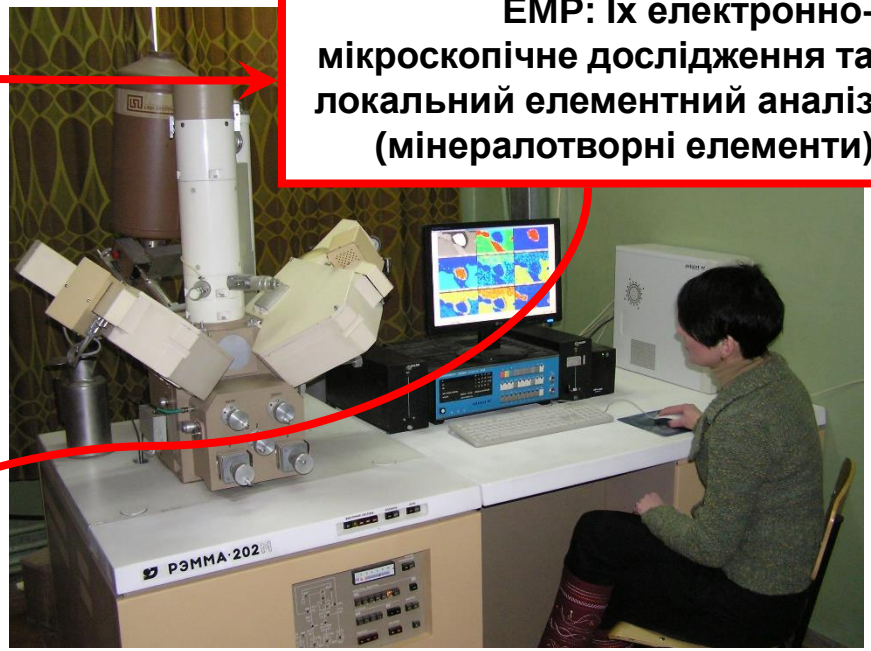
Лабораторно-аналітична складова:

Базовий комплекс методів, методик та прецизійного обладнання для дослідження речовинного складу гірських порід, руд і мінералів з визначенням концентрацій всіх головних та широкого набору мікроелементів з метою формування первинних банків мінералого-геохімічних даних (Інформаційна складова)

XRF-MP/SG: сублокальне визначення мікро-елементного складу мікрокристалів АМ

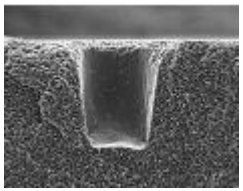


EMP: Їх електронно-мікроскопічне дослідження та локальний елементний аналіз (мінералотворні елементи)





LA-ICP-MS: прецизійний локальний елементний та ізотопний аналіз АМ



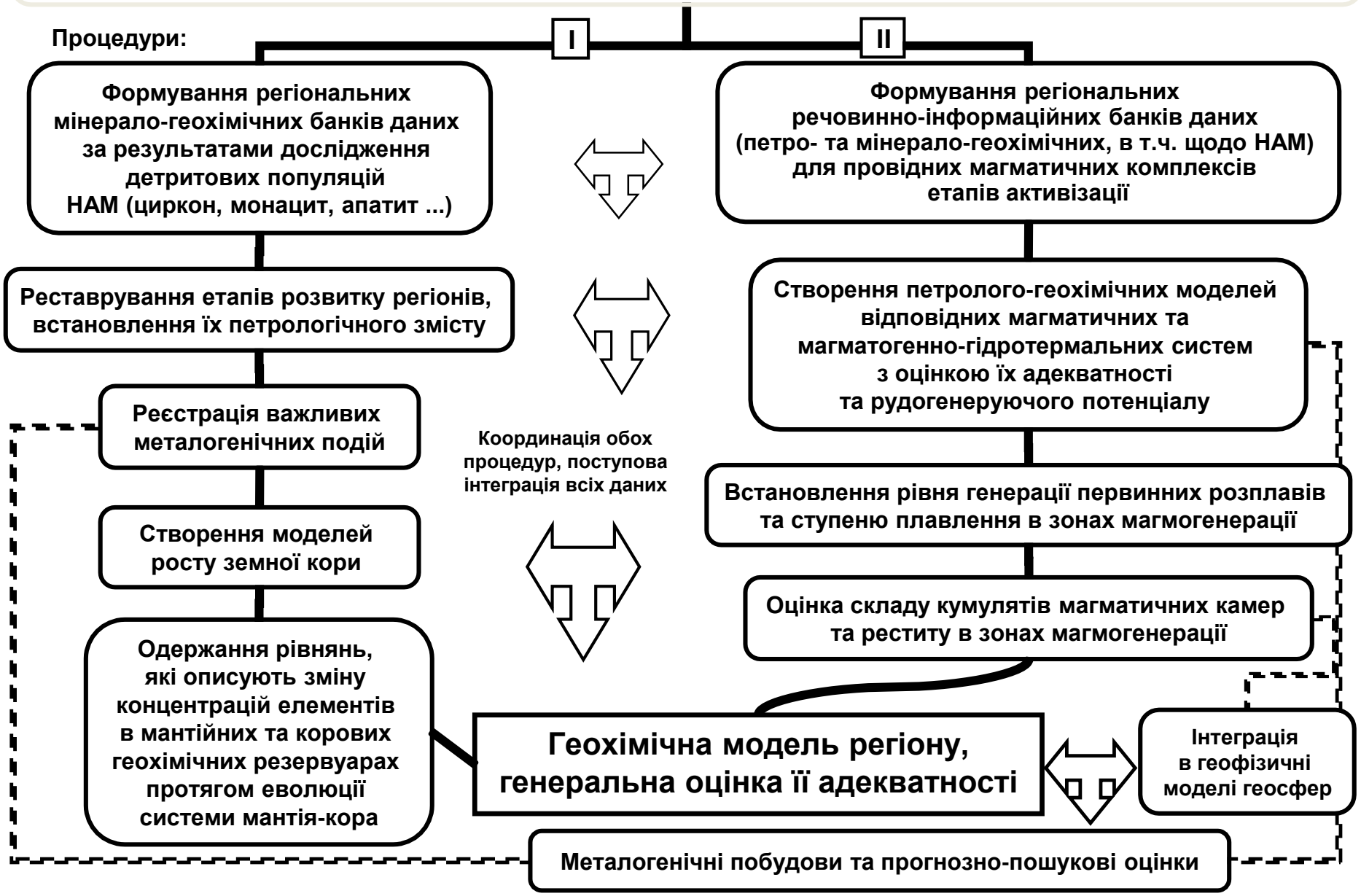


Інформаційна складова

Аналітичні дослідження для формування інформаційної складової депозитарію

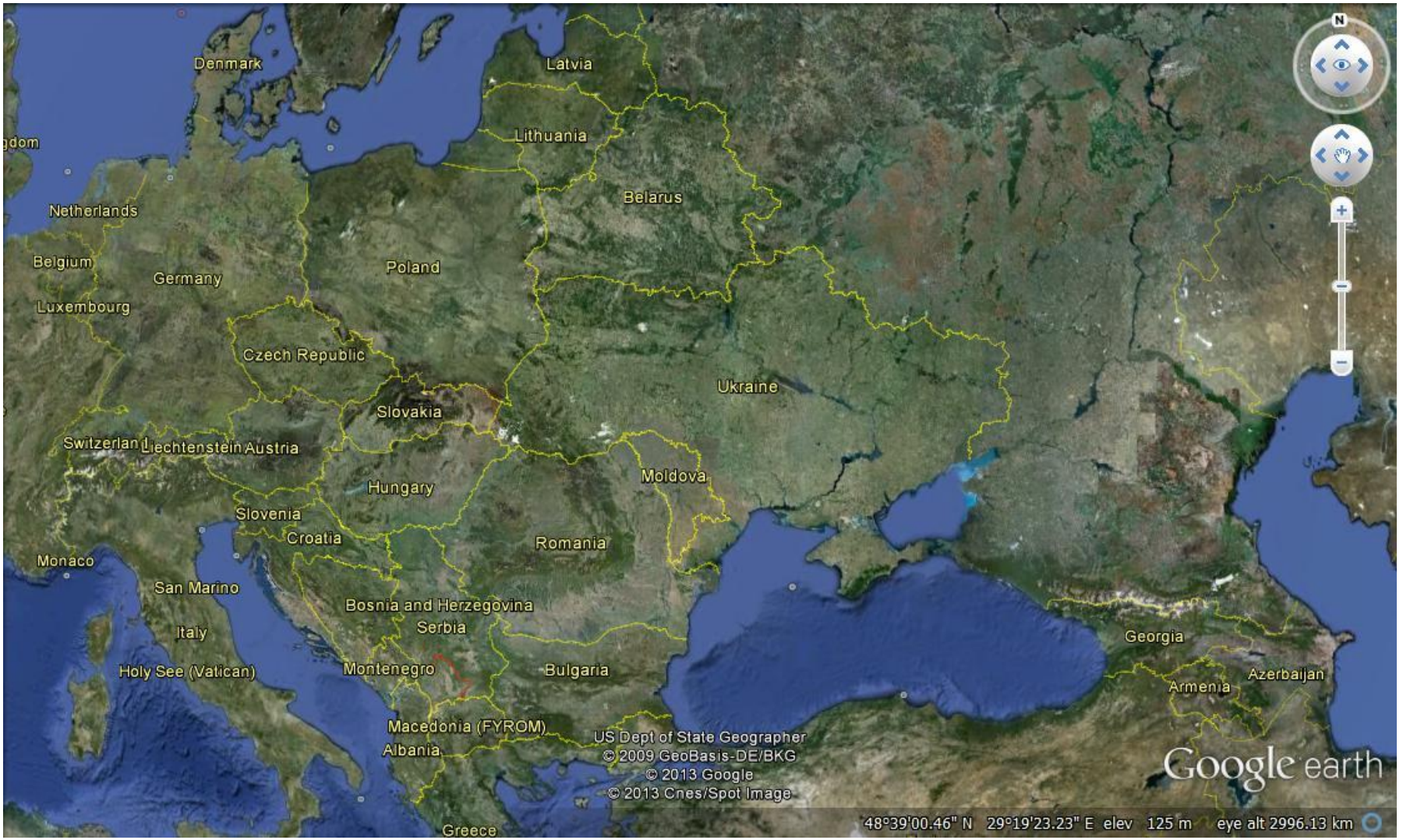
Аналіз порід	**СРМ**	**3490**	**силікатний аналіз**
	Элвакс	**6836**	**визначення мікроелементів**
	XRF-РД	**8907**	**визначення Ba, LREE**
Аналіз мінералів	**XRF-SG**	**5200**	**мікроелементи в акцесорних мінералах**
	РЕММА-202М		**діагностика та склад мінералів**
Аналіз порід та мінералів	**XRD**	**300**	**фазовий рентгено-дифрактометричний, діагностика мінералів**
	Всього:	**24733**	

Комплексне петролого-геохімічне моделювання еволюції земної кори та магматичних систем з оцінкою їх рудогенеруючого потенціалу

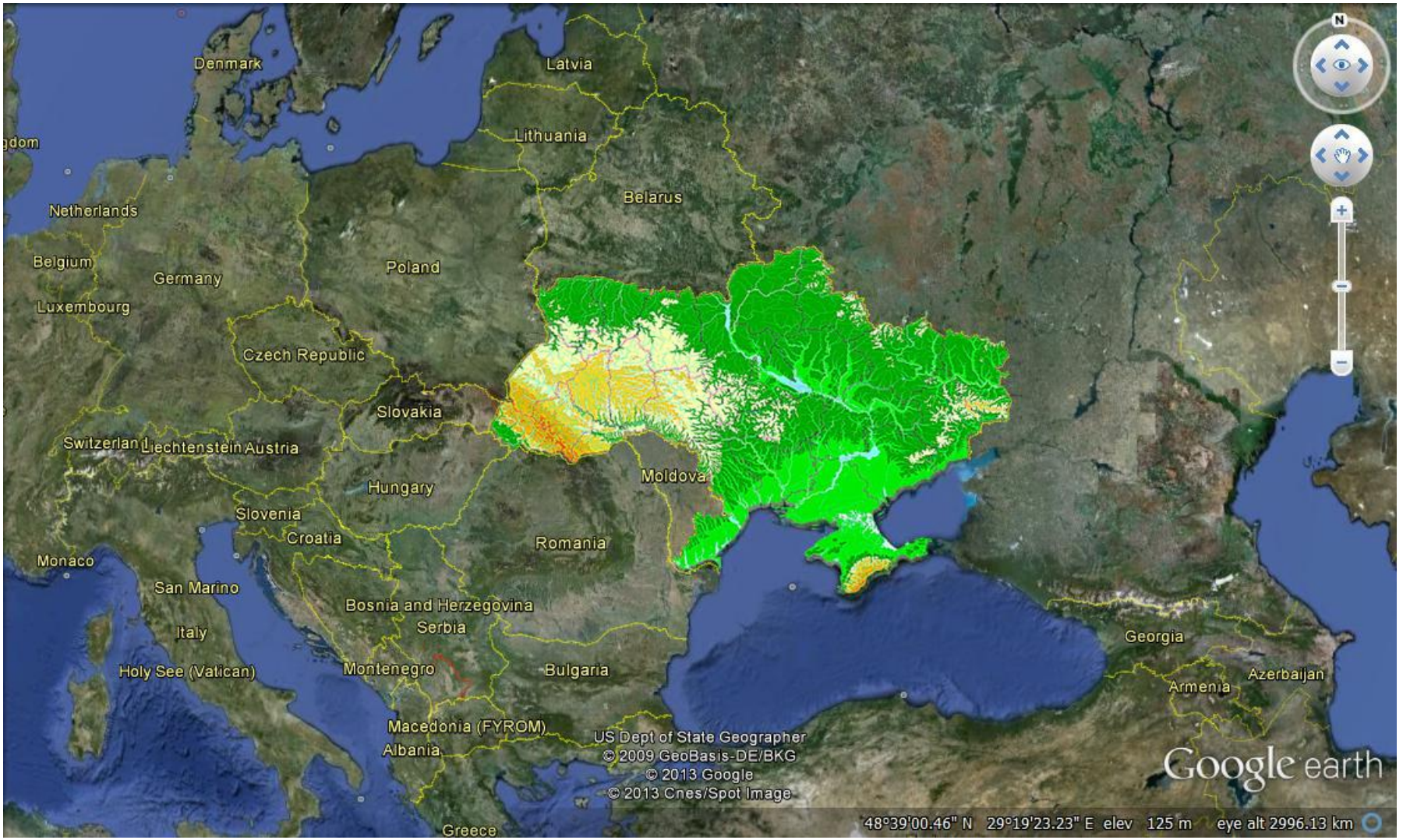


Об’єкти дослідження

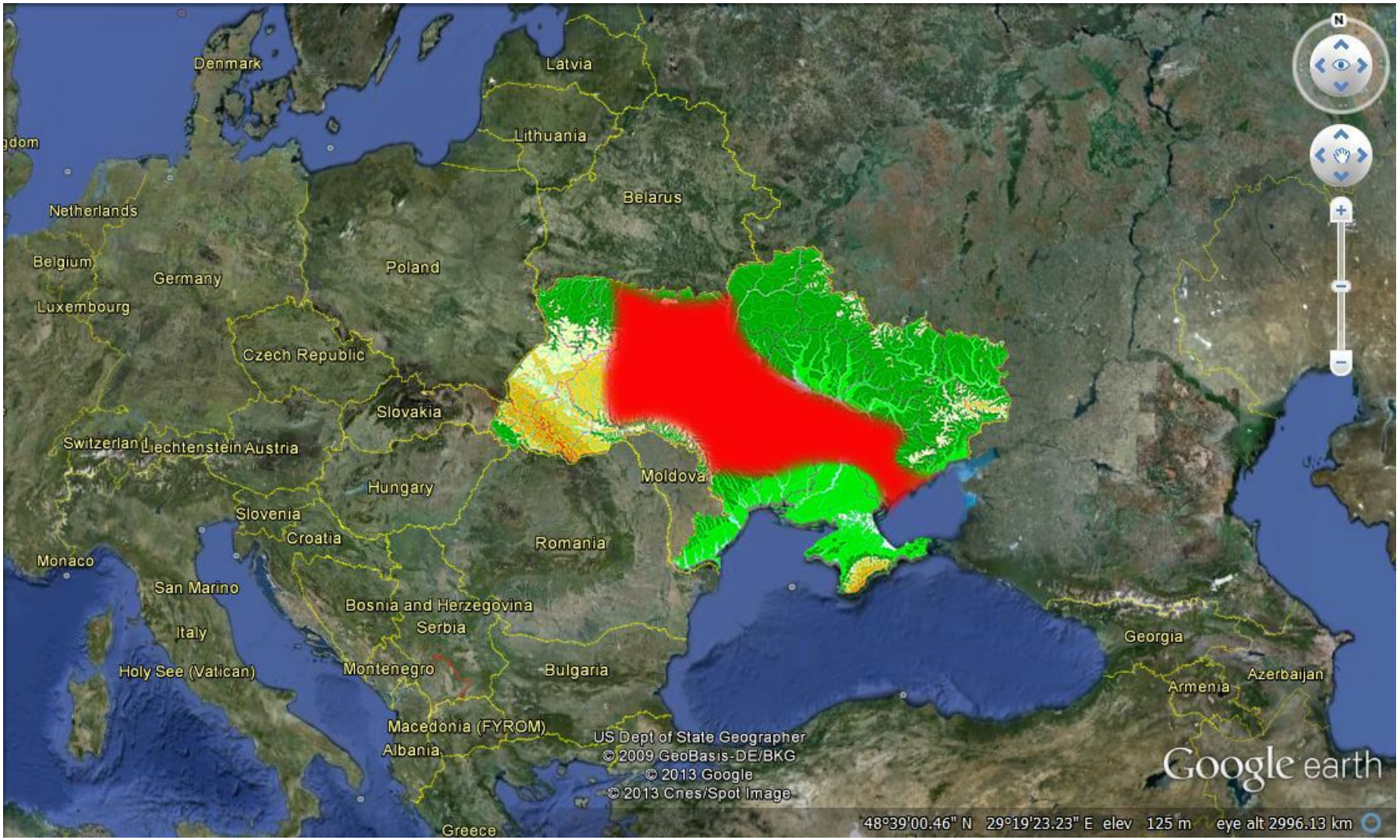
Об’єкт дослідження:



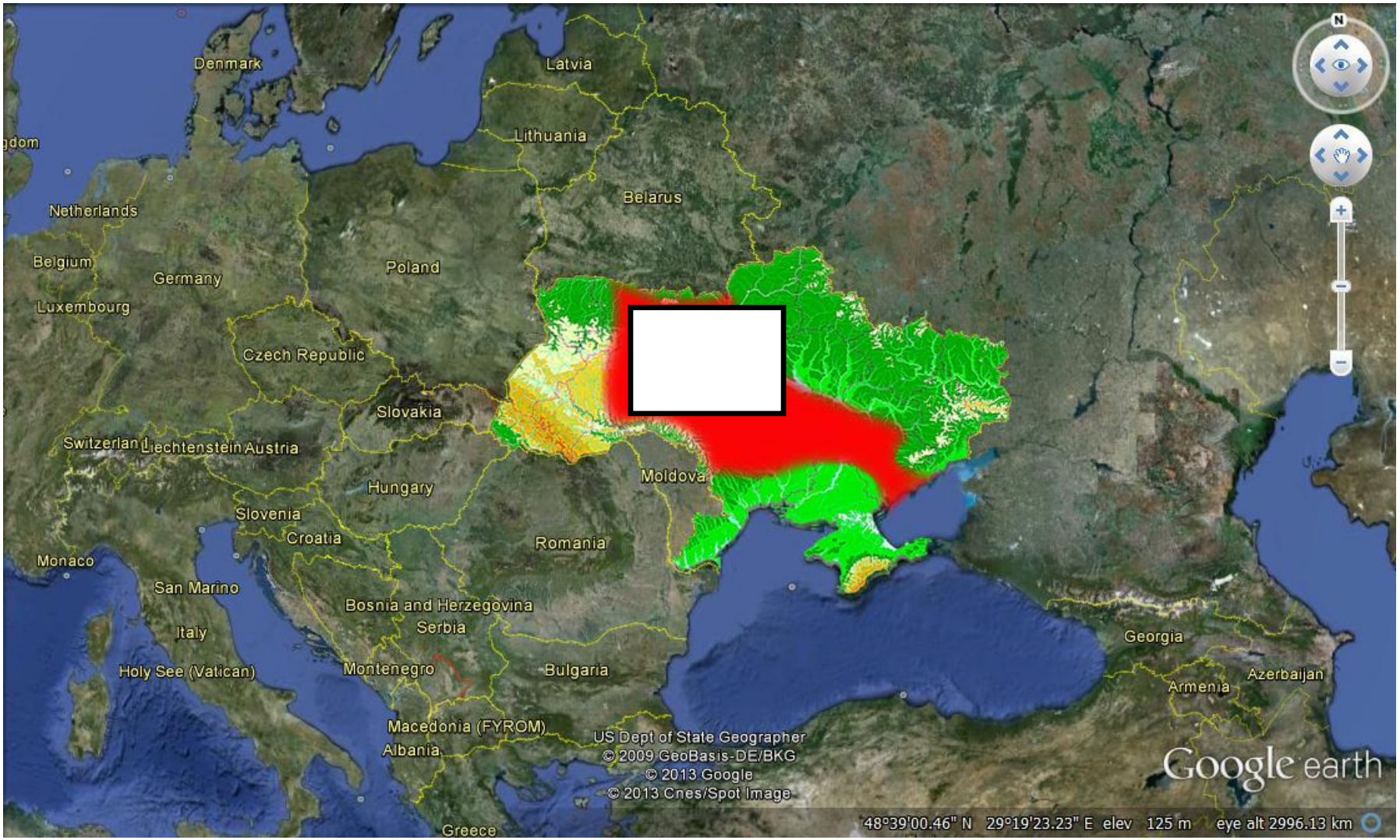
Об’єкт дослідження:



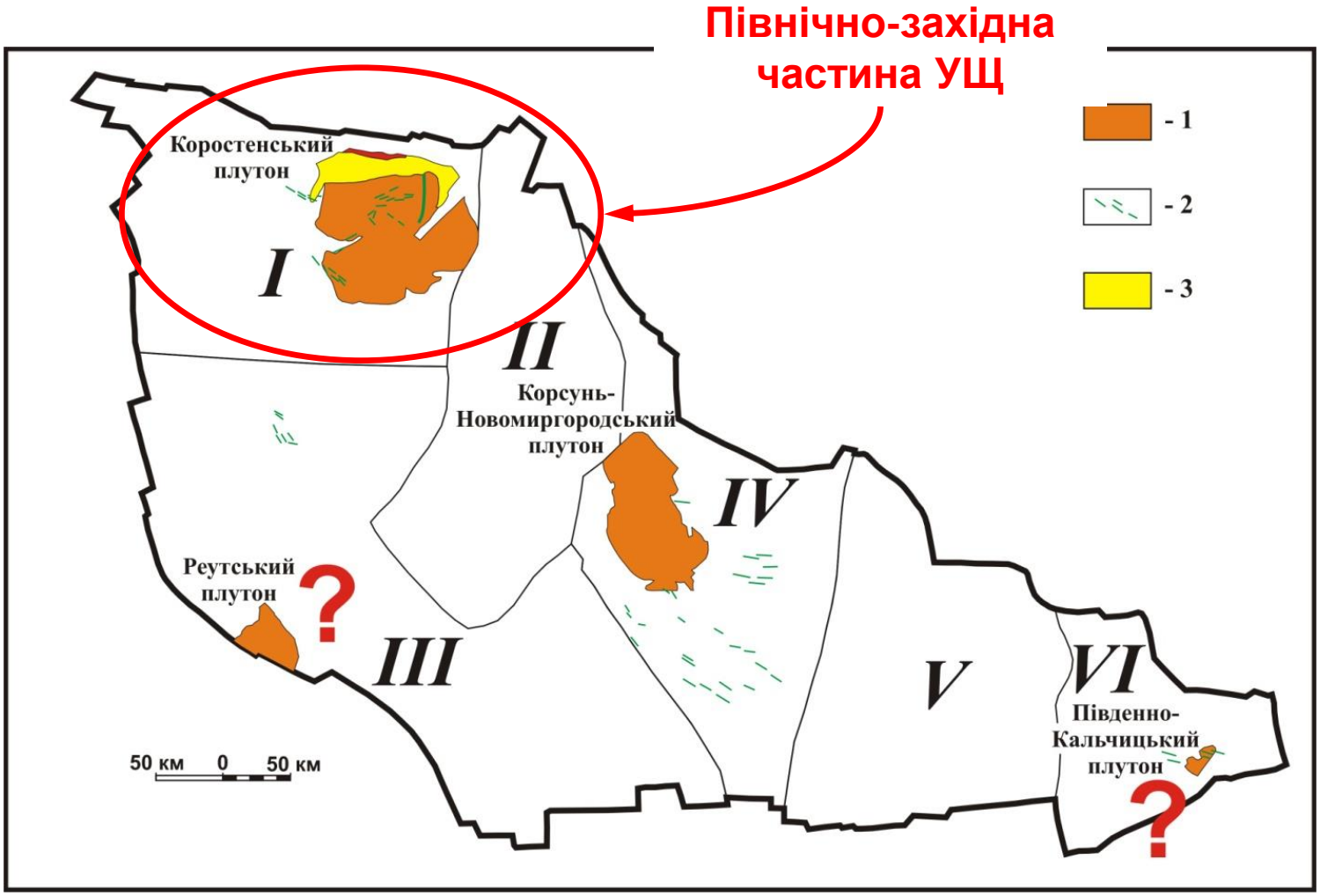
Об’єкт дослідження:



Об’єкт дослідження:



Об’єкт дослідження:



Мегаблоки Українського щита: I – Волинський, II – Росинсько-Тікицький, III – Дністровсько-Бузький, IV - Інгульський, V – Середньо-Придніпровський, VI – Приазовський.

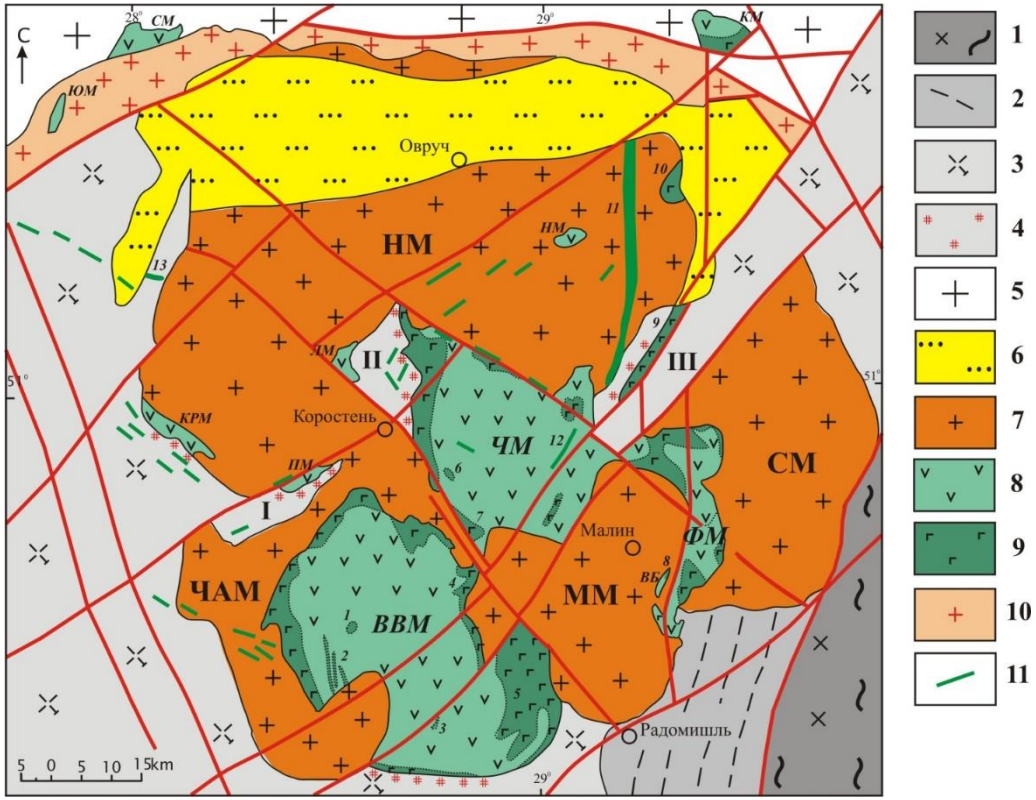
1 – комплекси анортозит-рапаківігранітної формації достовірні, а також ті, що припускаються; 2 – рої сублужних долерит-діабазових дайок; 3 – вулканогенно-теригенні відклади Овруцької, Білокоровицької та Вільчанської западин.

Речовинна складова депозитарію:

Магматити Коростенського плутону

Схематична геологічна карта Коростенського плутону

(складена за матеріалами ГК-1:500000 (1983) зі змінами та доповненнями О.В.Митрохіна])



Умовні позначення: 1 – мігматити звенігородського комплексу; 2 – біотитові гнейси, кристалосланці, амфіболіти та кальцифіри тетерівської серії; 3 – граніти та мігматити житомирського комплексу; 4 – піроксенові гнейси та кристалосланці в екзоконтактових ореолах базитових інтрузій коростенського комплексу; 5 – гранітоїди осницького комплексу; 6 – вулканогенно-теригенні відклади овруцької та топільнянської серій. Інтрузивні утворення коростенського комплексу: 7 – рапаківі та рапаківіподібні граніти; 8 – анортозити та габро-анортозити; 9 – габро, габронорити, габро-монцоніти та моноцоніти; 10 – інтрузивно-метасоматичні утворення пержанського комплексу; 11 – сублужні долерит-діабазові дайки. Гранітоїдні масиви коростенського комплексу: ЧАМ – Червоноармійський, ММ – Малинський, НМ – Народицький, СМ – Сидоровицький. Габро-анортозитові масиви коростенського комплексу: ВВМ – Володарськ-Волинський; ЧМ – Чоповицький; ФМ – Федорівський; КРМ – Кривотинський, ПМ – Пугачівський, ЛМ – Лугинський, ВБ – Візненська брила, ЮМ – Юрівський, СМ – Селізівський, КМ – Кіровський. Титаноносні габроїдні інтрузії: 1 – Кропивенська, 2 – Рижани-Поромівська, 3 – Федорівська, 4 – Добринська, 5 – Торчинська, 6 – Стремигородська; 7 – Граби-Меленівська, 8 – Пенізевицька; 9 – Рудня-Базарська, 10 - Давидківська. Найбільші дайки сублужних габро-діабазів: 11 – Звіздаль-Заліська, 12 – Скуратинська, 13 – Білокоровицька.

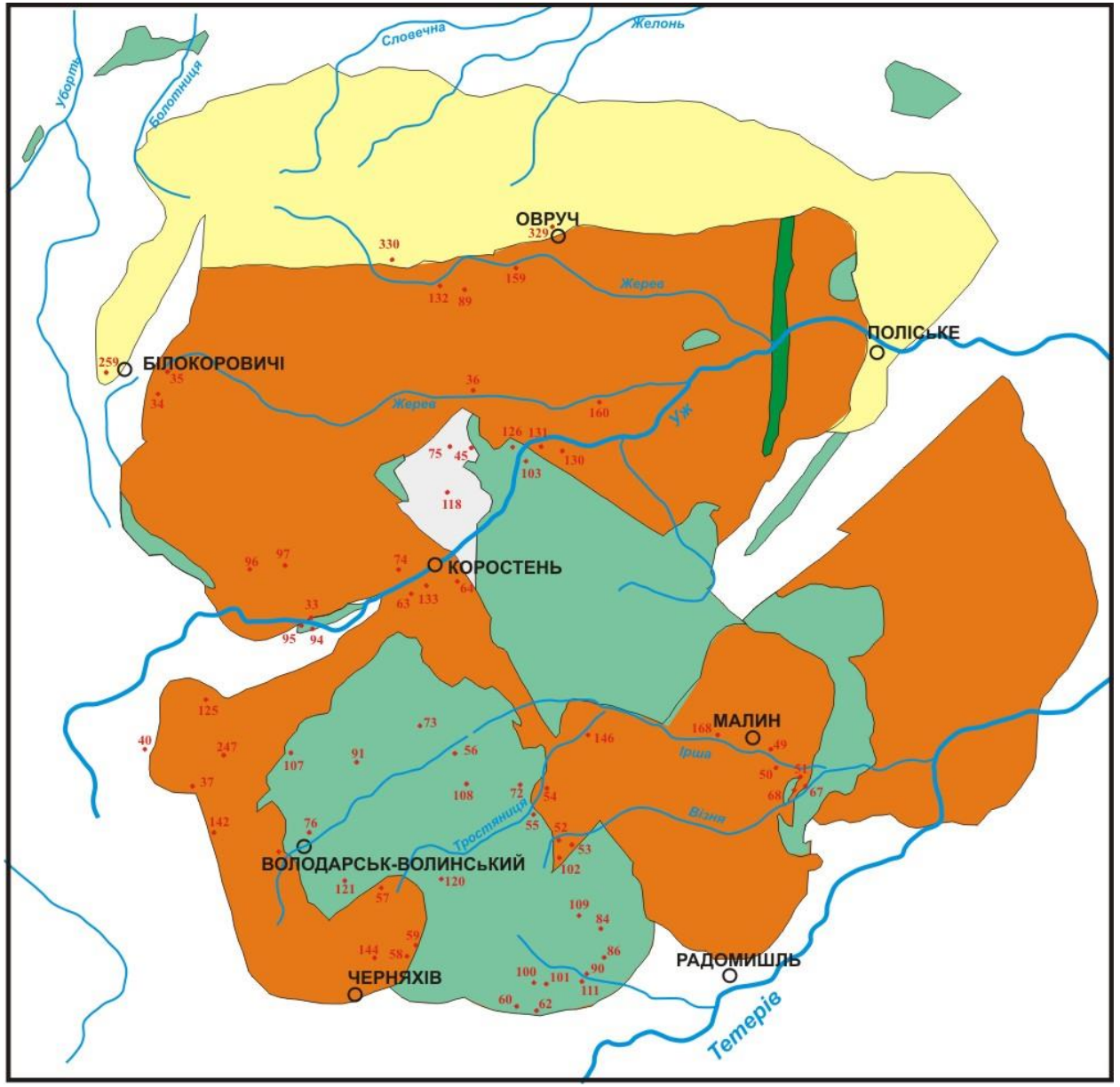
Внутрішні блоки складчастого фундаменту Коростенського плутону: I – Ушомирський, II – Бехінський, III – Народицький.

Речовинна складова депозитарію:

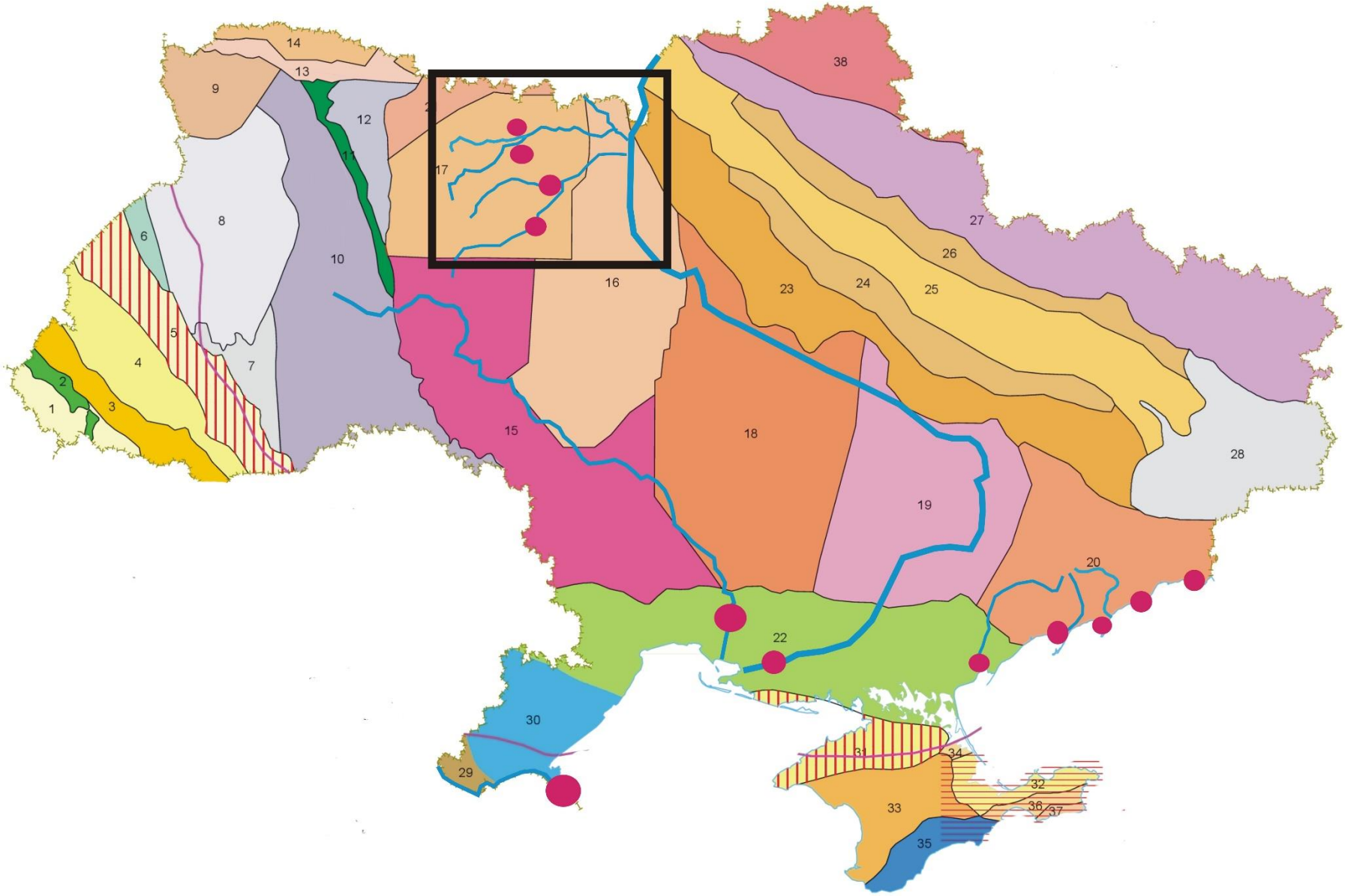
Магматити Коростенського плутону

Досягнута щільність репрезентативного опробування:

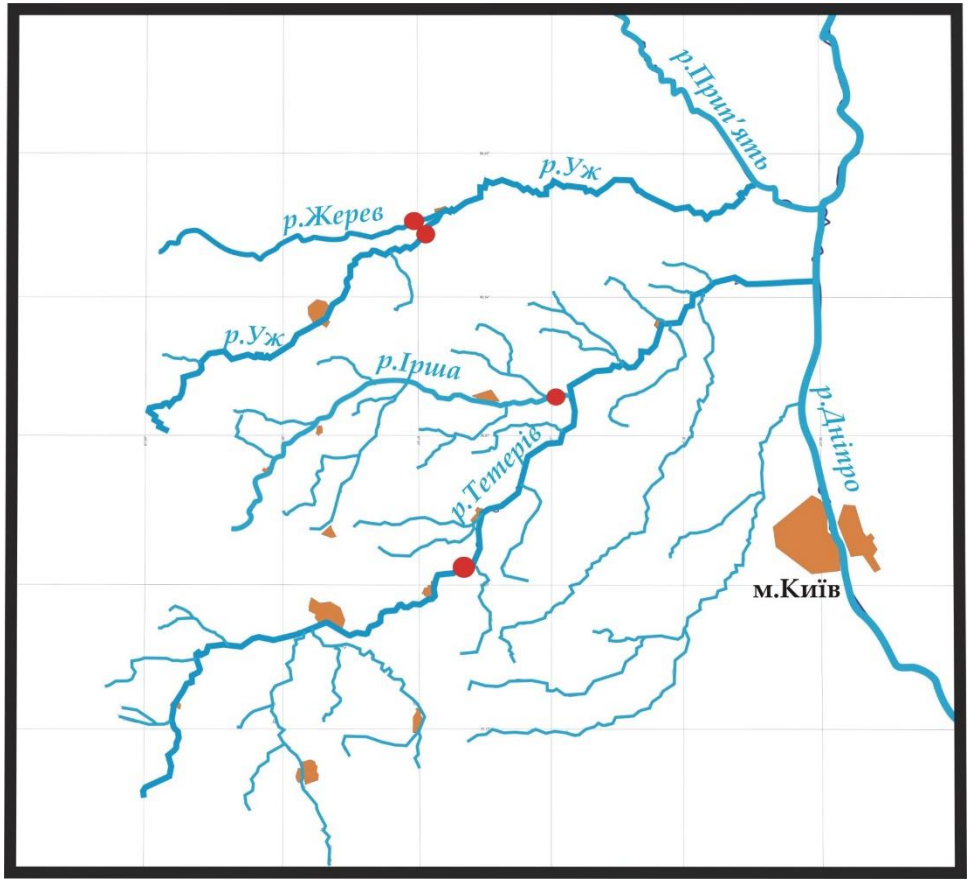
Схематична карта наявного фактичного матеріалу по площі Коростенського плутону. Цифрами позначені номера задокументованих точок спостереження кристалічних порід Коростенського плутону та його найближчого оточення. Зображення гідросітки ілюструє сучасний дренаж східної частини Волинського мегаблоку УЩ.



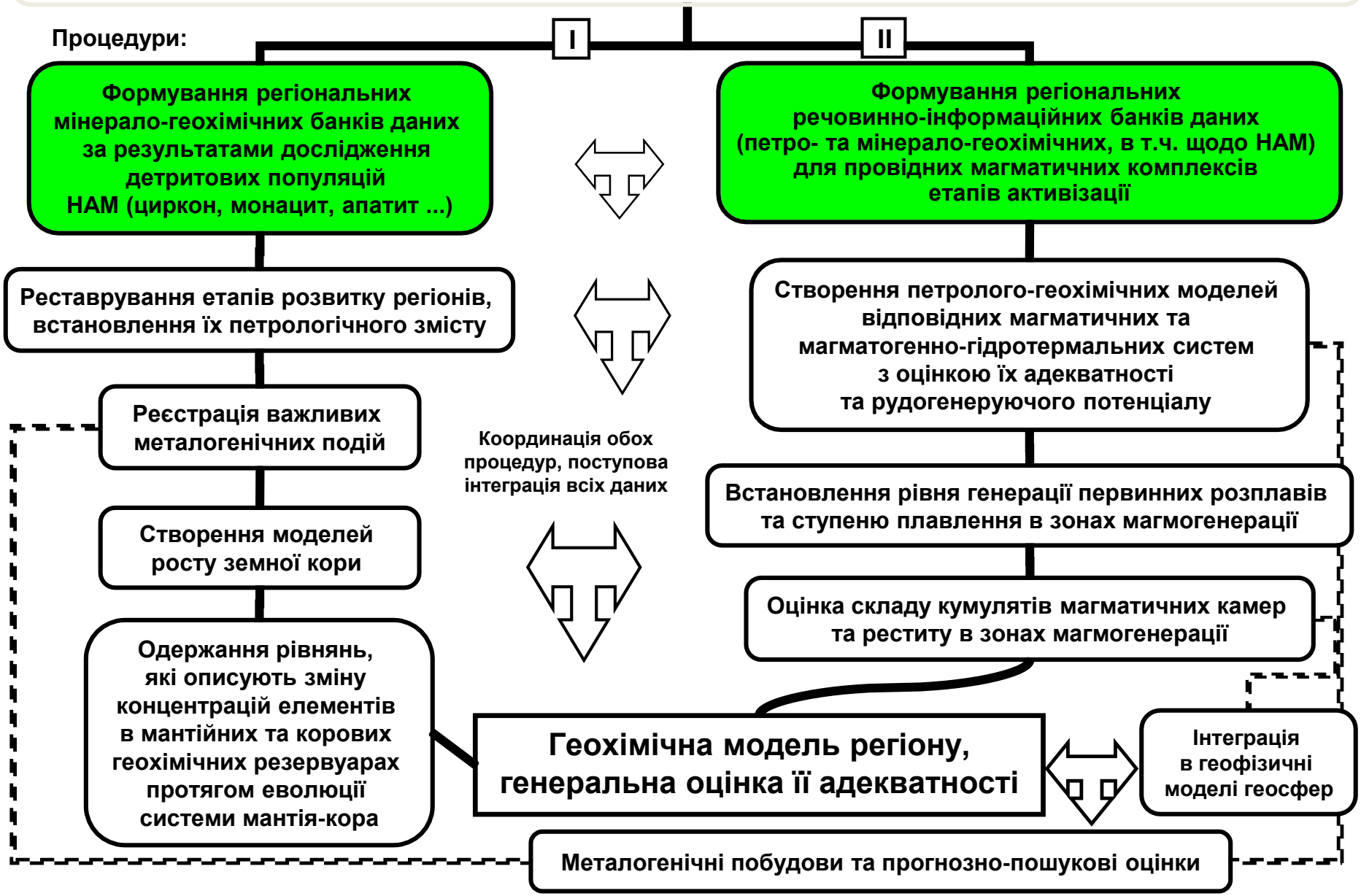
Досліджені теригенні відклади:



Досліджені теригенні відклади:



Комплексне петролого-геохімічне моделювання еволюції земної кори та магматичних систем з оцінкою їх рудогенеруючого потенціалу



Речовинна складова депозитарію:

Магматити Коростенського плутону

Повна документація опробування в електронному вигляді є частиною інформаційної складової депозитарію

Система опробування:

Передбачала одержання уніфікованої і репрезентативної характеристики кожного петротипу за допомогою комплекту, що складався з серії *рядових геохімічних проб* (n = 20-25, маса кожної - 100-300 г) і декількох (n = 3-5) *опорних мінералого-геохімічних проб* (моноліт об'ємом 1-2 дм3 и масою 2,5-5 кг).

Маса рядових проб обиралась виходячи зі стандартних вимог до їх репрезентативності (визначалась зернистістю та структурно-текстурними особливостями порід).

Маса опорних проб контролювалась однорідністю породи, передбачуваним вмістом в ній наскрізних акцесорних мінералів (НАМ) і необхідністю дослідження рівноважного розподілу мікроелементів в їх співіснуючих індивідах. Остання причина визначала і фактично штуфний спосіб опробування з одержанням моноліту заданого об'єму.

Опорних: 159 Рядових: 1000

NB: Ієрархія та структура речовинного вмісту Геологічного депозитарію

На прикладі Українського щита (УЩ):

Регіон УЩ

Інформаційно-речовинні об’єкти зберігання:

“Ключовий” магматичний комплекс регіону

Регіональний палео- та сучасний уламковий дренаж вміщуючого геоблоку

Одиниці зберігання:

Петротип
(продукт еволюції магматичної системи)

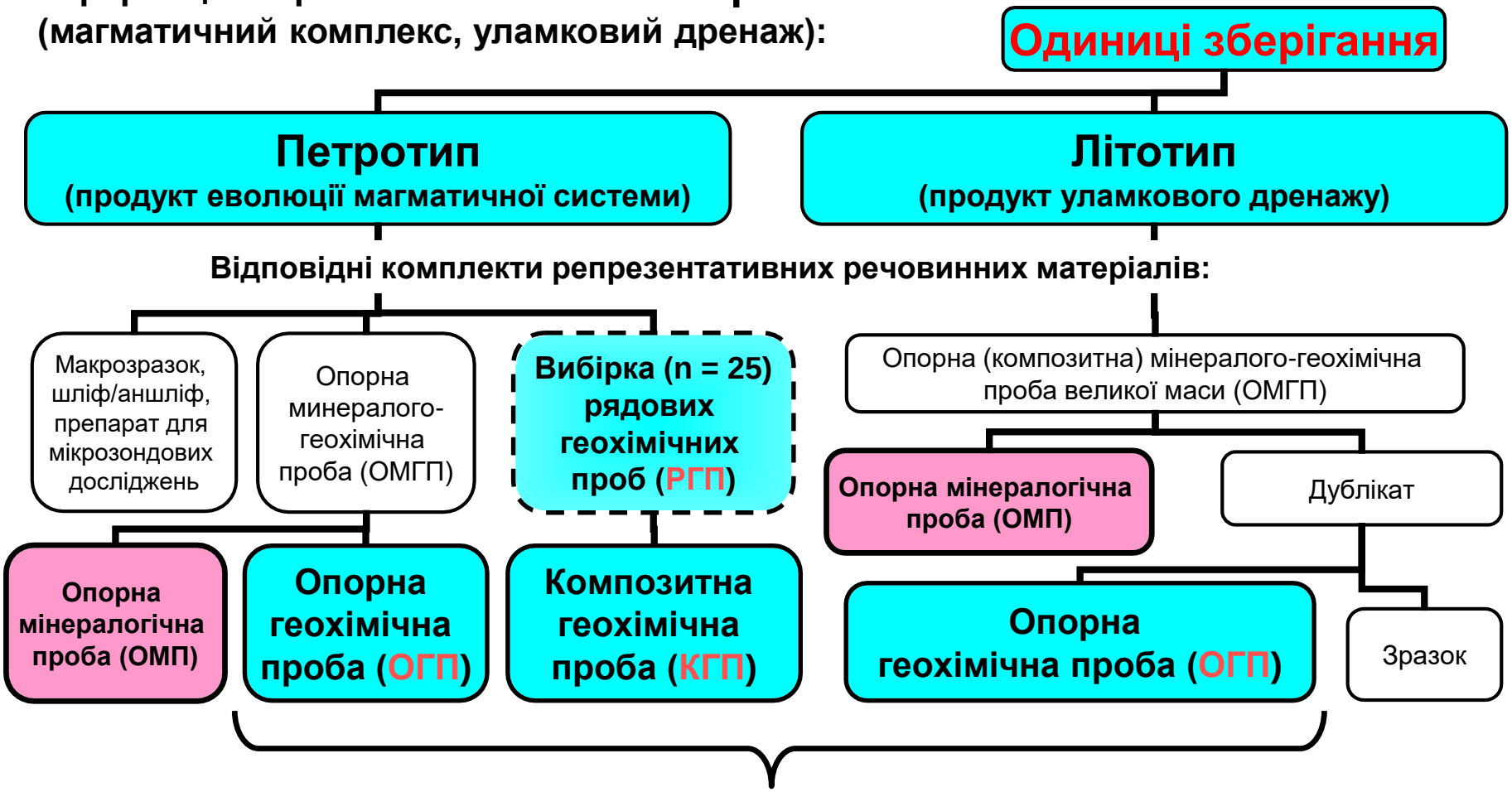
Літотип
(продукт уламкового дренажу)

Відповідні комплекти репрезентативних речовинних матеріалів:

- Макрозразок, шліф/аншліф, препарат для мікрозондових досліджень
- Опорна мінералого-геохімічна проба (ОМГП)
  - Опорна мінералогічна проба (ОМП)
  - Опорна геохімічна проба (ОГП)
- Вибірка рядових геохімічних проб (n = 25)
  - Композитна геохімічна проба (КГП)
- Опорна (композитна) мінералого-геохімічна проба великої маси (ОМГП)
  - Опорна мінералогічна проба (ОМП)
  - Зразок (дублікат)
    - Опорна геохімічна проба (ОГП)

Інформаційна складова Геологічного депозитарію:

Інформаційно-речовинні об’єкти зберігання (магматичний комплекс, уламковий дренаж):



Геохімічні банки даних породного рівня Геологічного депозитарію формуються саме за рахунок:

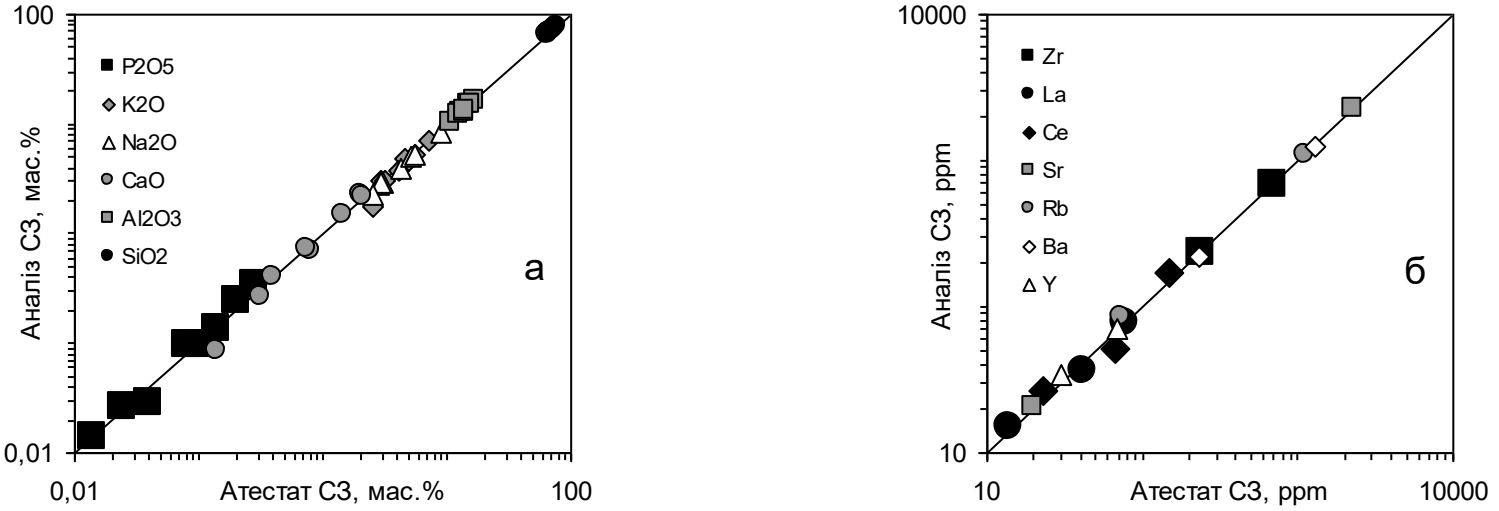
РГП + ОГП + КГП (петротип) ОГП (літотип)

Інформаційна складова Геологічного депозитарію:

Геохімічні банки даних породного рівня
Геологічного депозитарію формуються саме за рахунок:
РГП + ОГП + КГП (петротип) ОГП (літотип)

Аналітичні дослідження (~3000 аналізів):

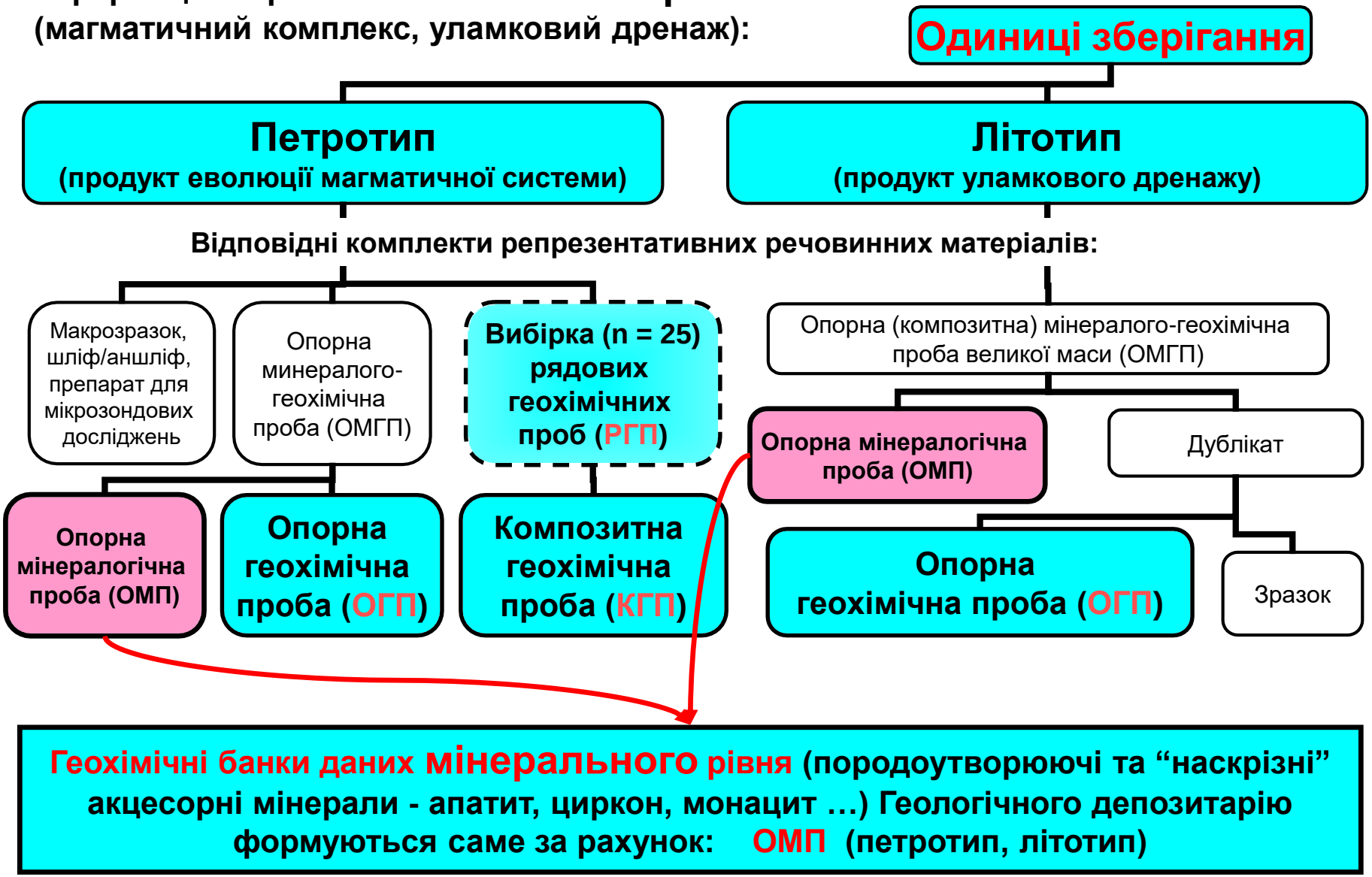
Визначались усі петрогенні і комплект літо- і халькофільних мікроелементів з різними значеннями ефективних іонних радіусів і коефіцієнтів розподілу мінерал/розплав (SiO_2, TiO_2, Al_2O_3, $Fe_2O_3^{total}/FeO^{total}$, MnO, MgO, CaO, Na_2O, K_2O, P_2O_5, S, Cl, Zr, Sr, Ba, Rb, Y, La, Ce, Nd, Nb, Th, Ga, Pb, Zn, Cu). Межа визначення: Zr, TR_{Ce} (LREE) — 10-20, Y — 5-10 ppm; P_2O_5 — 0,00n мас. %; інші петрогенні і мікроелементи — 0,01-0,1 мас. % і 5-20 ppm відповідно. Прийнятність систематичної похибки визначень постійно контролюється аналізом комплектів стандартних зразків (СЗ), індивідуальних для кожного об'єкта, що досліджується:



Зіставлення результатів аналізу контрольних СЗ з атестованими в них значеннями концентрацій петрогенних (*а*) і мікроелементів (*б*).

Інформаційна складова Геологічного депозитарію:

Інформаційно-речовинні об’єкти зберігання (магматичний комплекс, уламковий дренаж):

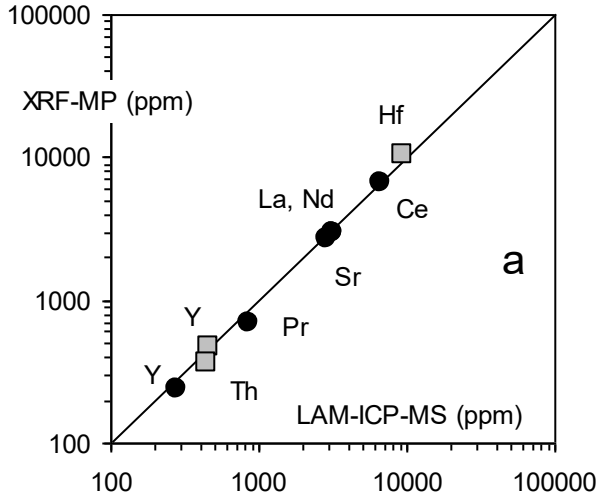


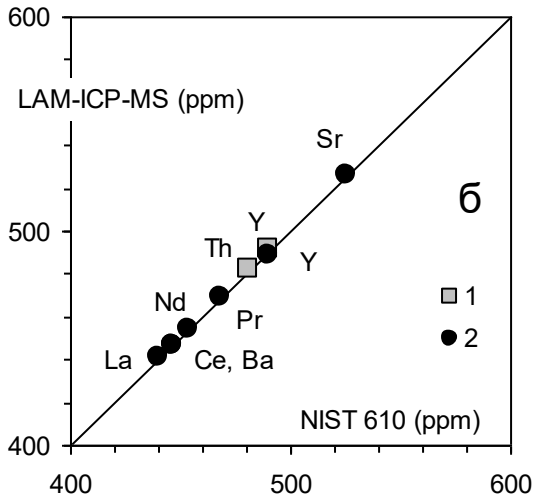
Інформаційна складова Геологічного депозитарію:

Геохімічні банки даних мінерального рівня (породоутворюючі та "наскрізні" акцесорні мінерали - апатит, циркон, монацит …) Геологічного депозитарію формуються саме за рахунок: ОМП (петротип, літотип)

Аналітичні дослідження (~ 5000 аналізів):

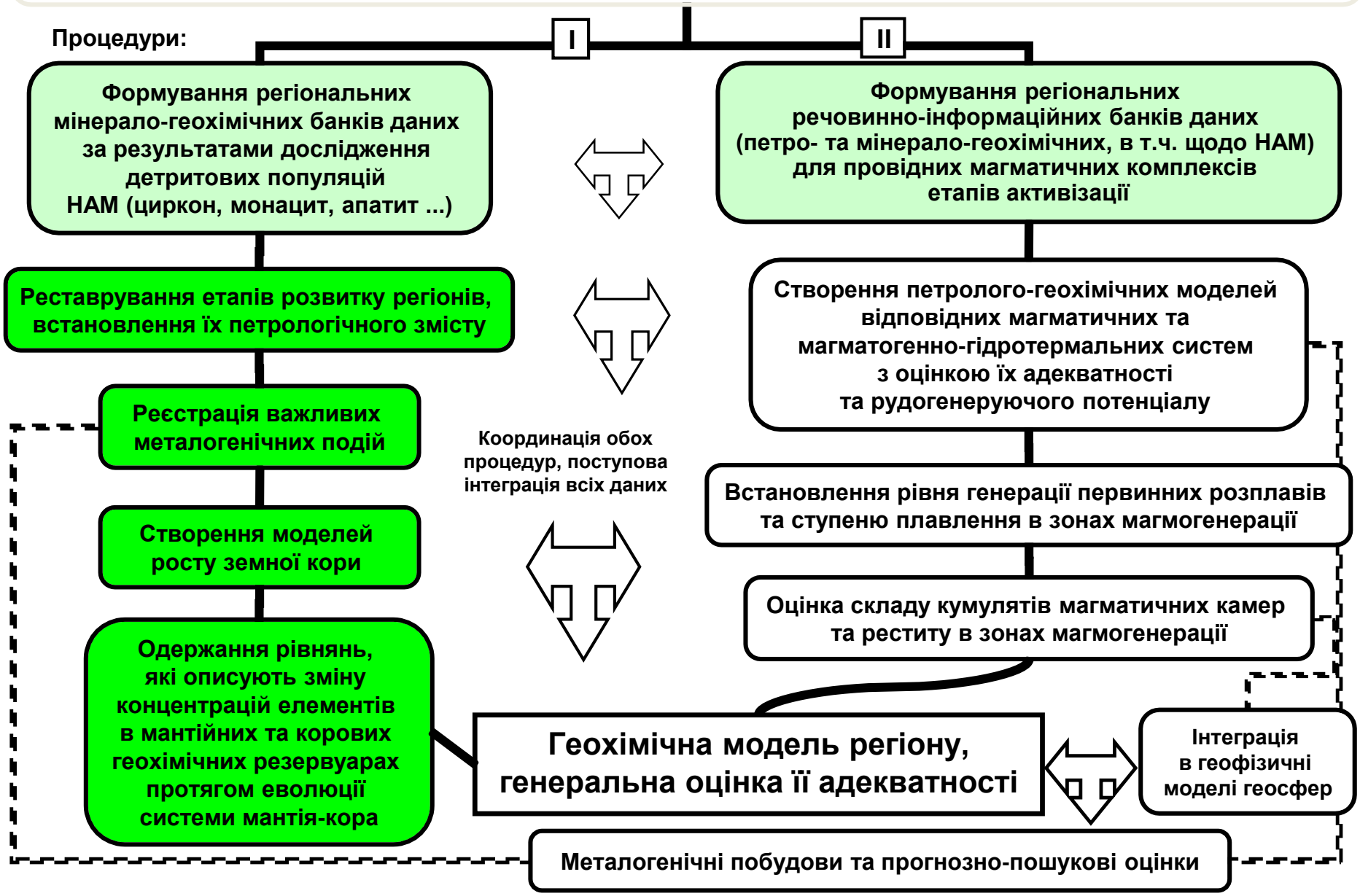
Крім електронно-зондового мікроаналізу, реалізованого на базі модифікованого електронного мікроскопа-мікроаналізатора РЕММА-202М, у якості базового використовується енергодисперсійний XRF у варіантах, які спеціально розроблені для кількісного визначення концентрацій найважливіших індикаторних елементів-домішок (Hf, Y, LREE, Sr, Th, U, Pb, Nb, Ta тощо) в поодиноких зернах акцесорних мінералів (XRF-MP/SG) і реалізовані на установках оригінальної конструкції. Межа визначення (ПО): Hf — 100, інші елемент и — 5-10 ppm. Відносна похибка — 5-15 % (при С (ppm)≥10ПО).



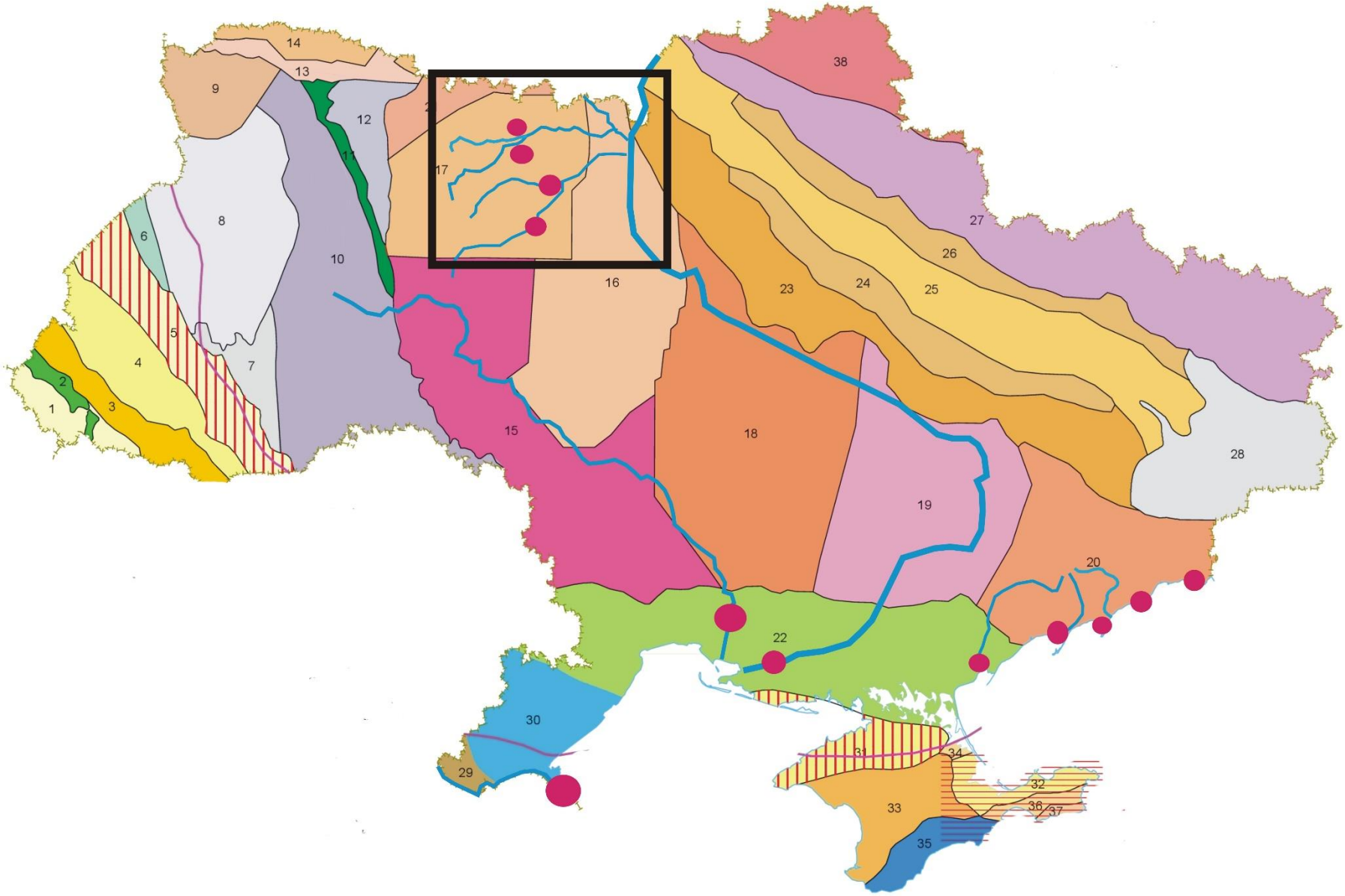


Зіставлення результатів аналізу зразків порівняння Kovd-ZR та Kovd-AP методами XRF-MP і LAM-ICP-MS (*а*) та оцінка якості калібрування останнього на прикладі контрольного аналізу міжнародного стандарту NIST 610 (*б*). Режими аналізу: 1 — циркону; 2 — апатиту.

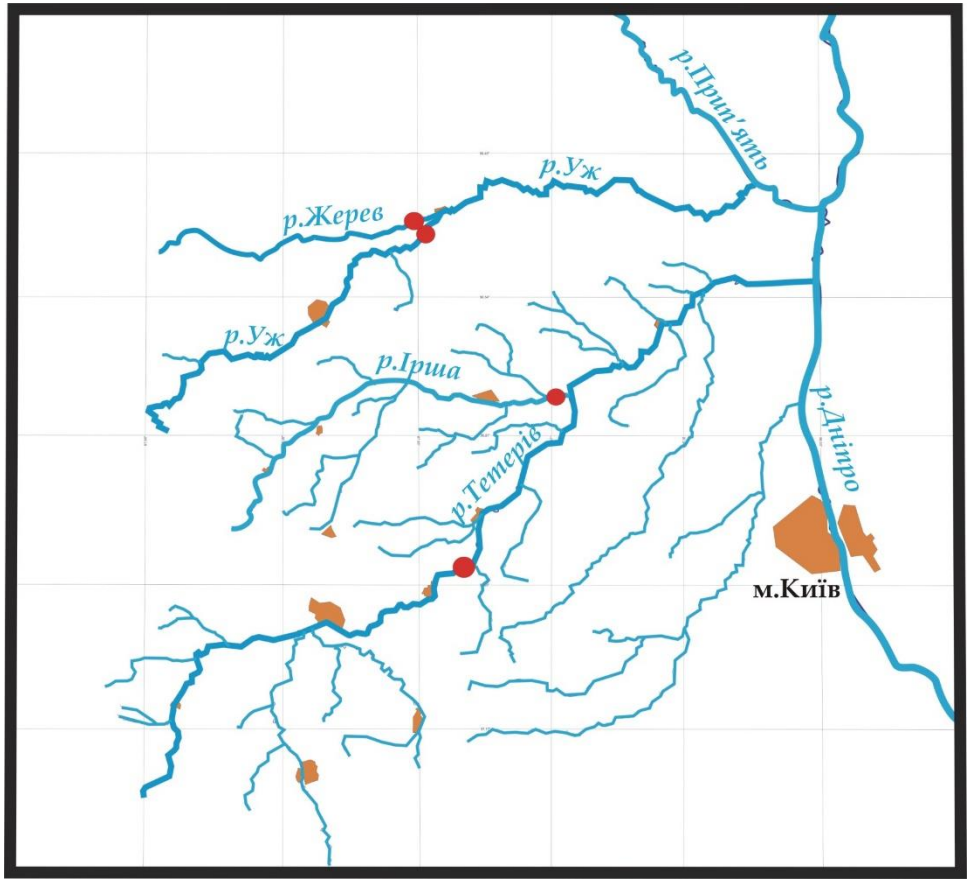
Комплексне петролого-геохімічне моделювання еволюції земної кори та магматичних систем з оцінкою їх рудогенеруючого потенціалу

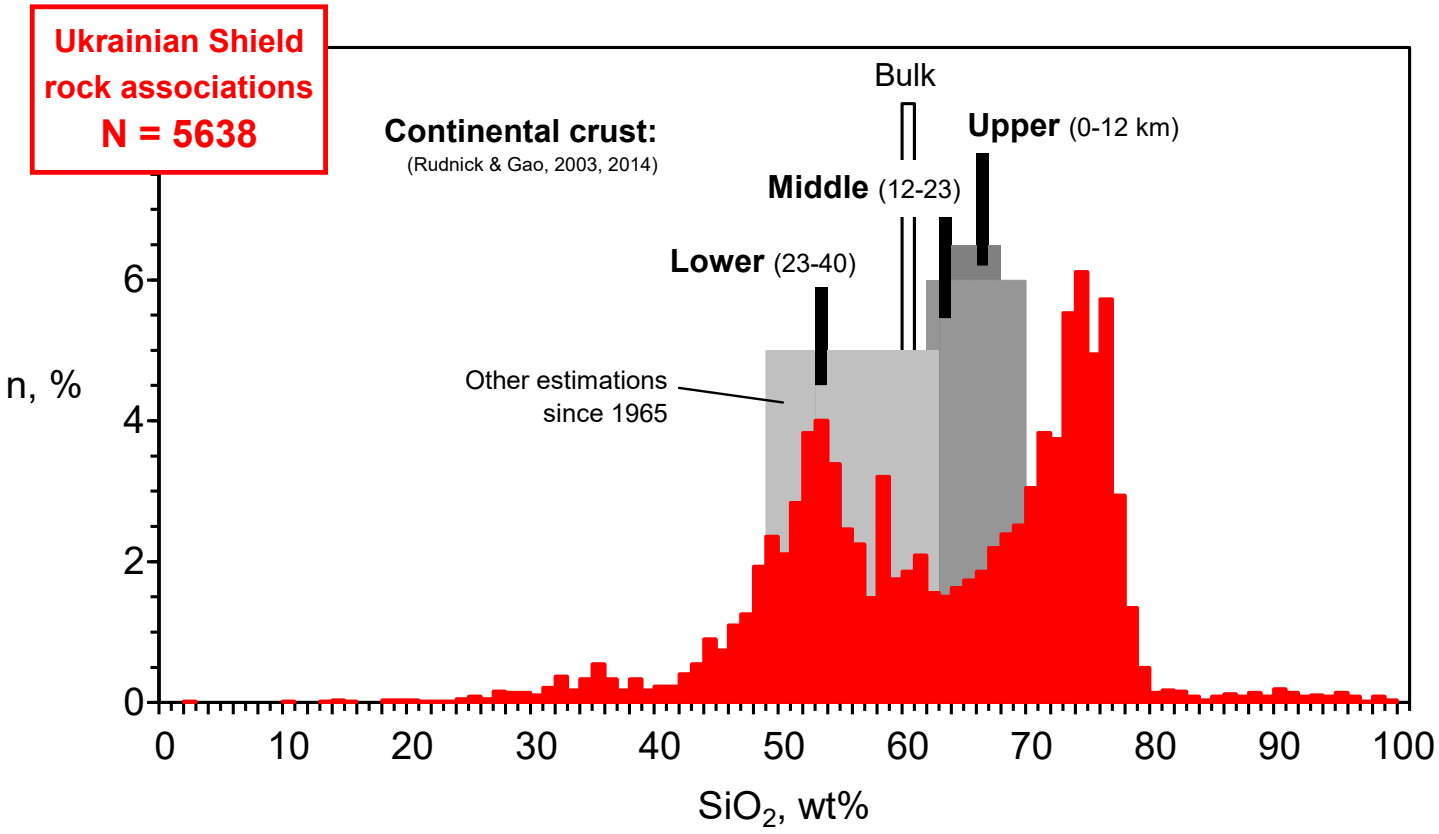


Досліджені теригенні відклади:

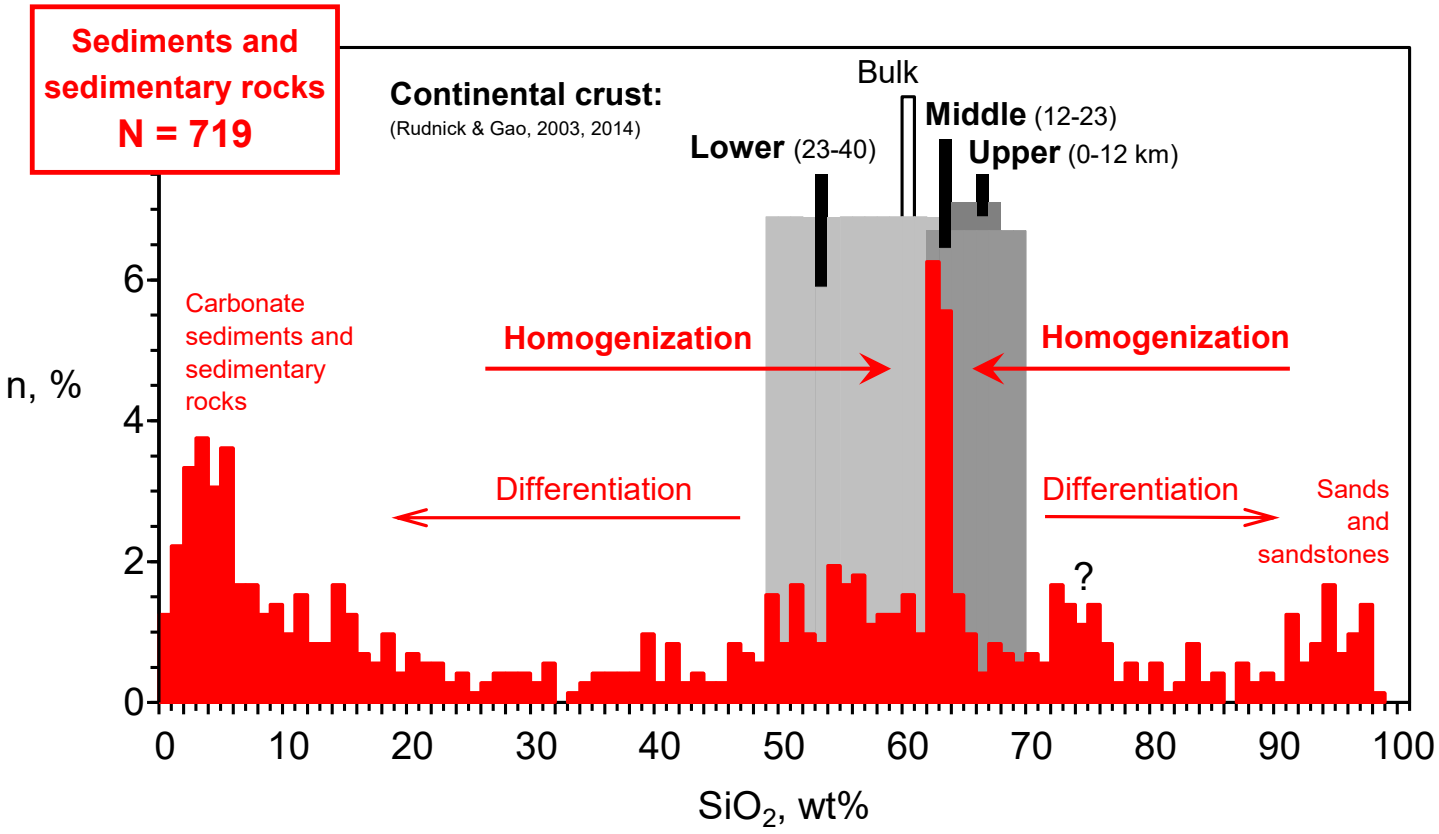


Досліджені теригенні відклади:

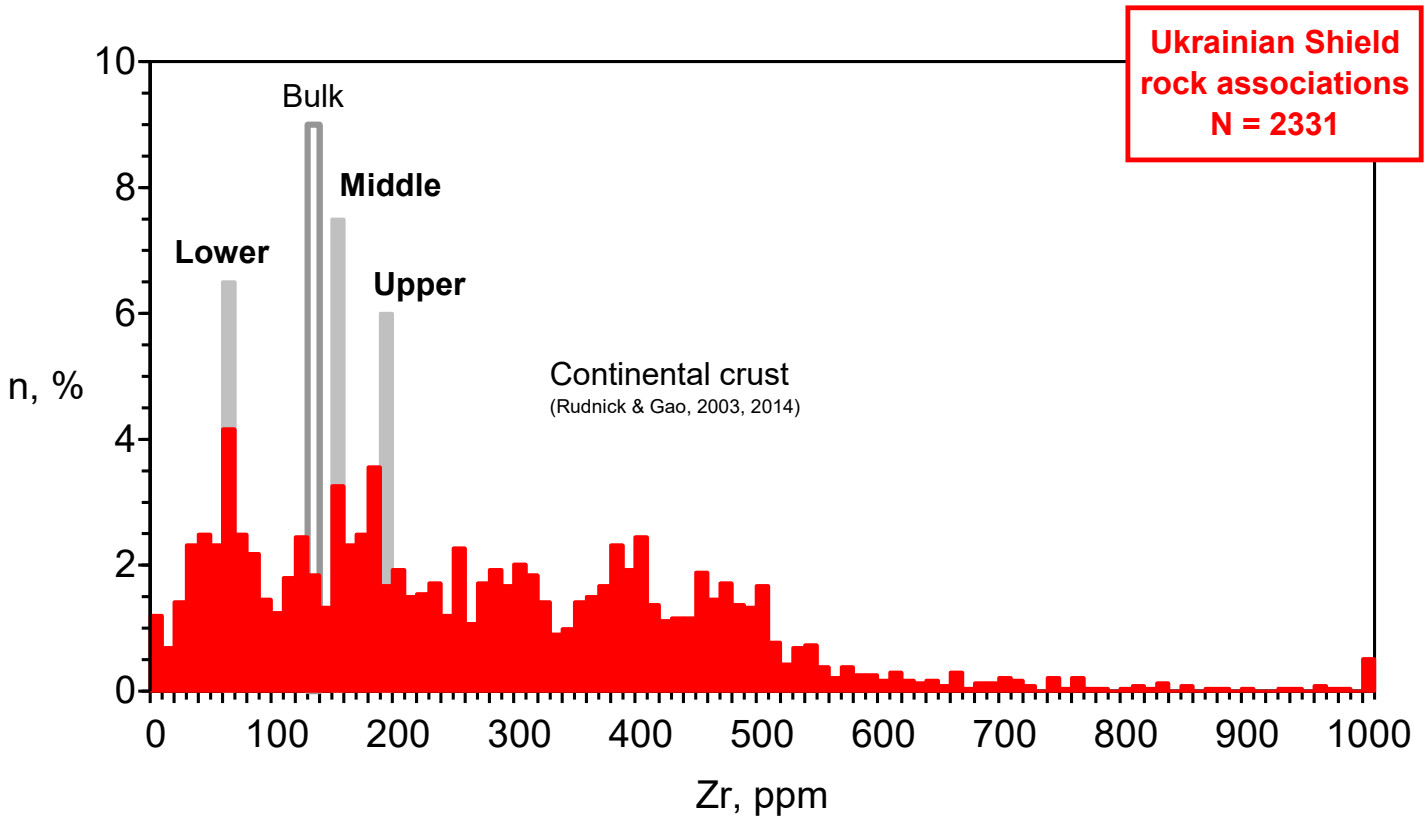



Ukrainian Shield
rock associations
N = 5638
Continental crust:
(Rudnick & Gao, 2003, 2014)
Bulk
Upper (0-12 km)
Middle (12-23)
Lower (23-40)
Other estimations
since 1965
n, %
0
2
4
6
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
SiO2, wt%

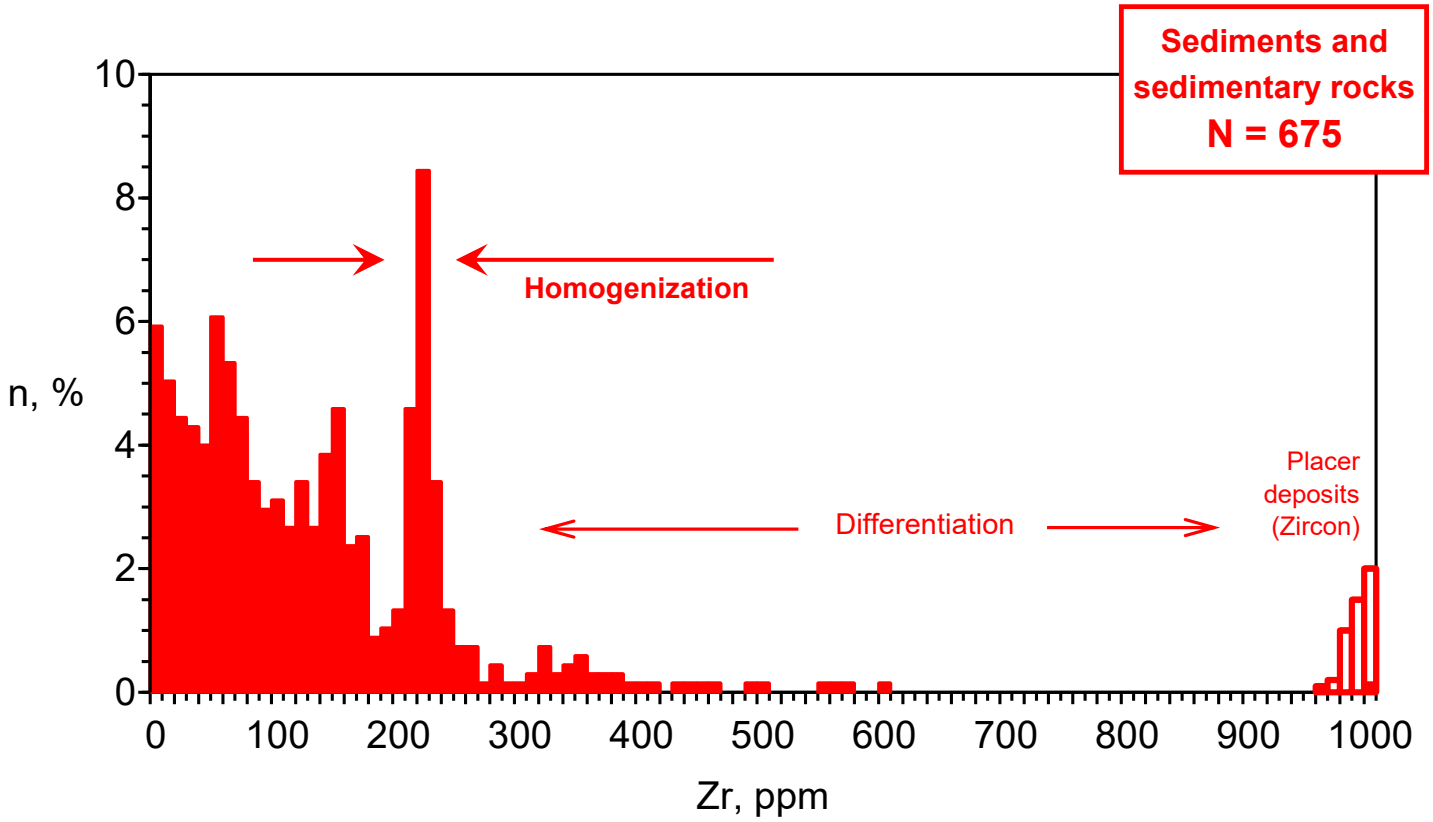
$SiO_2 = SiO_2^*$


Sediments and sedimentary rocks
N = 719
Continental crust:
(Rudnick & Gao, 2003, 2014)
Bulk
Middle (12-23)
Lower (23-40)
Upper (0-12 km)
Carbonate sediments and sedimentary rocks
Homogenization
Homogenization
Differentiation
Differentiation
Sands and sandstones
?
n, %
0
2
4
6
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
SiO2, wt%

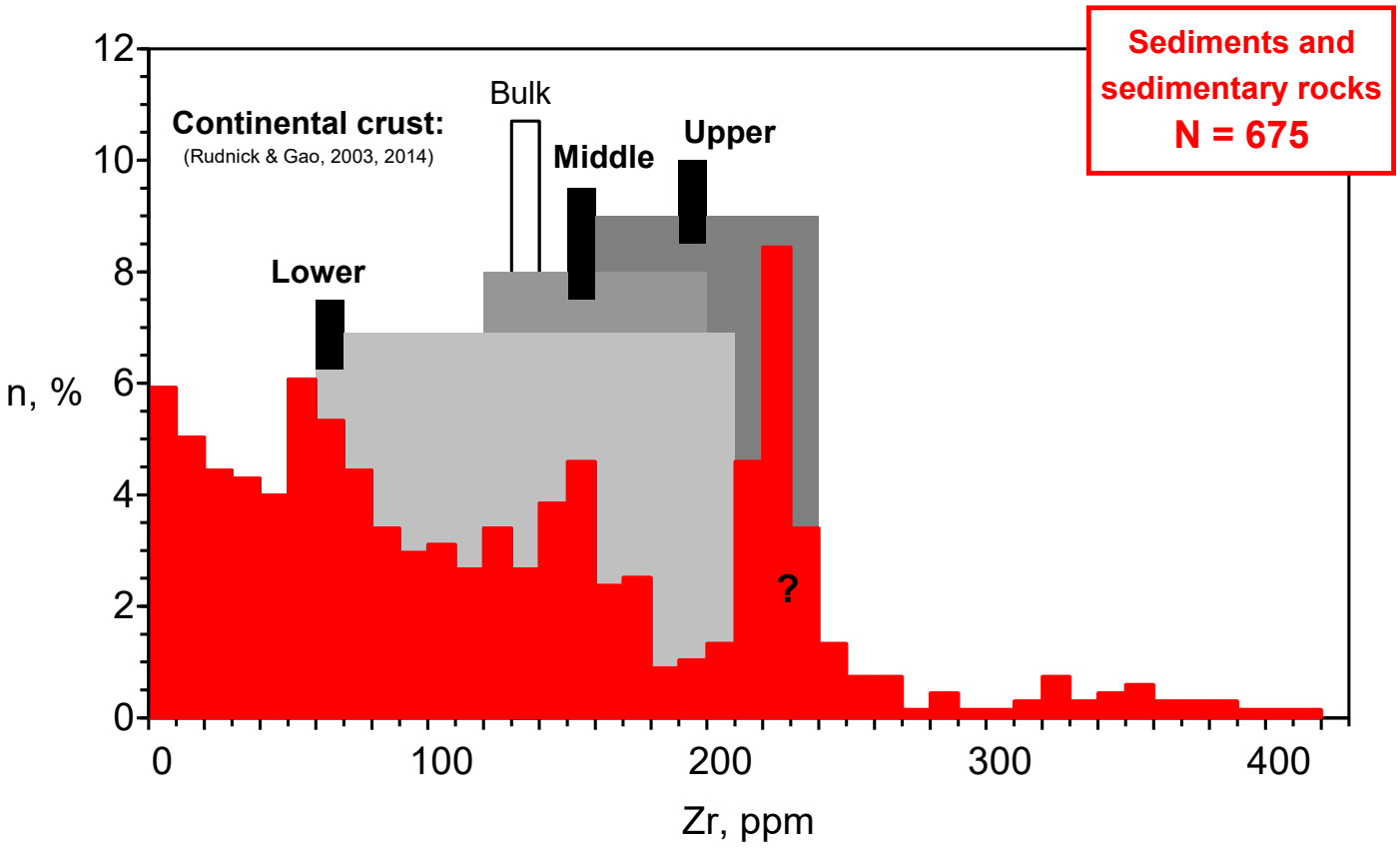
$SiO_2 = SiO_2^*$


Ukrainian Shield
rock associations
N = 2331
Bulk
Middle
Lower
Upper
Continental crust
(Rudnick & Gao, 2003, 2014)
n, %
Zr, ppm
0
2
4
6
8
10
0
100
200
300
400
500
600
700
800
900
1000

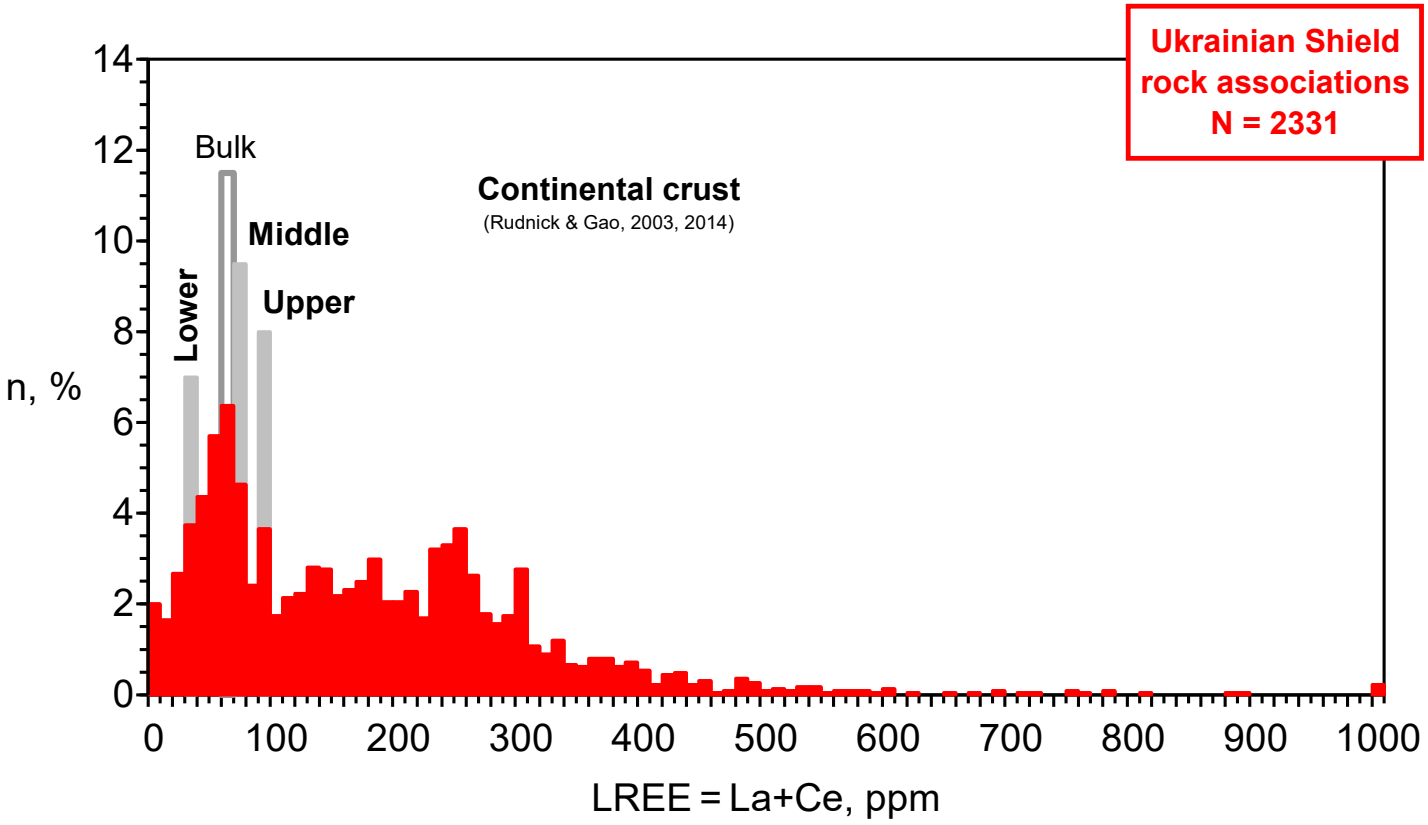
Zr = Zr*


Sediments and
sedimentary rocks
N = 675
Homogenization
Differentiation
Placer
deposits
(Zircon)
n, %
Zr, ppm
0
2
4
6
8
10
0
100
200
300
400
500
600
700
800
900
1000

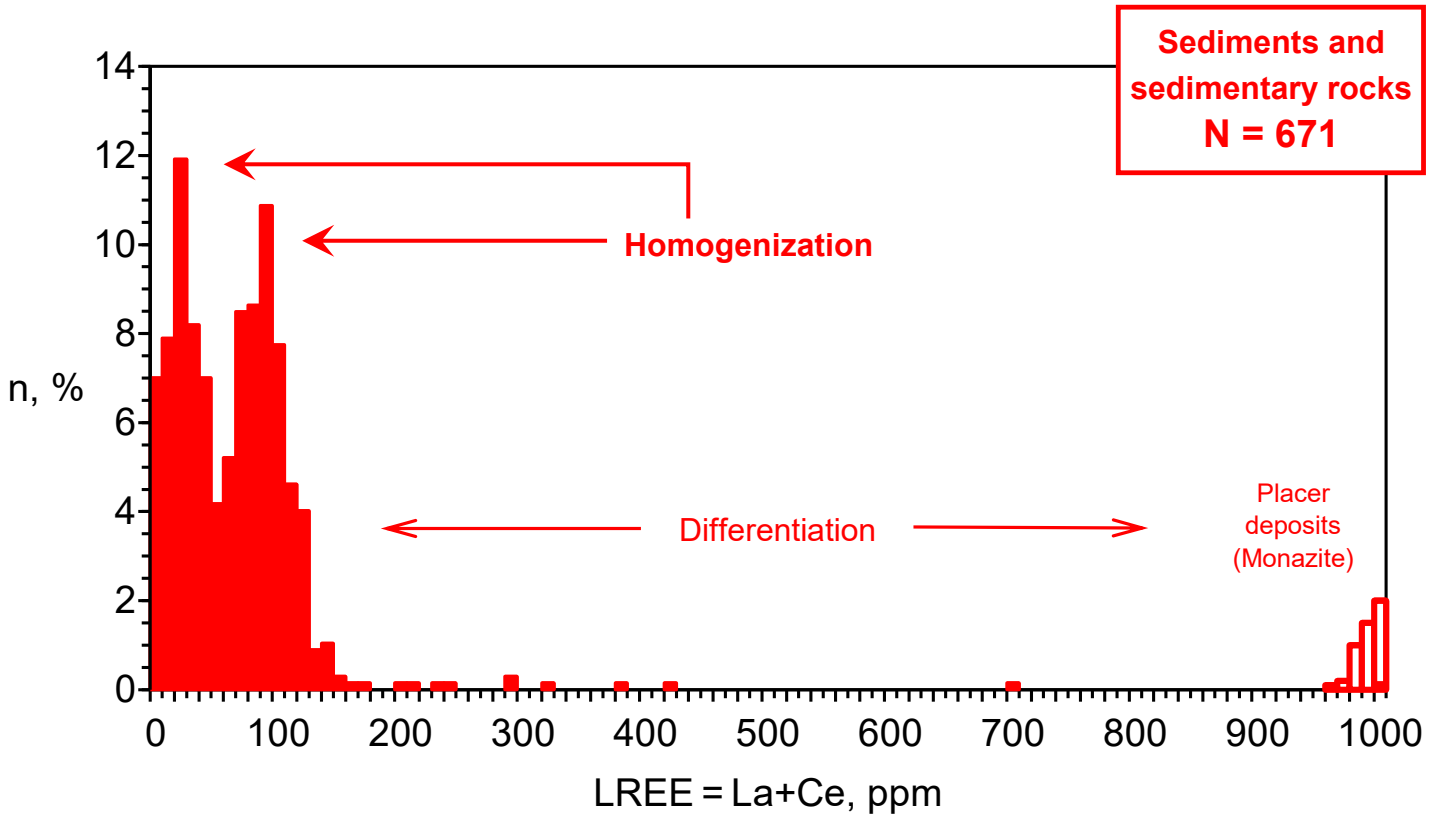
Zr = Zr*


Sediments and sedimentary rocks
N = 675
Continental crust:
(Rudnick & Gao, 2003, 2014)
Bulk
Middle
Upper
Lower
?
n, %
Zr, ppm
0
2
4
6
8
10
12
0
100
200
300
400

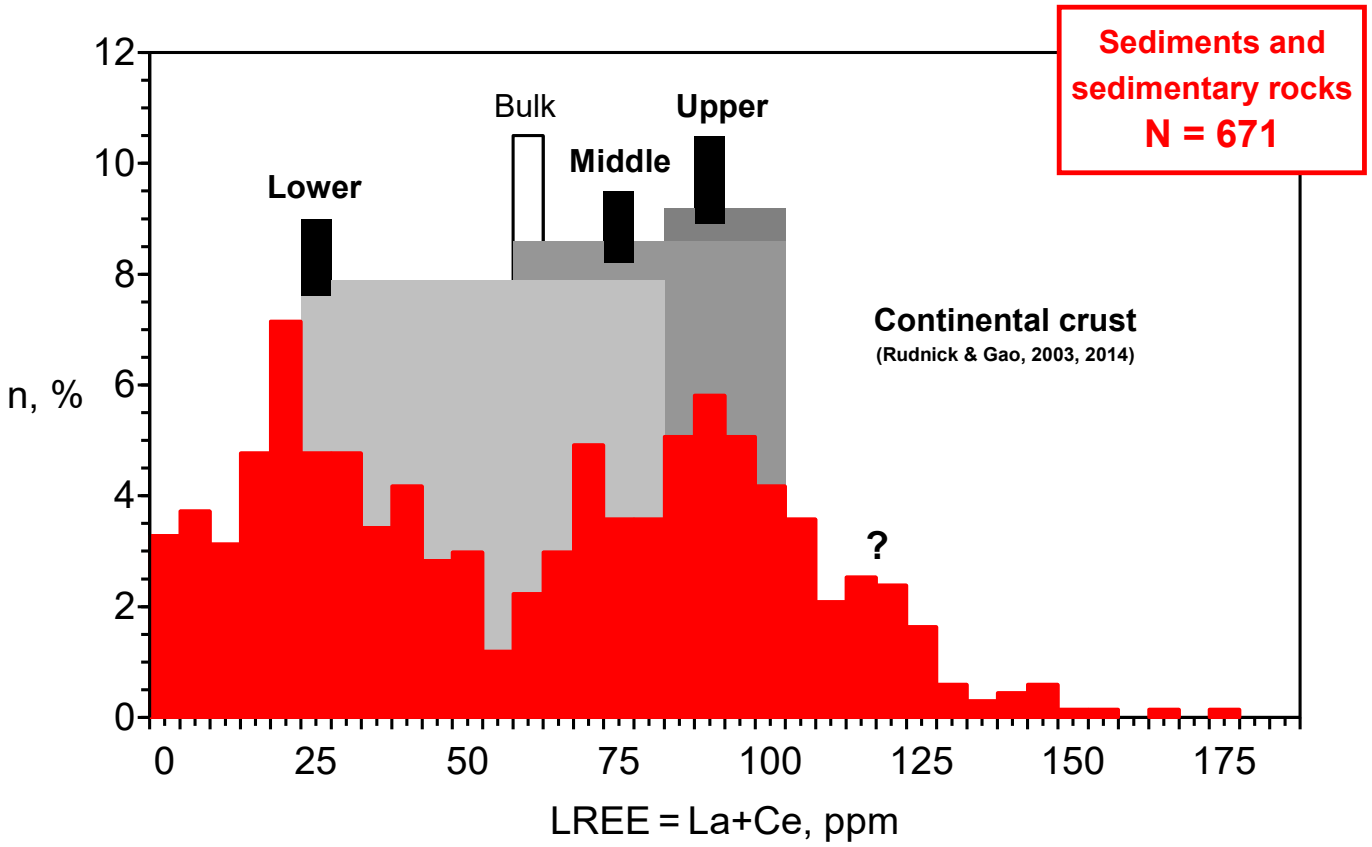
Zr = Zr*


Ukrainian Shield
rock associations
N = 2331
Continental crust
(Rudnick & Gao, 2003, 2014)
Bulk
Middle
Upper
Lower
n, %
0
2
4
6
8
10
12
14
0
100
200
300
400
500
600
700
800
900
1000
LREE = La+Ce, ppm

LREE = LREE*

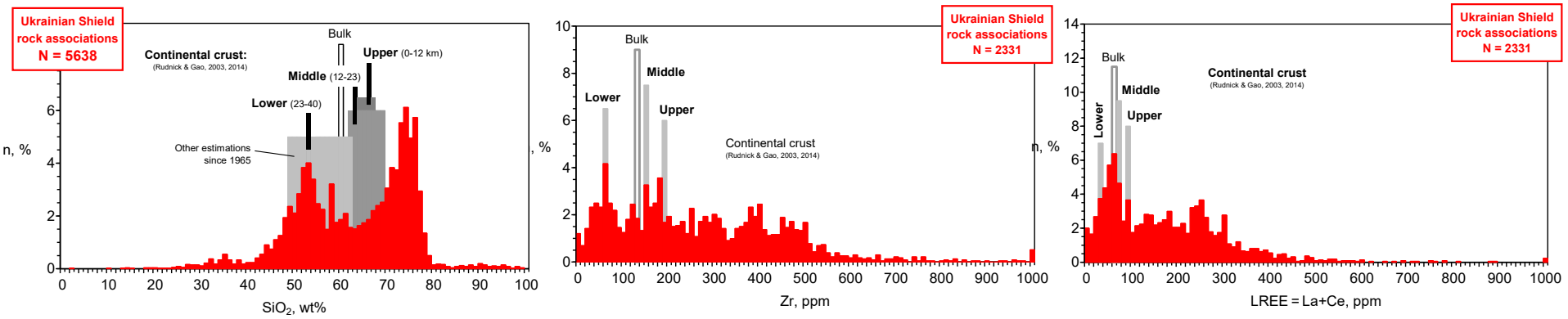

Sediments and sedimentary rocks
N = 671
Homogenization
Differentiation
Placer deposits (Monazite)
n, %
0
2
4
6
8
10
12
14
0
100
200
300
400
500
600
700
800
900
1000
LREE = La+Ce, ppm

LREE = LREE*


Sediments and sedimentary rocks
N = 671
Bulk
Upper
Middle
Lower
Continental crust
(Rudnick & Gao, 2003, 2014)
?
n, %
0
2
4
6
8
10
12
0
25
50
75
100
125
150
175
LREE = La+Ce, ppm

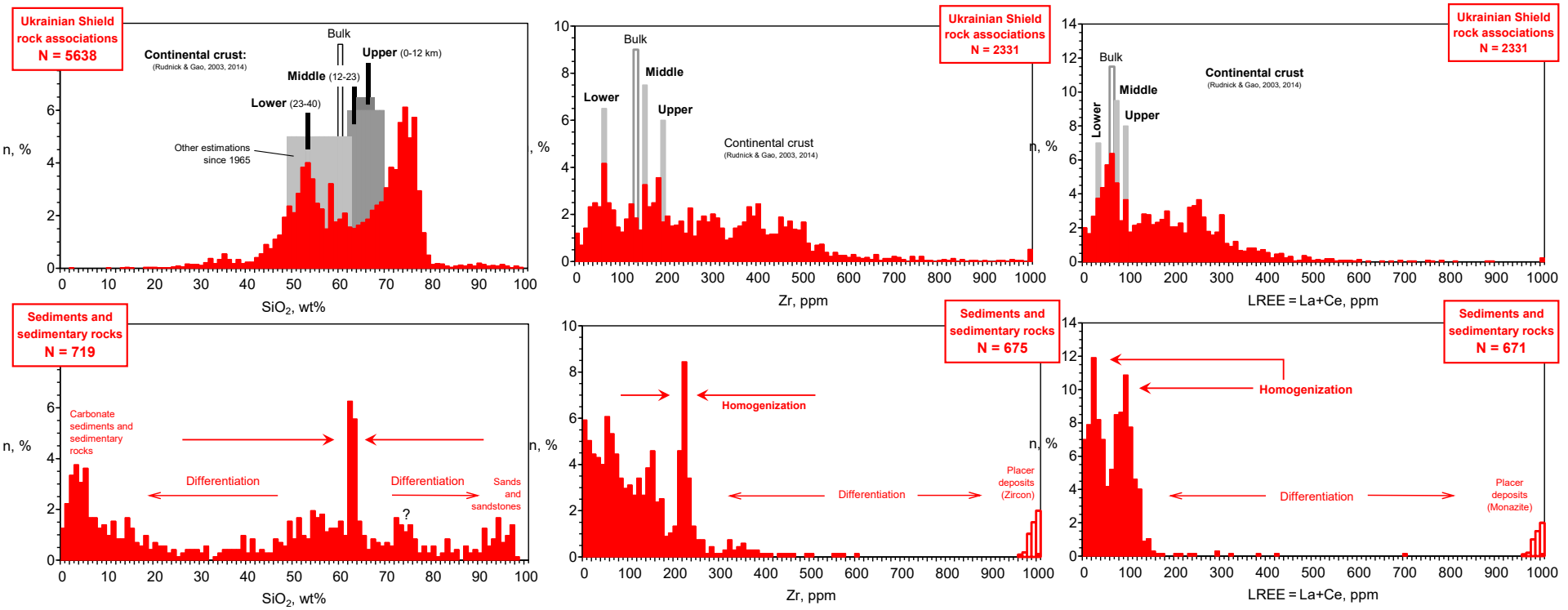
LREE = LREE*

$SiO_2 = SiO_2^*$ $Zr = Zr^*$ LREE = LREE*



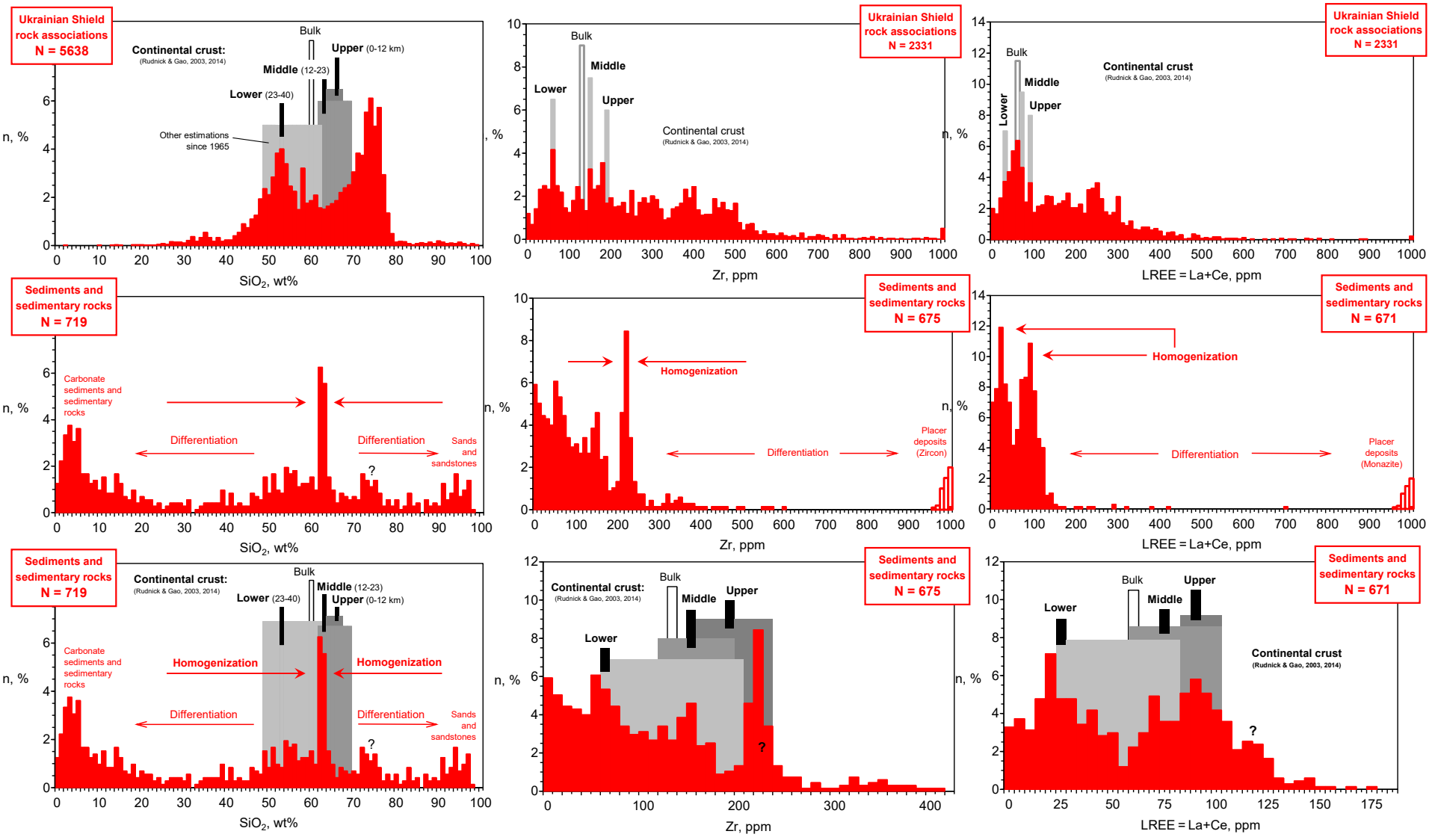
Таким чином:

1. **Для SiO2*, Zr* та LREE* в породних асоціаціях Українського щита (УЩ) спостерігається складний розподіл, який не узгоджується з сучасними оцінками складу нижньої, середньої та верхньої континентальної кори.**



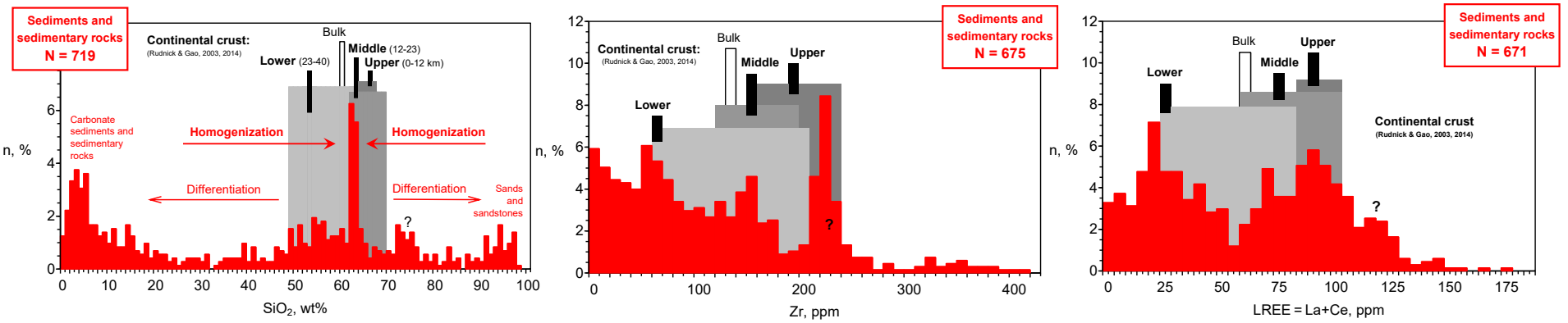
2. **Розподіл SiO2*, Zr* та LREE* в сучасних відкладах та фанерозойських осадових породах з осадових басейнів периферії Українського щита (резервуари накопичення денудованої речовини верхньої кори) зумовлюється дією двох факторів:**

А – осадової диференціації Б – осадової гомогенізації

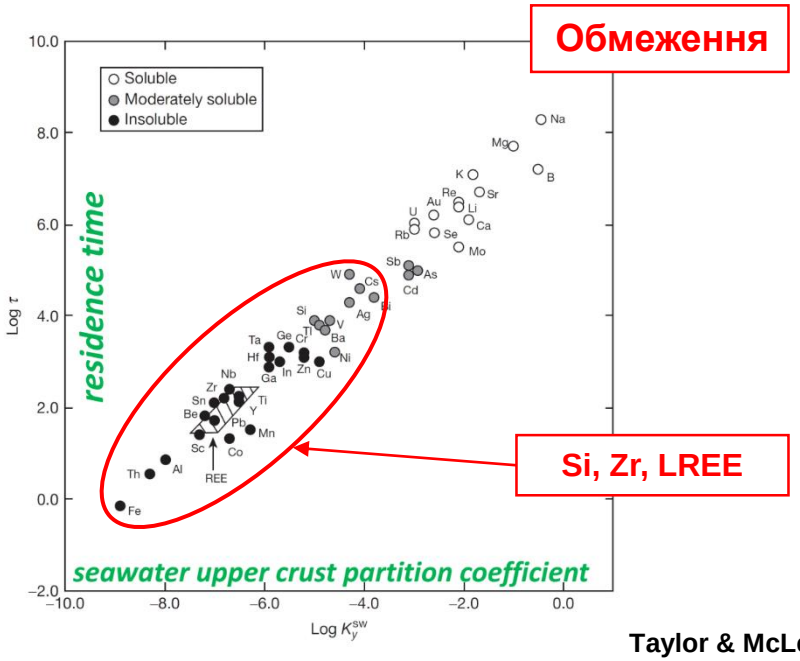


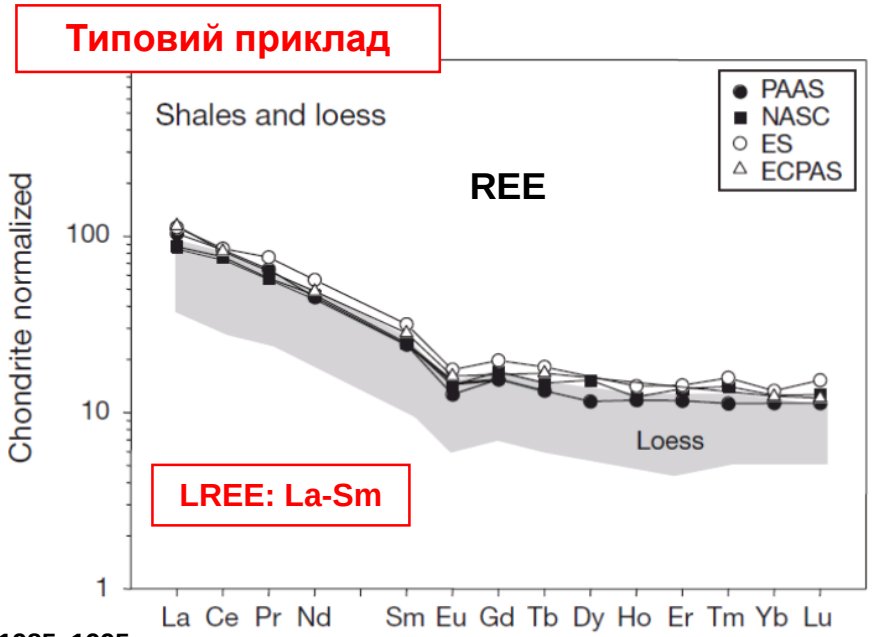
3. **Другий фактор (осадова гомогенізація) призводить до формування контрастних максимумів, що відображають композицію верхньої континентальної кори.**

$SiO_2 = SiO_2^*$ $Zr = Zr^*$ $LREE = LREE^*$



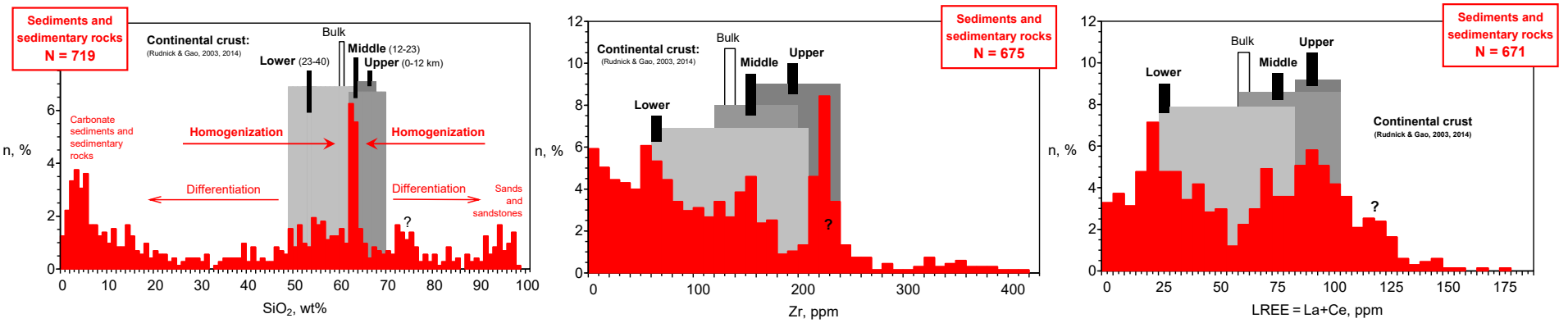
4. **Формування таких контрастних максимумів, що відображають композицію верхньої континентальної кори цілком закономірно. Осадові породи деяких типів з часів В.М.Гольдшмідта (1932), а особливо в останні 40 років широко використовуються для кларкових оцінок.**



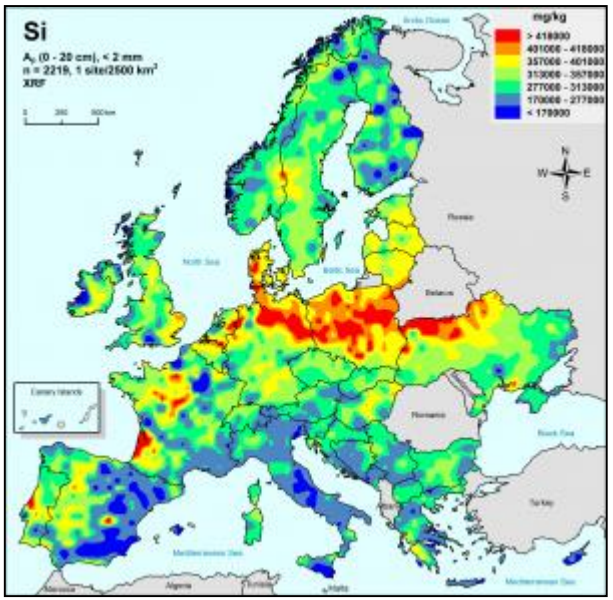


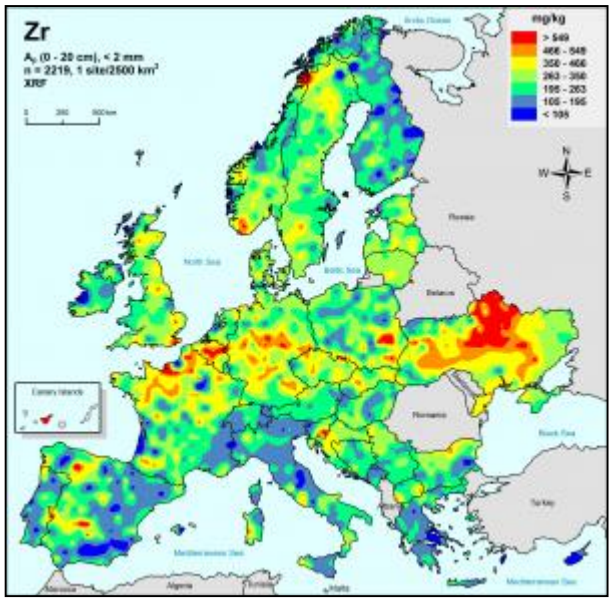
Taylor & McLennon, 1985, 1995

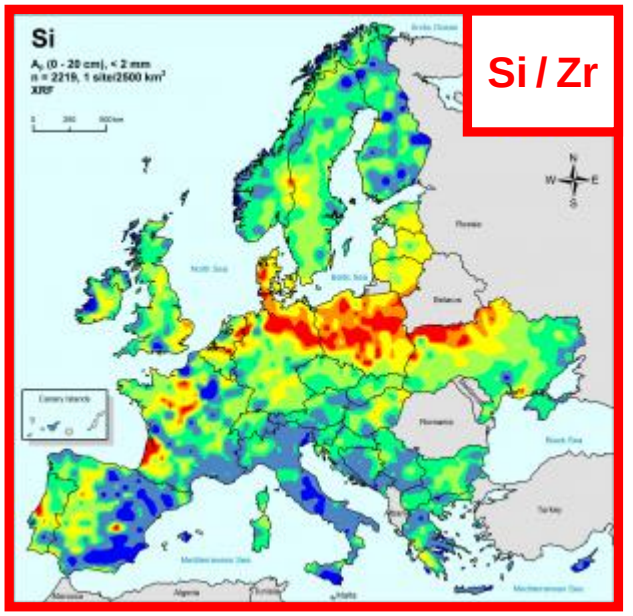
$SiO_2 = SiO_2^*$ | $Zr = Zr^*$ | $LREE = LREE^*$



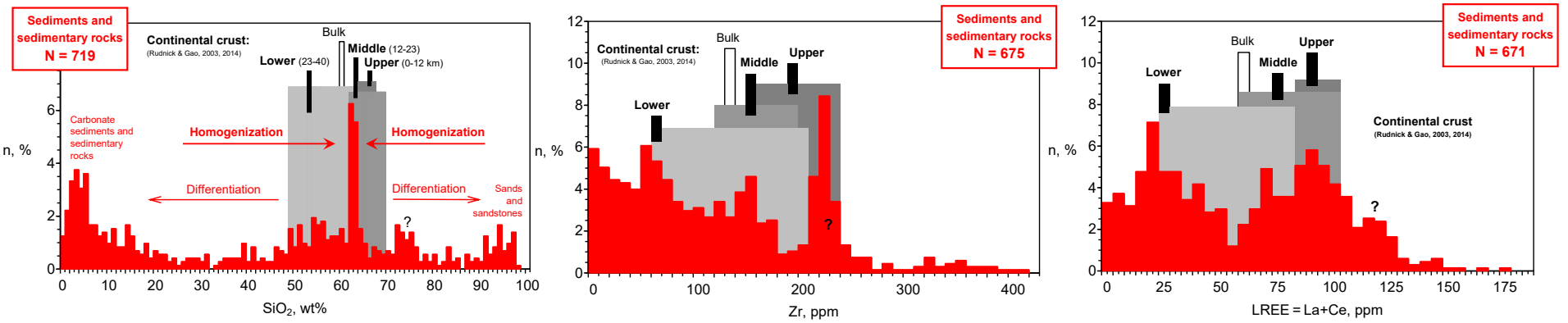
5. **Максимуми сдвинуті відносно існуючих оцінок для верхньої континентальної кори: SiO_2^* - вліво, Zr* - вправо. (Для LREE* - відповідність.) Це пояснюється різною формою міграції (кварц − циркон – монацит, мінерали групи глін). Різниця в поведінці Si та Zr підкреслюється й глобальним розподілом цих елементів в почвах Європи.**



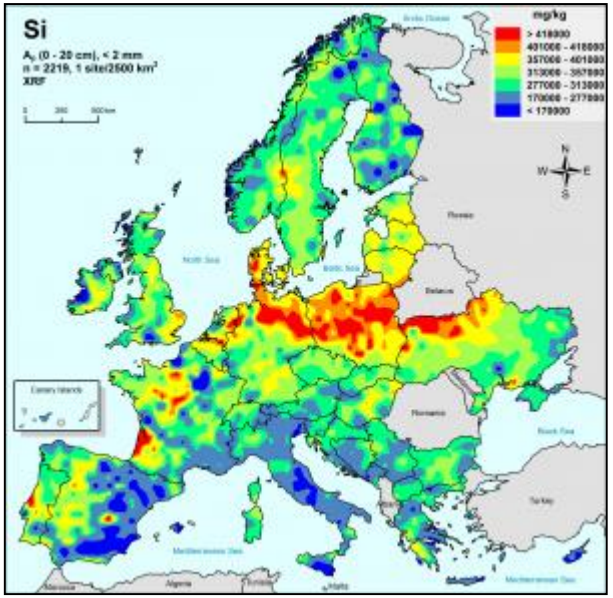


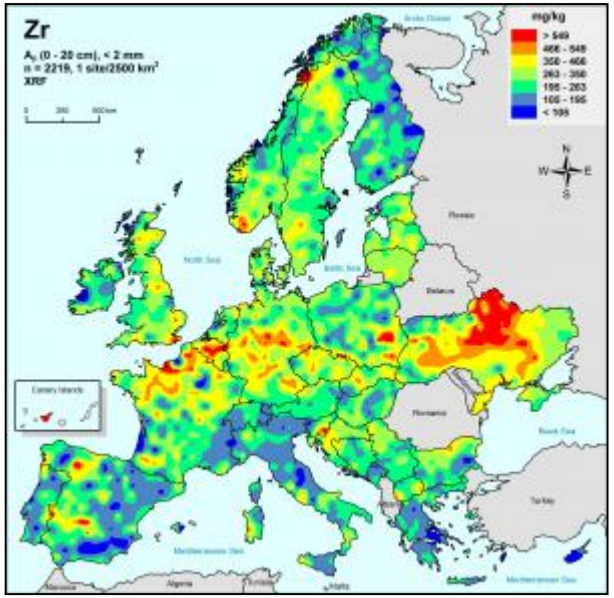


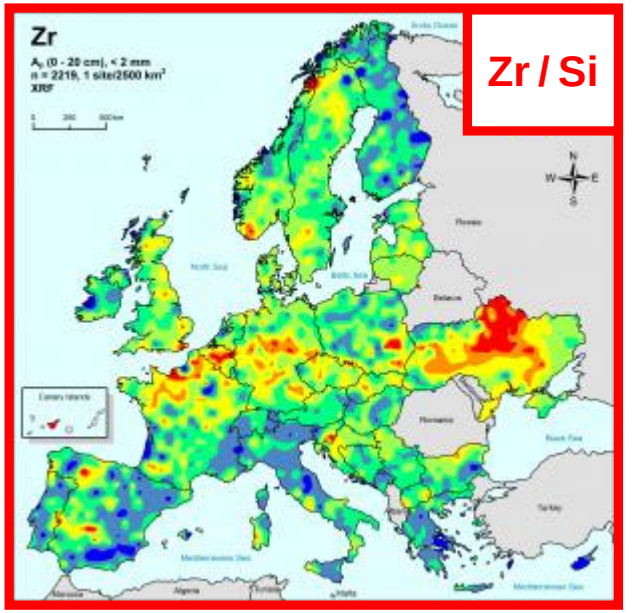
$SiO_2 = SiO_2^*$ | $Zr = Zr^*$ | LREE = LREE*



5. **Максимуми сдвинуті відносно існуючих оцінок для верхньої континентальної кори: SiO_2^* - вліво, Zr* - вправо. (Для LREE* - відповідність.) Це пояснюється різною формою міграції (кварц − циркон – монацит, мінерали групи глін). Різниця в поведінці Si та Zr підкреслюється й глобальним розподілом цих елементів в почвах Європи.**



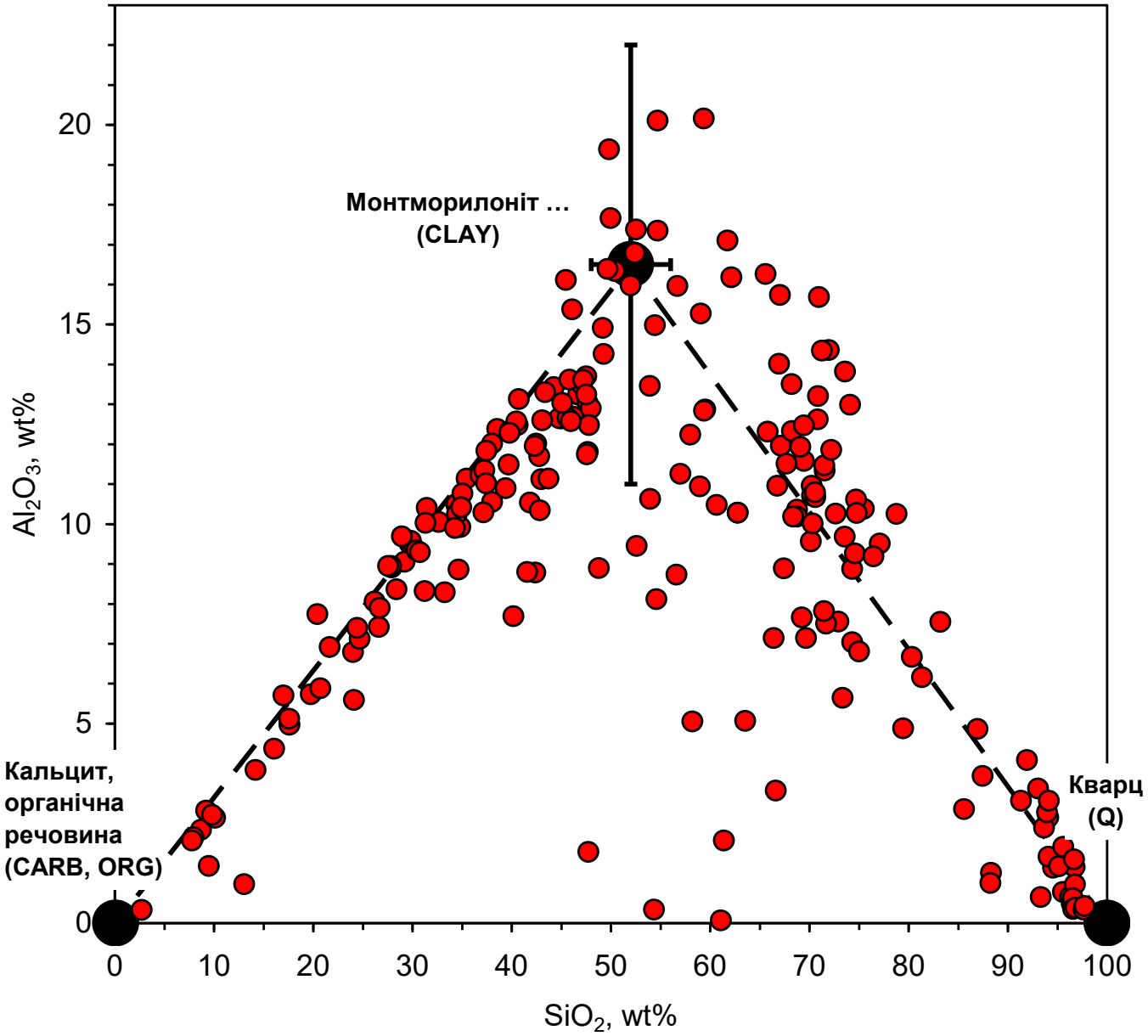




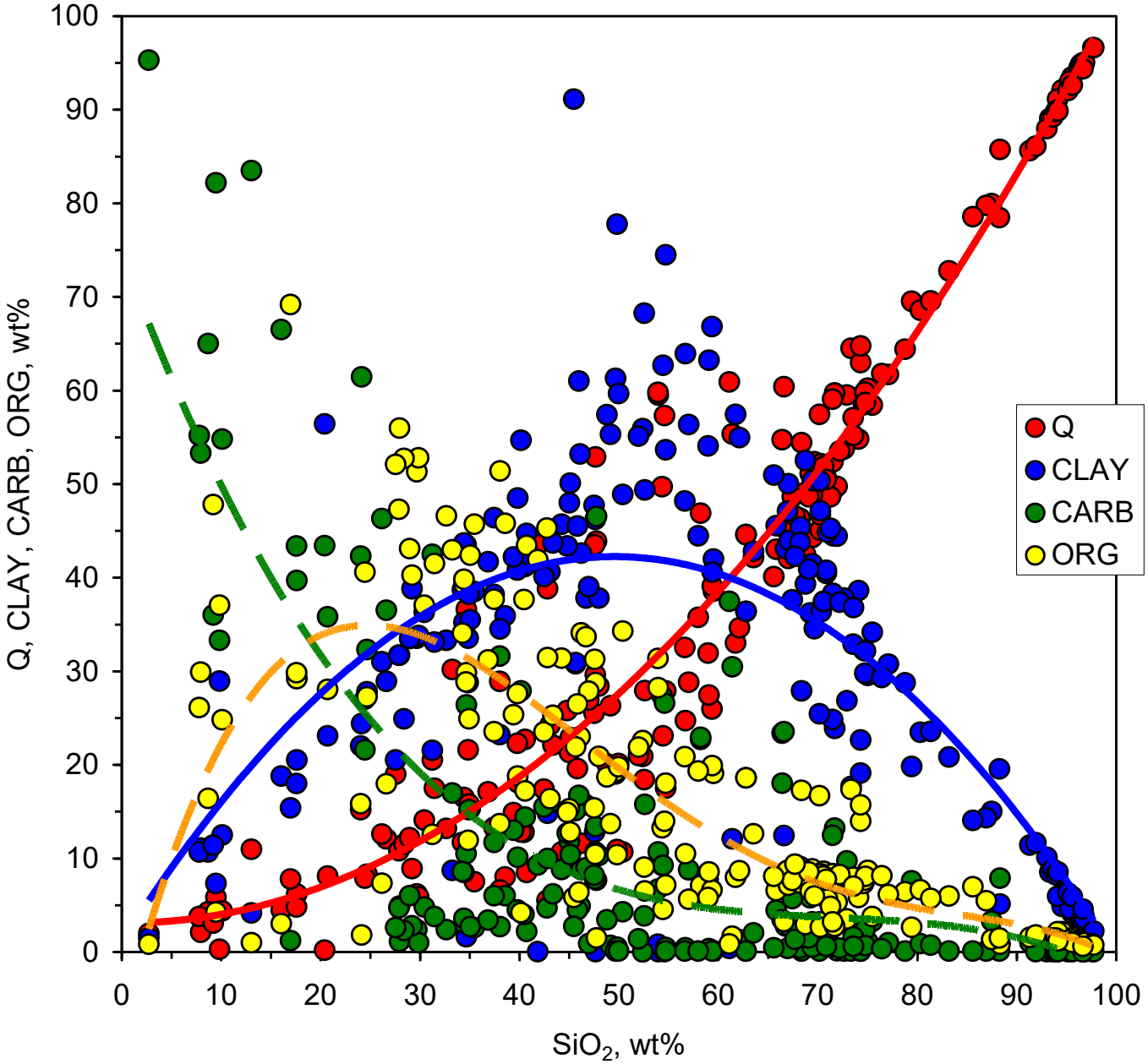
GEMAS http://gemas.geolba.ac.at/

Дніпровське зледеніння (плейстоцен, 300-250 т р)

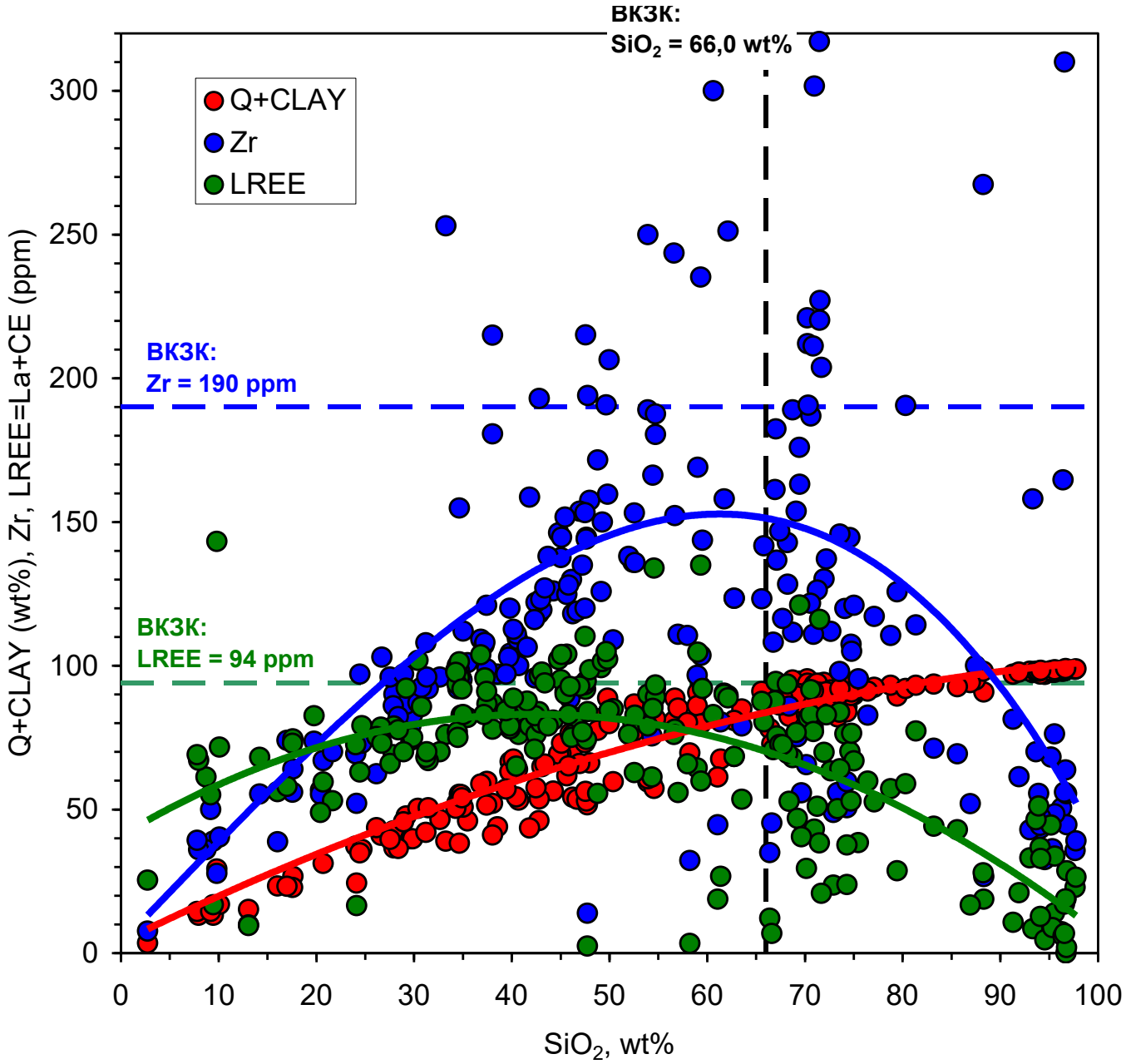
Речовинний склад теригенних відкладів

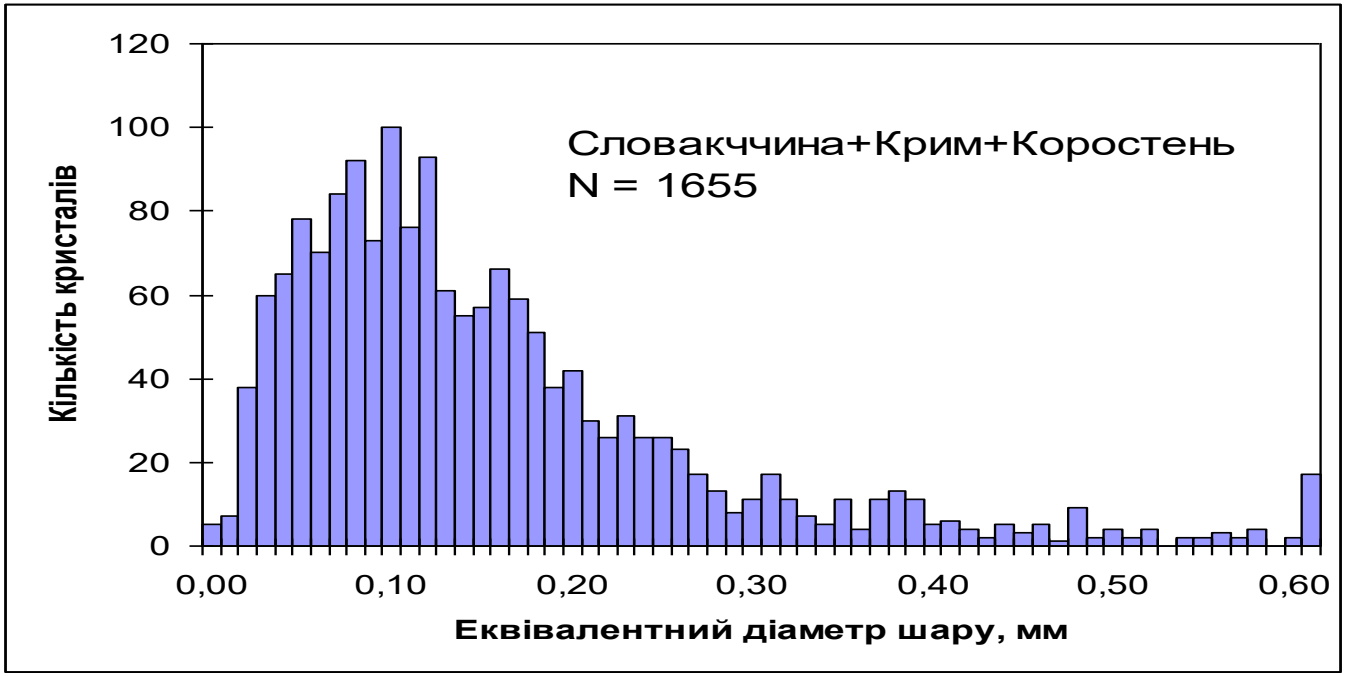


Речовинний склад теригенних відкладів



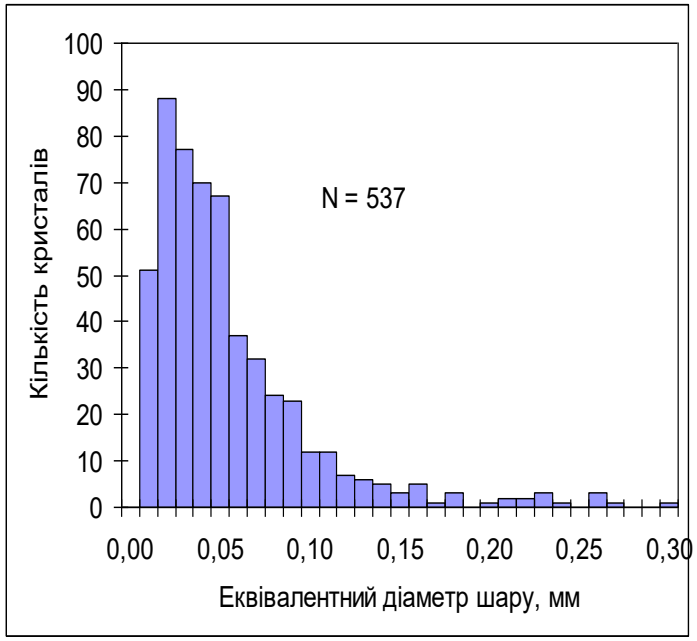
Речовинний склад теригенних відкладів

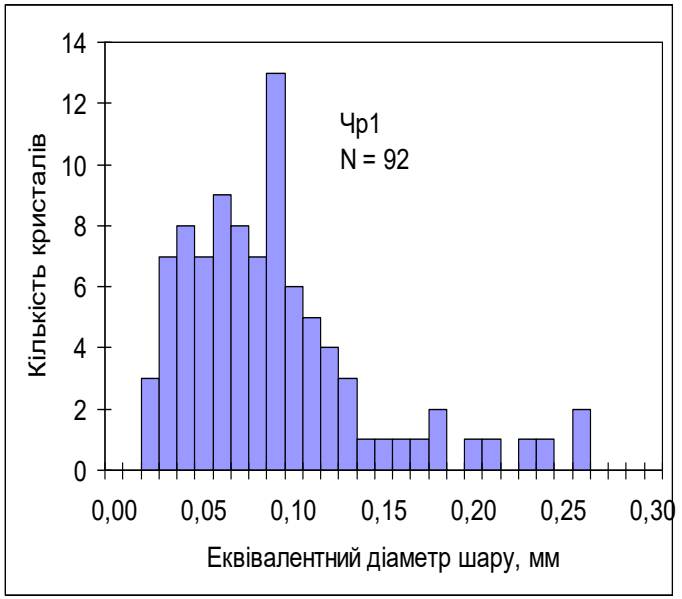


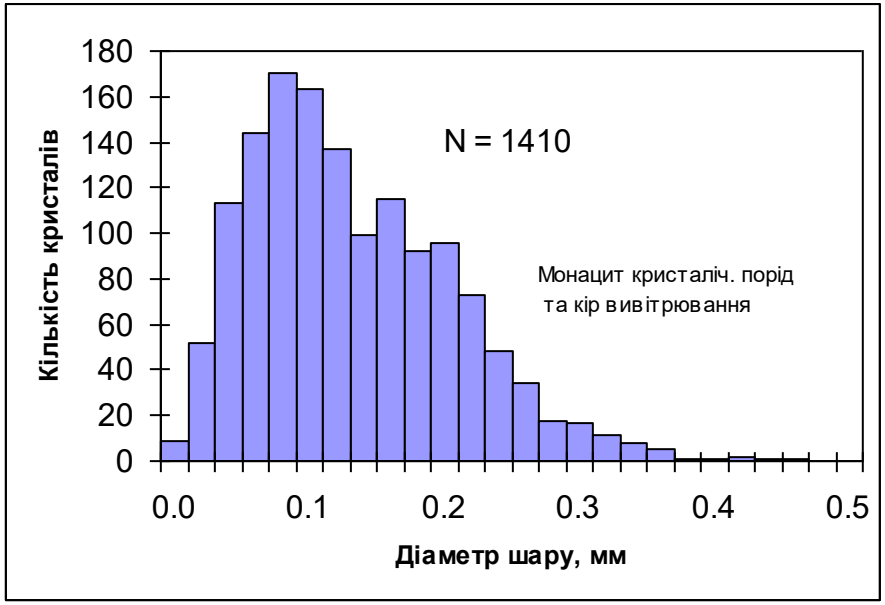


Циркон:

гранулометрія

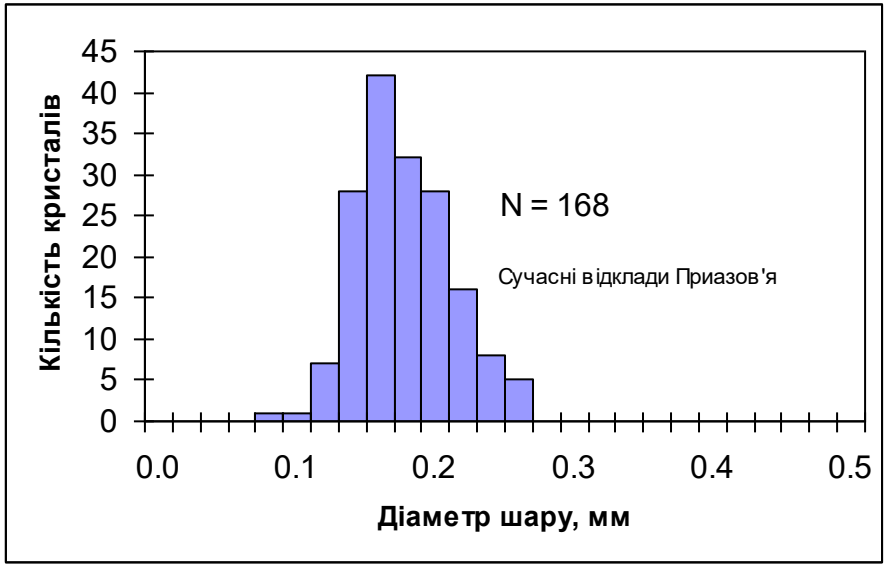


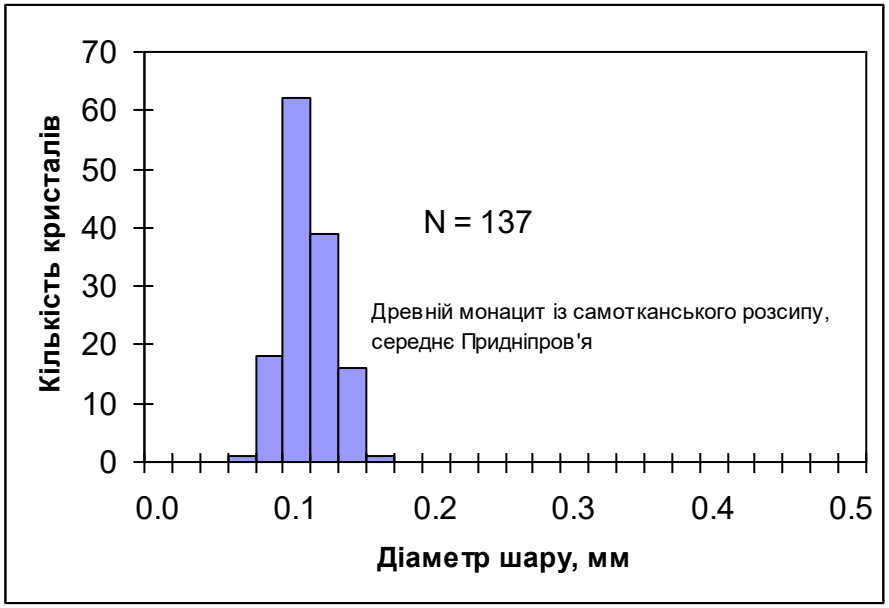




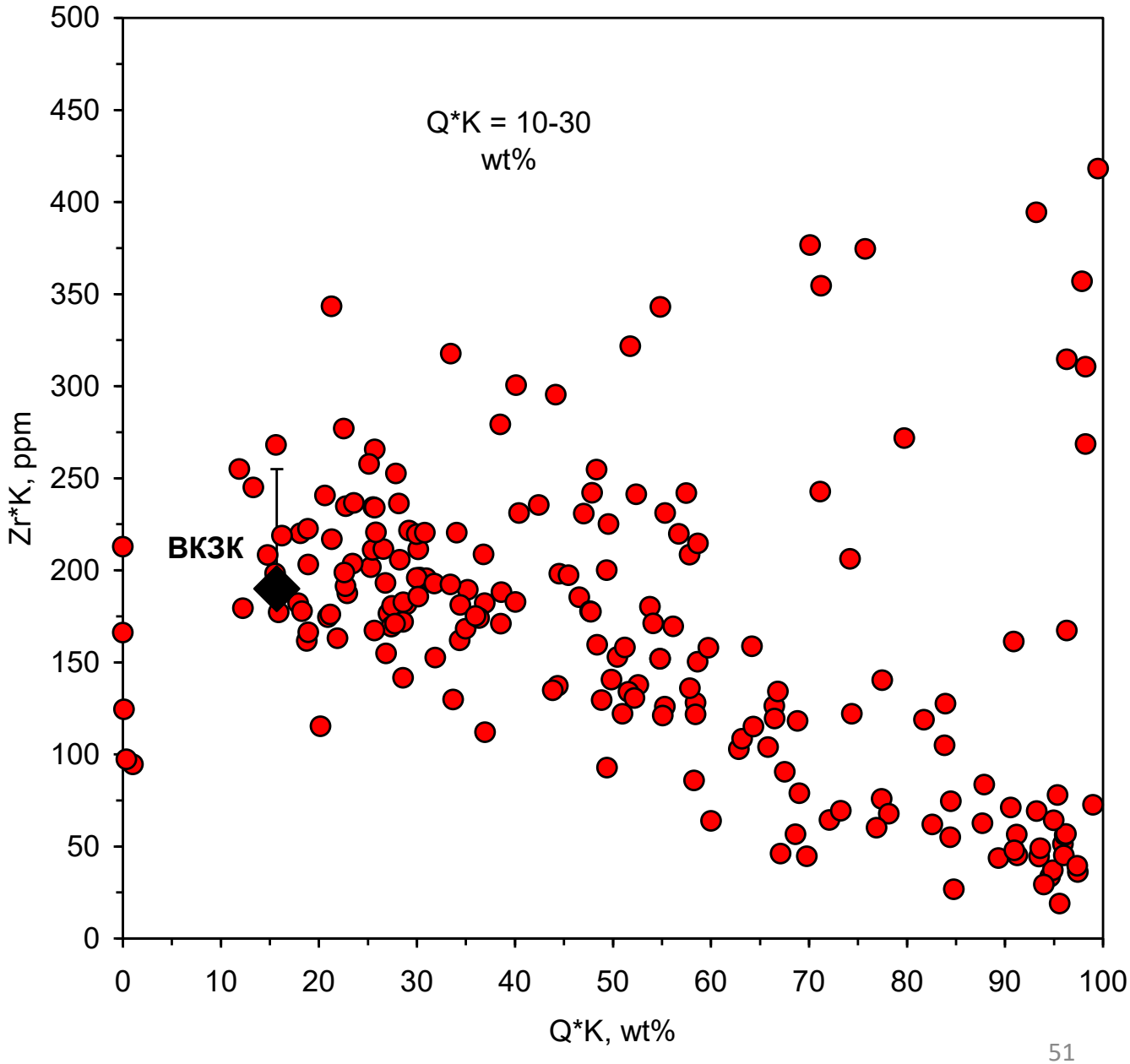
Монацит:

гранулометрія

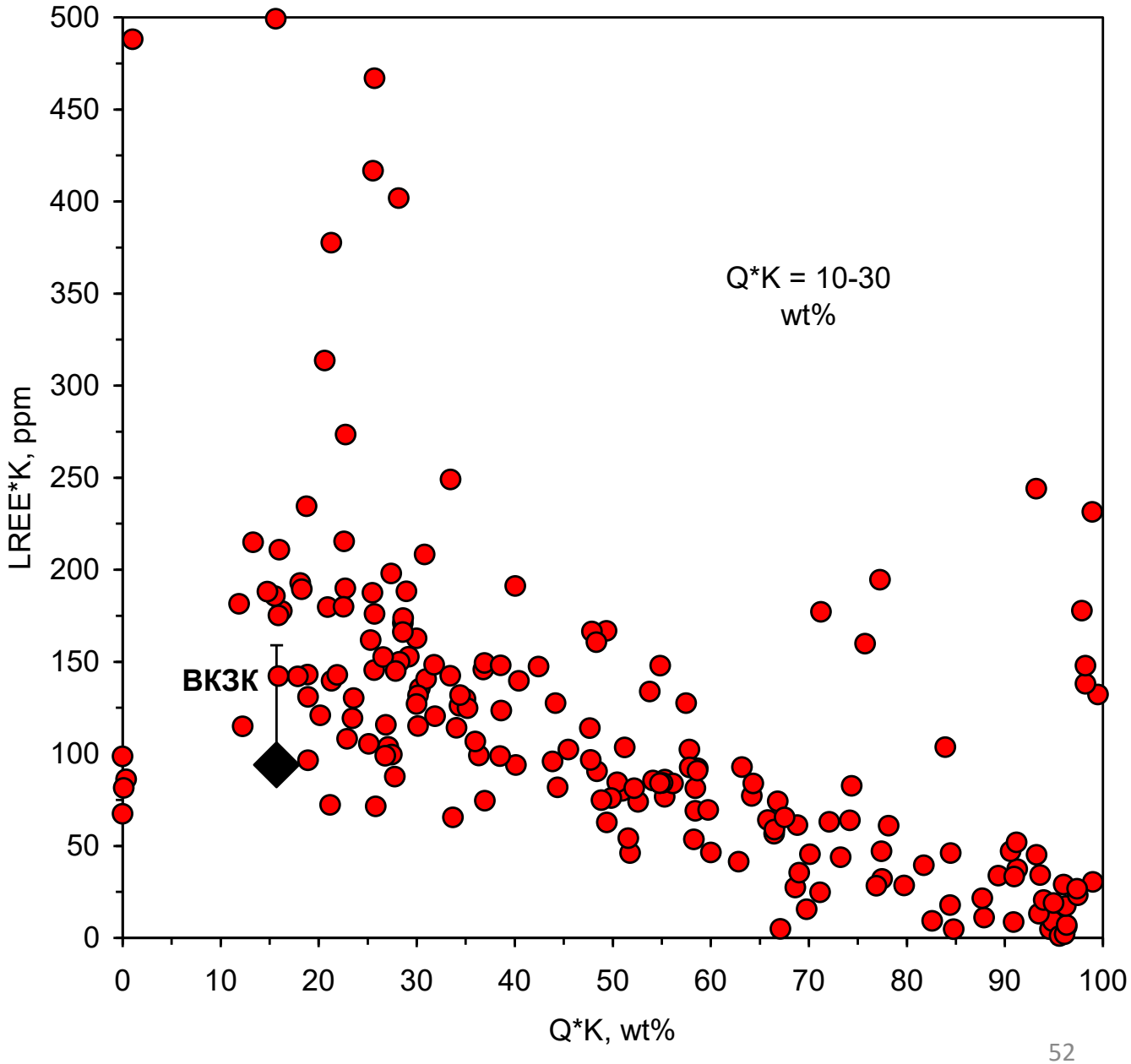




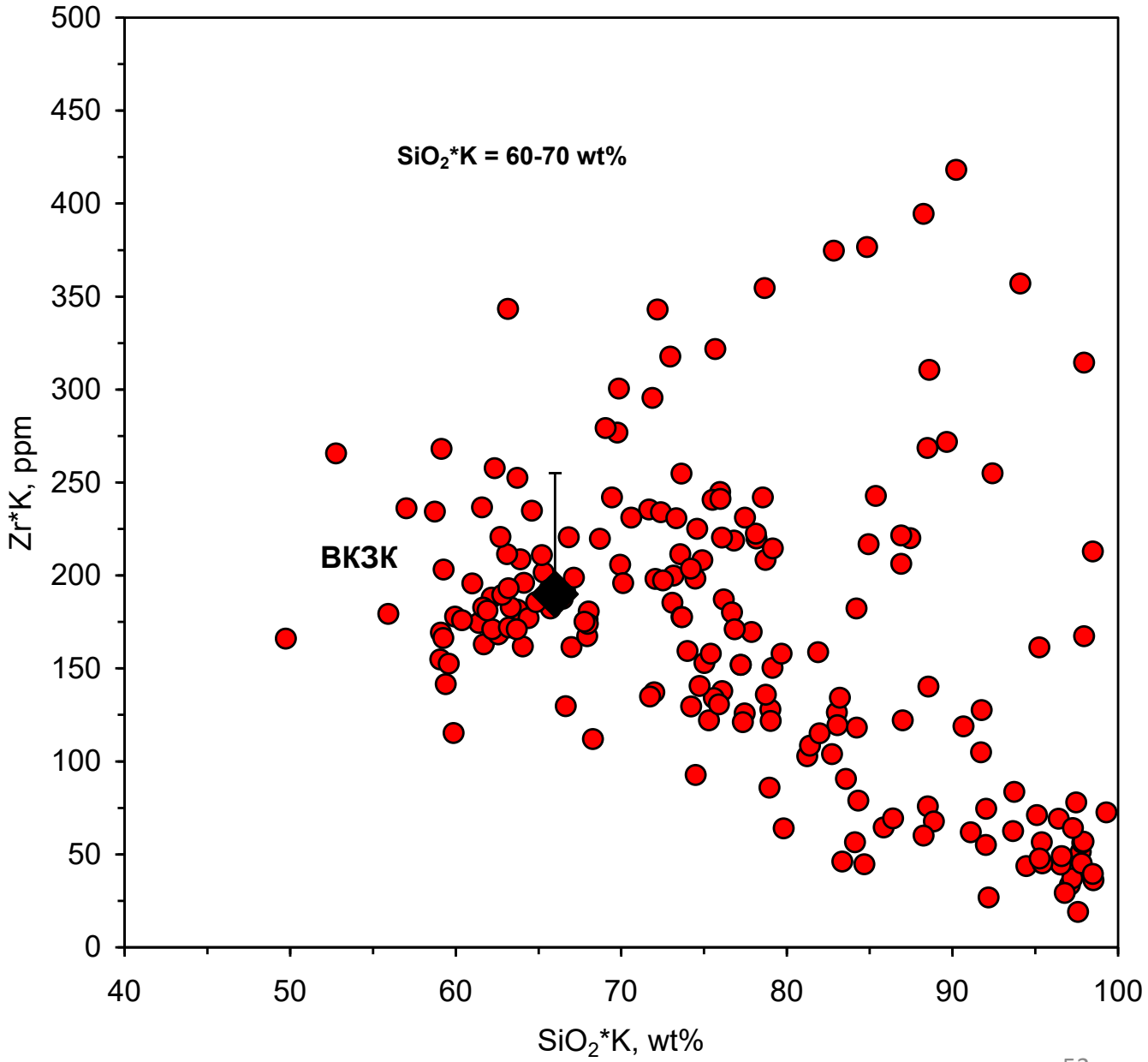
Критерії вибору репрезентативних проб



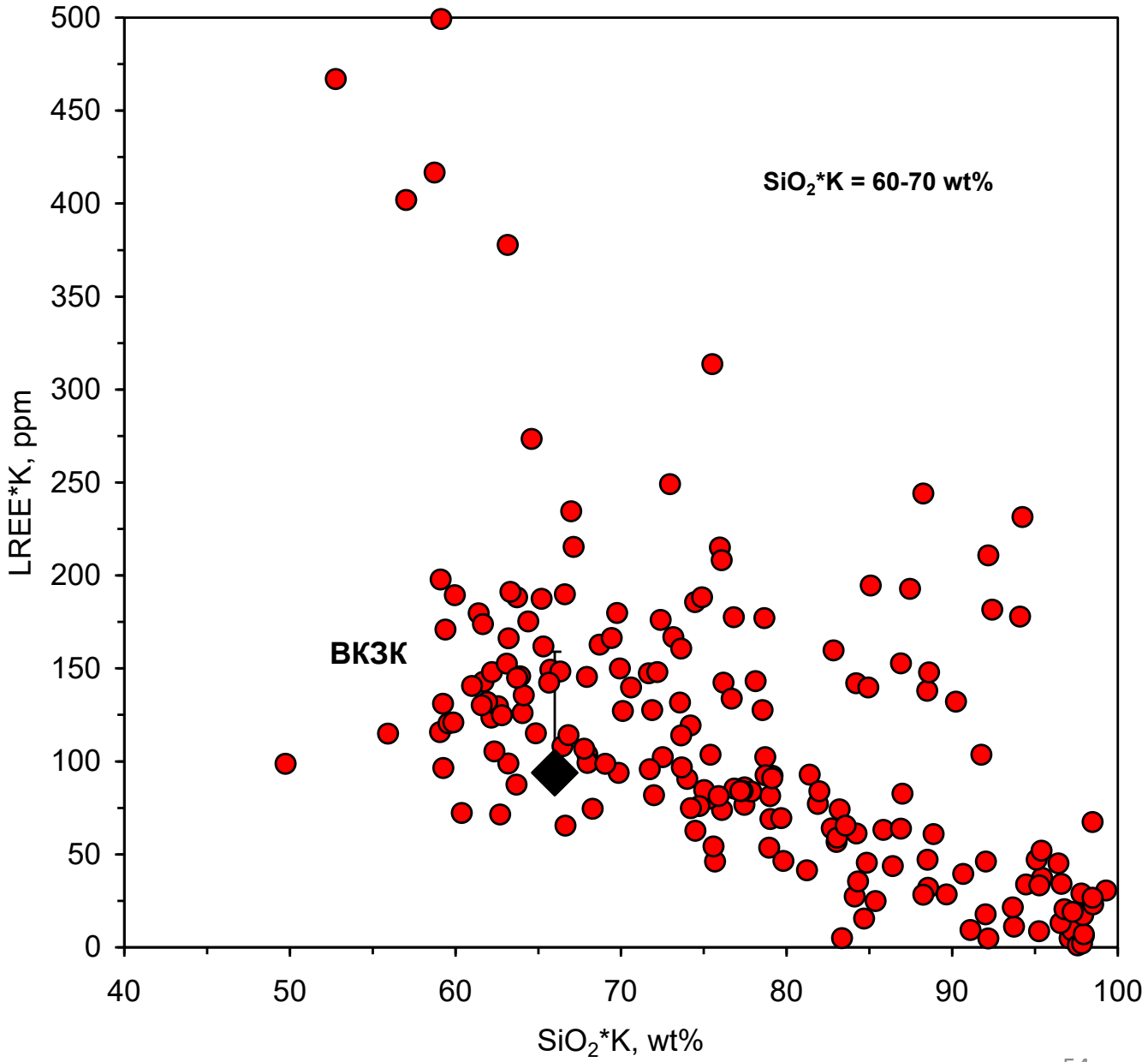
Критерії вибору репрезентативних проб



Критерії вибору репрезентативних проб

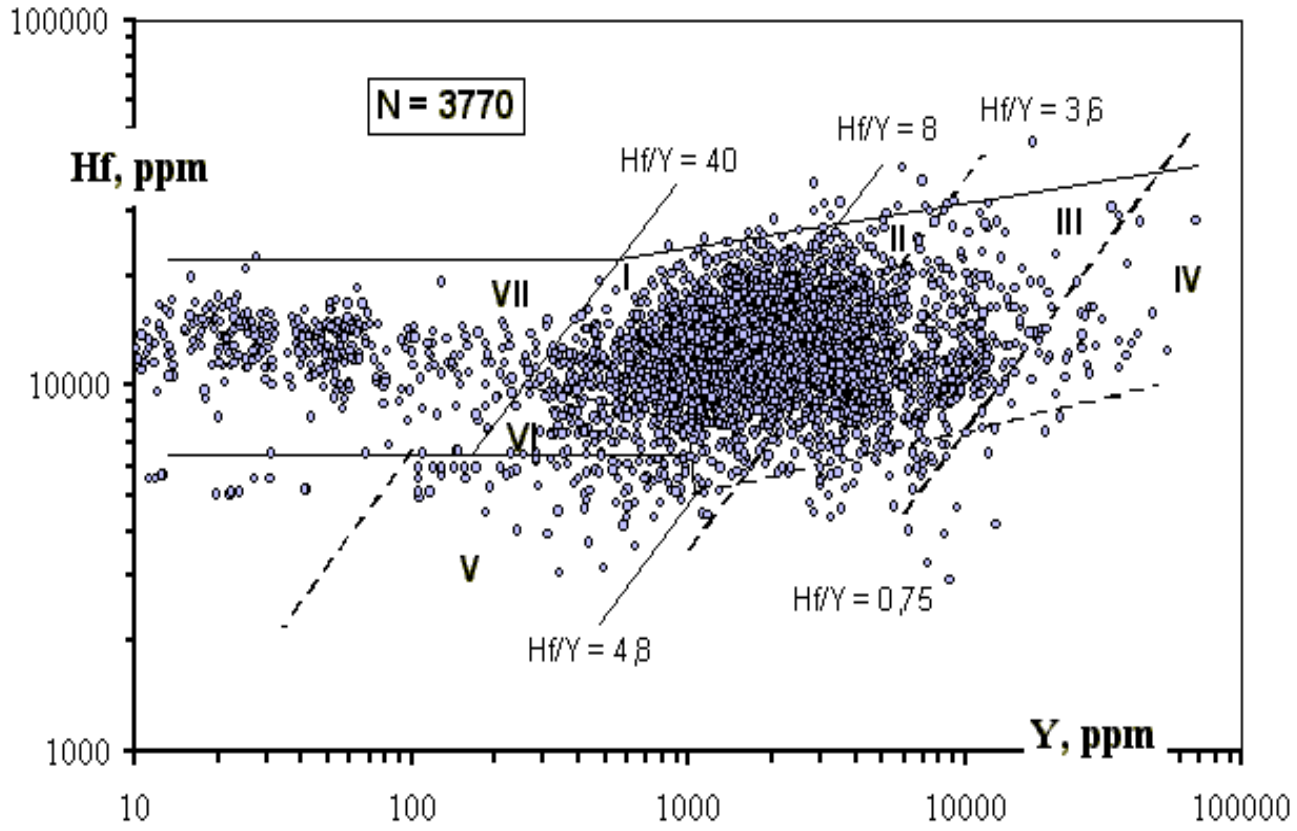


Критерії вибору репрезентативних проб



Геохімічні критерії визначення складу та віку материнських порід:

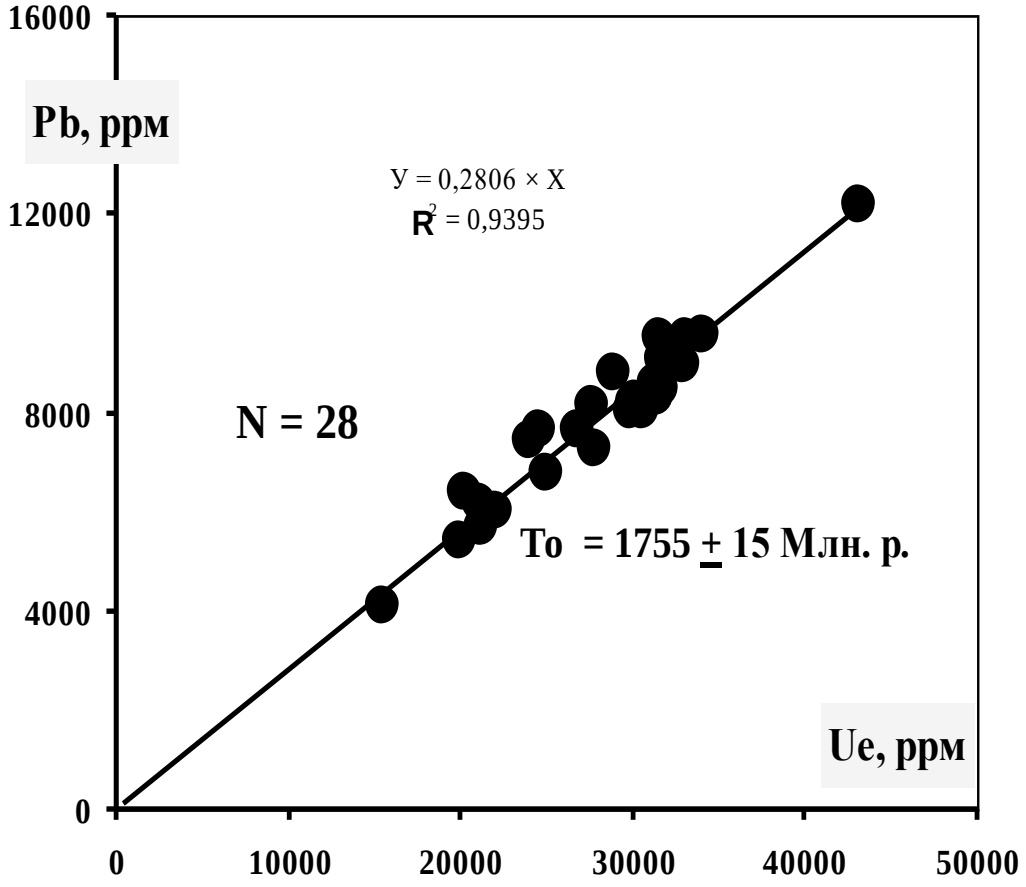
Hf-Y



Концентрації Hf та Y в цирконах з різноманітних кристалічних порід в класифікаційній діаграмі [39]. N – кількість проаналізованих зерен. Поля: I – породи з вмістом SiO2 33-57% (породи ультраосновного, основного і середнього складу, безкварцові),II – породи з вмістом SiO2 57-73% (породи середнього і кислого складу з вмістом кварцу <35%), III- – породи з вмістом SiO2 >73% (породи кислого складу з вмістом кварцу >35% та їх метасоматично змінені різновиди), IV – грейзени, V – карбонатити, VI – лужні породи і феніти, VII – кімберліти.

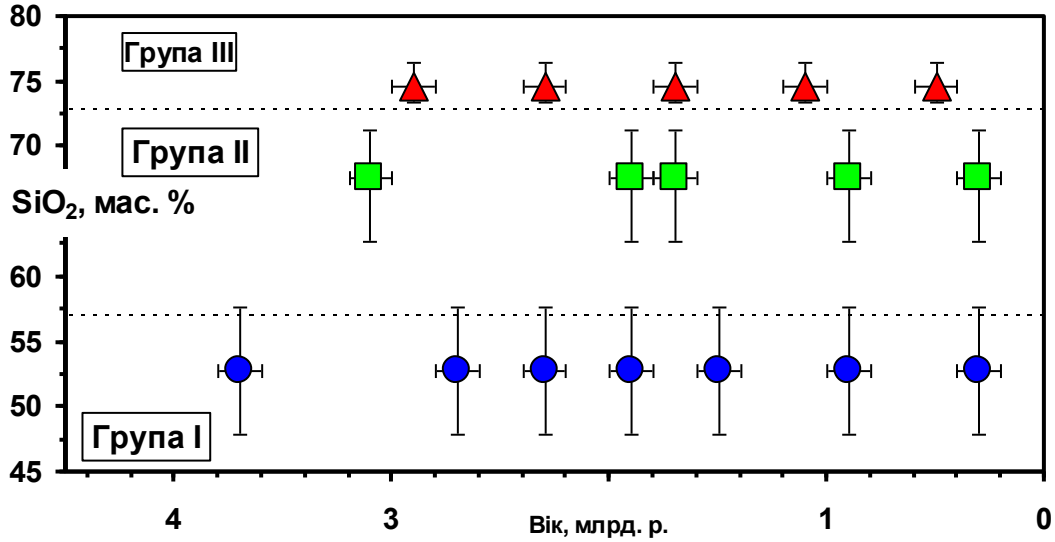
Геохімічні критерії визначення складу та віку материнських порід:

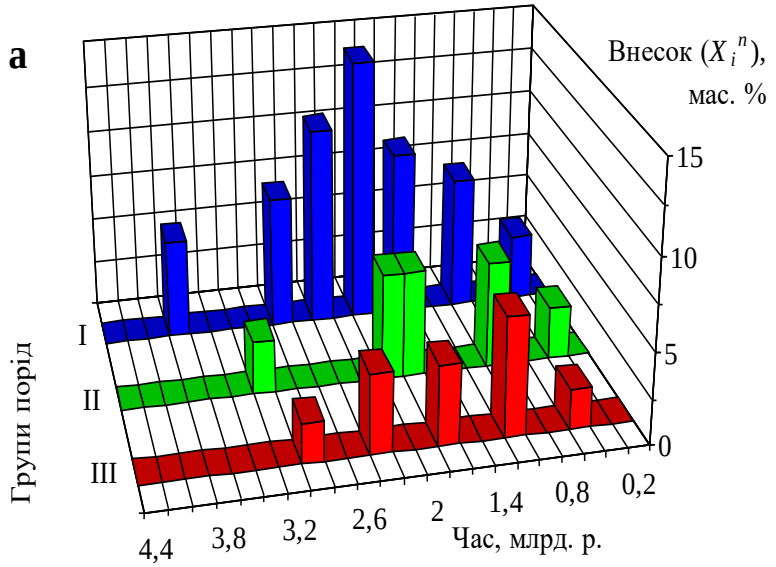
Pb-Th-U

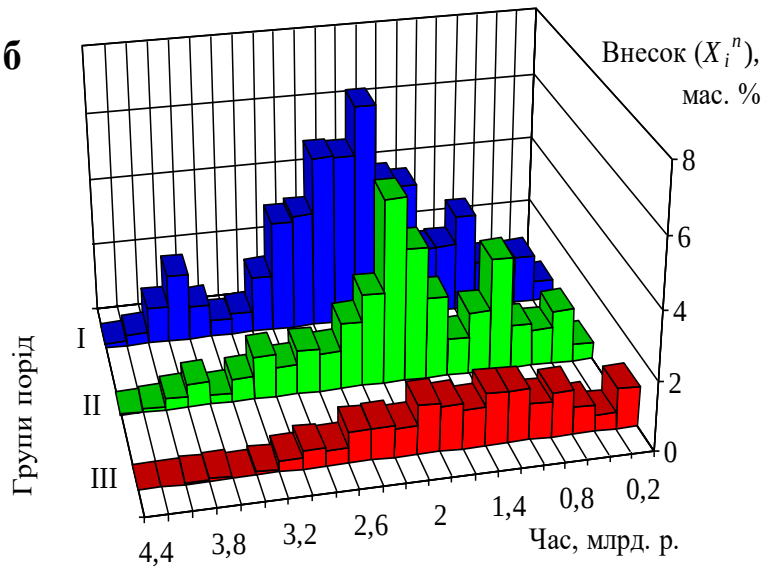


Ізохрона для вибірки зерен монациту побудована з застосуванням методу "загального свинцю". На графіку наведено рівняння апроксимуючої лінійної залежності, To - оціночний вік, N - кількість проаналізованих зерен. Y - рівняння ізохрони.

Реальна ефективність комплексного використання Hf-Y та Pb-Th-U геохімічних критеріїв

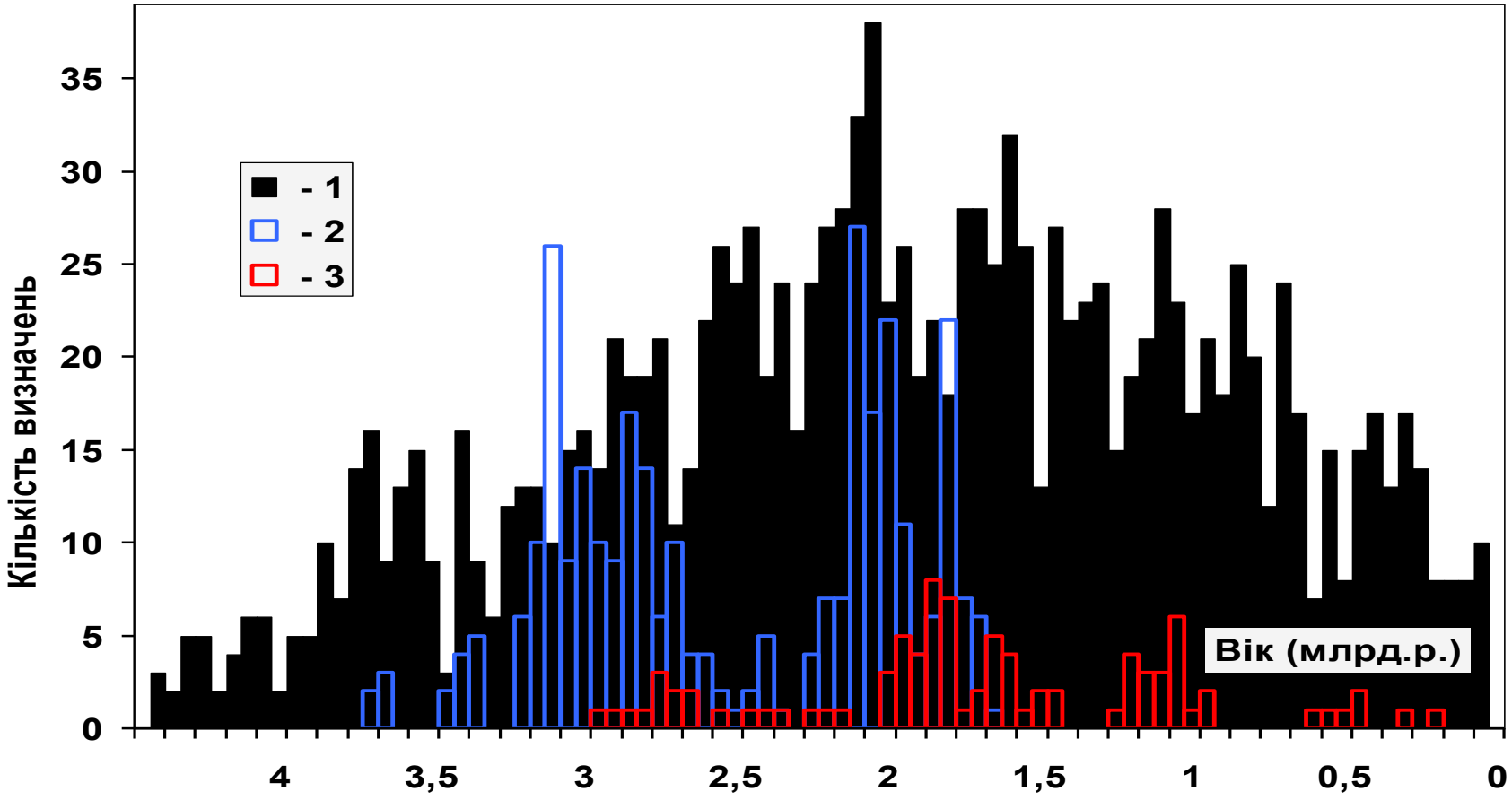






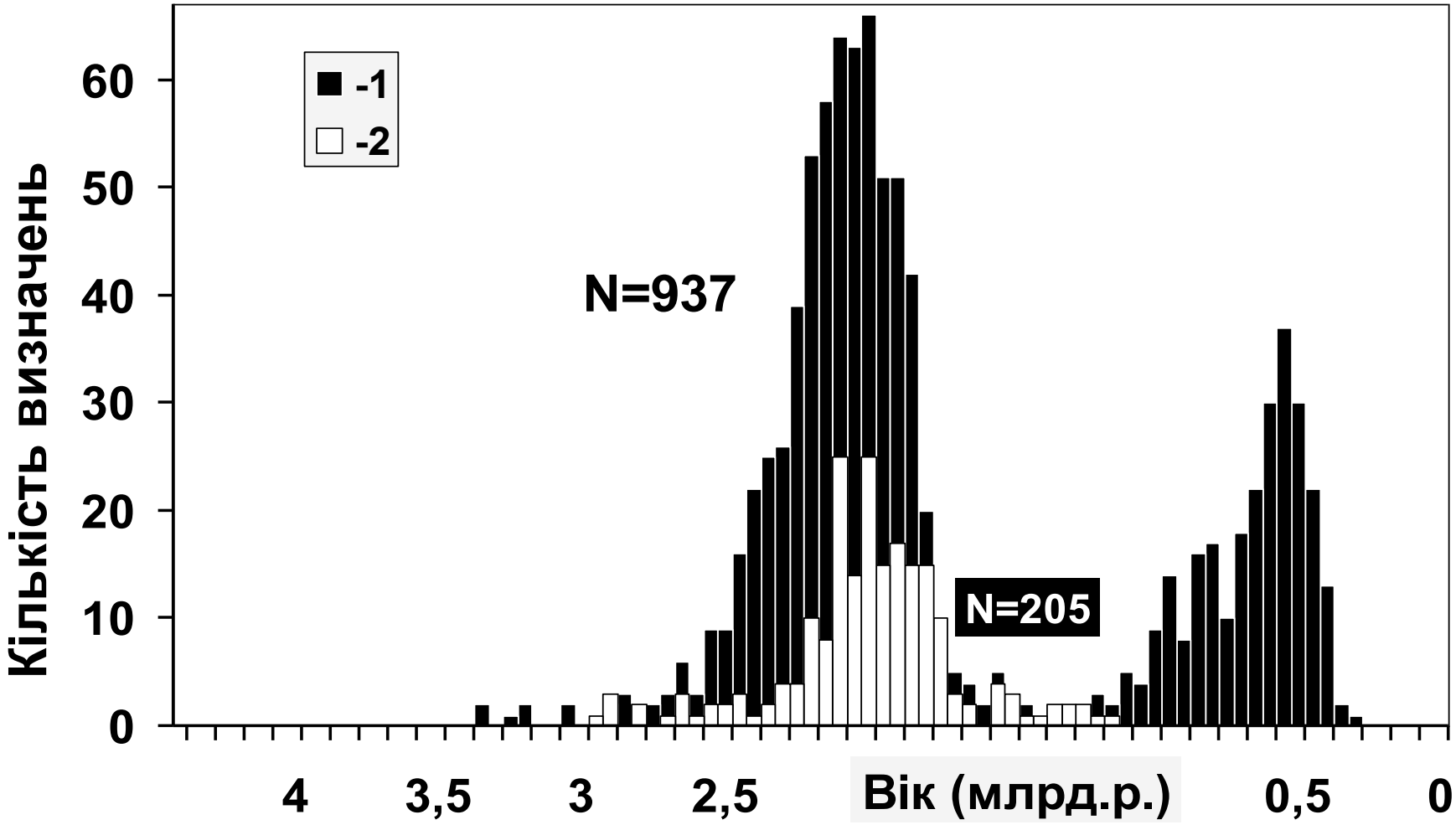
Модельна (еталонна) провінція постачання (а) і результати реставрації її петрофонду та вікової еволюції (б) за геохімічними особливостями відповідної вибірки зерен циркону (“штучної суміші”)

Одержані дані



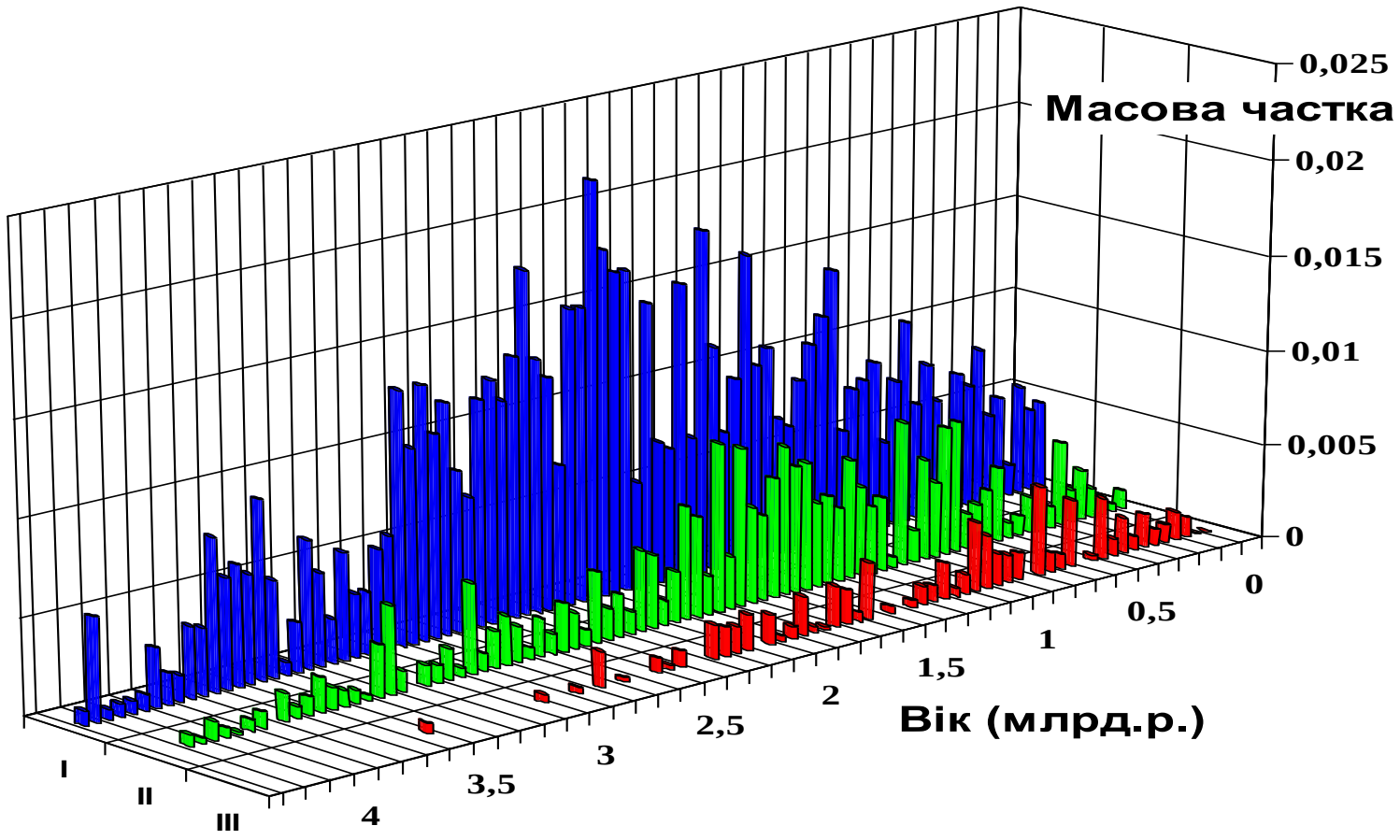
Вікові „спектри” отримані за результатами досліджень та літературними даними. 1 - Дані оціночного віку циркону з об’єднаної вибірки зерен проб серії СЄП (N=1434). 2 - Літературні дані по ізотопному U-Pb датуванню циркону з кристалічних порід Українського щита (N=307) [64, 98, 102, 103]. 3 – Дані по ізотопному U-Pb (Pb-Pb) датуванню цирконів з титан-цирконієвих розсипних родовищ України (Самотканське, Зеленярське, Тарасівське, Волчанське N=125) [101].

Одержані дані



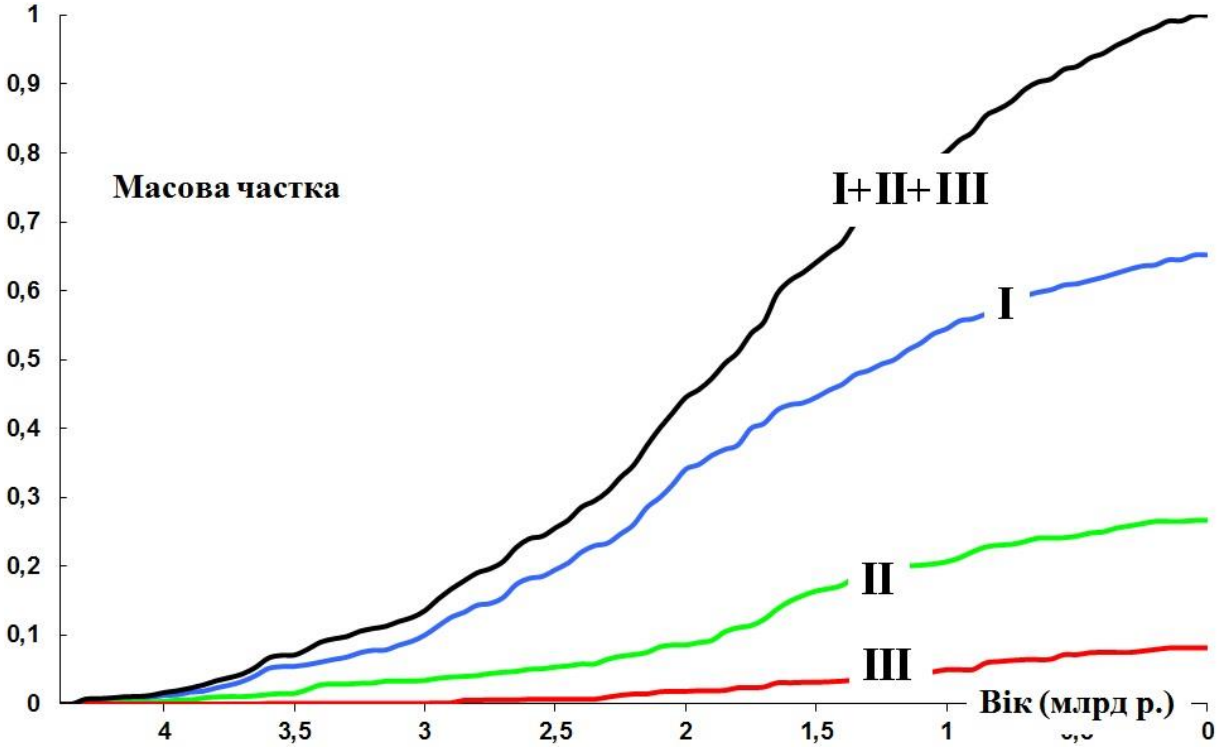
Віковий “спектр” дослідженої об’єднаної вибірки зерен монациту з алювіальних та льодовикових відкладів України (1) в порівнянні з існуючими даними ізотопного датування цього мінералу з кристалічних порід УЩ (2). N - кількість досліджених зерен монациту та ізотопних датувань.

Одержані дані



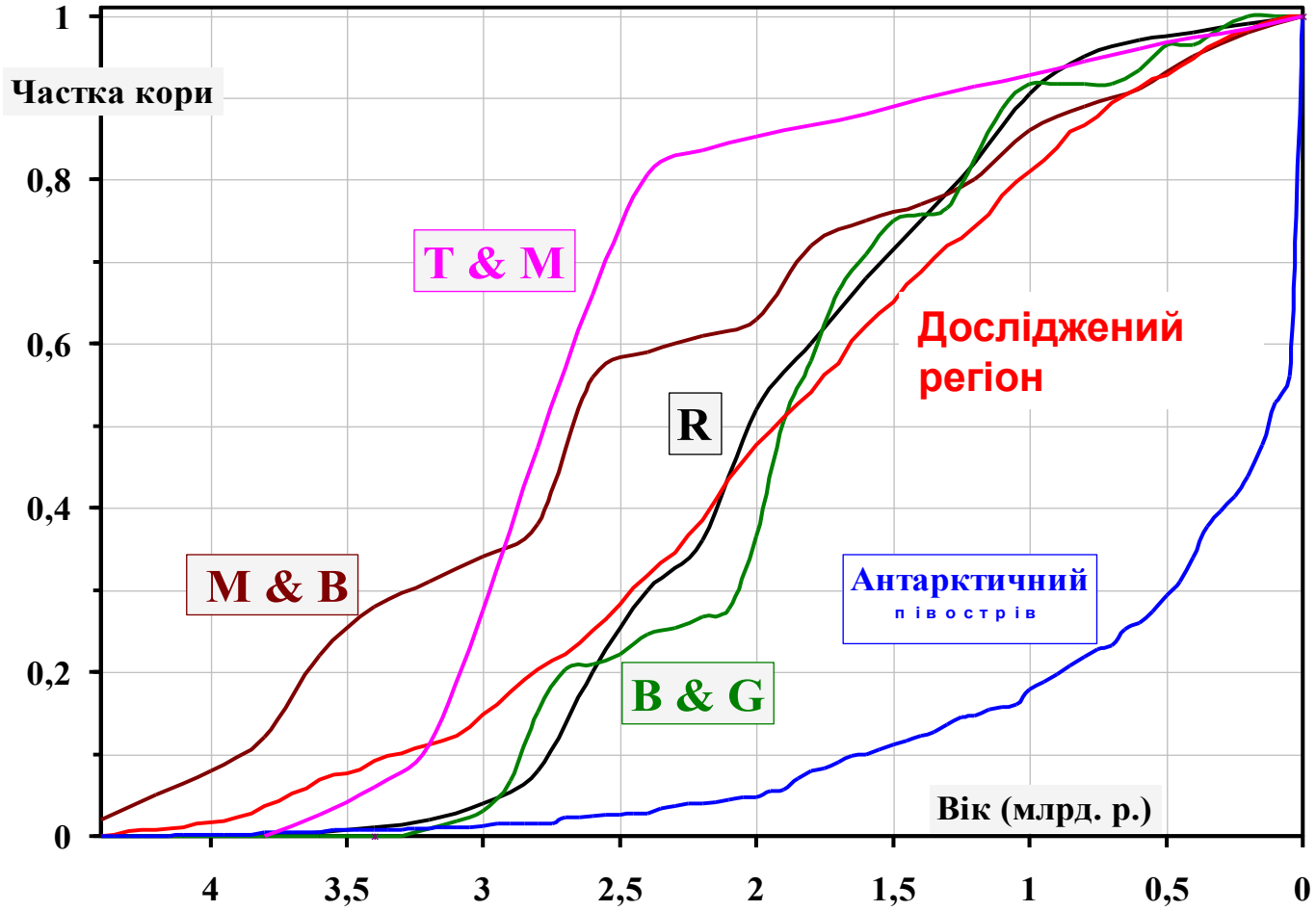
Зміна у часі відносних внесків мас порід трьох груп (I, II, III) для дослідженого регіону.

Одержані дані

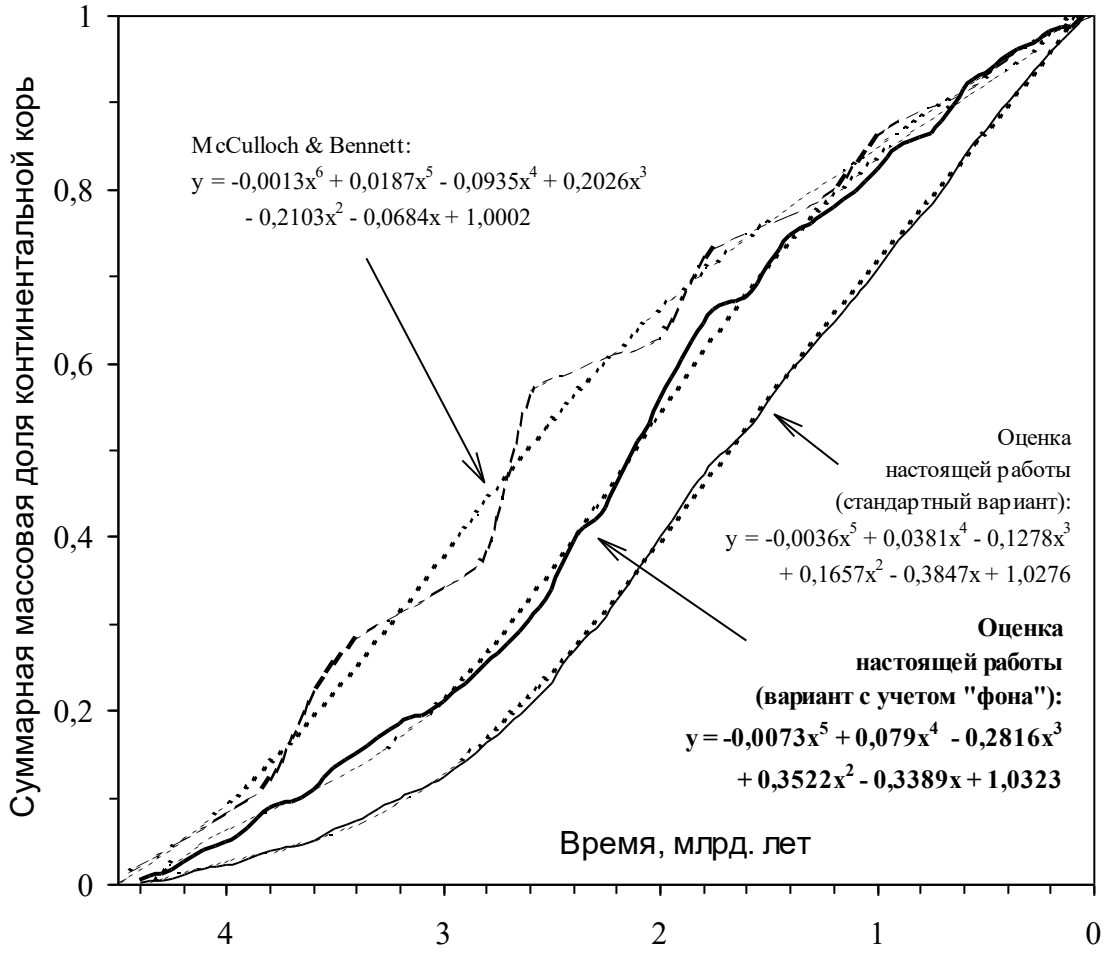


Модель еволюції континентальної еволюції континентальної земної кори північно-західної частини Українського Щита (кумулятивна крива) та їх складові по групах порід (I, II, III).

Одержані дані



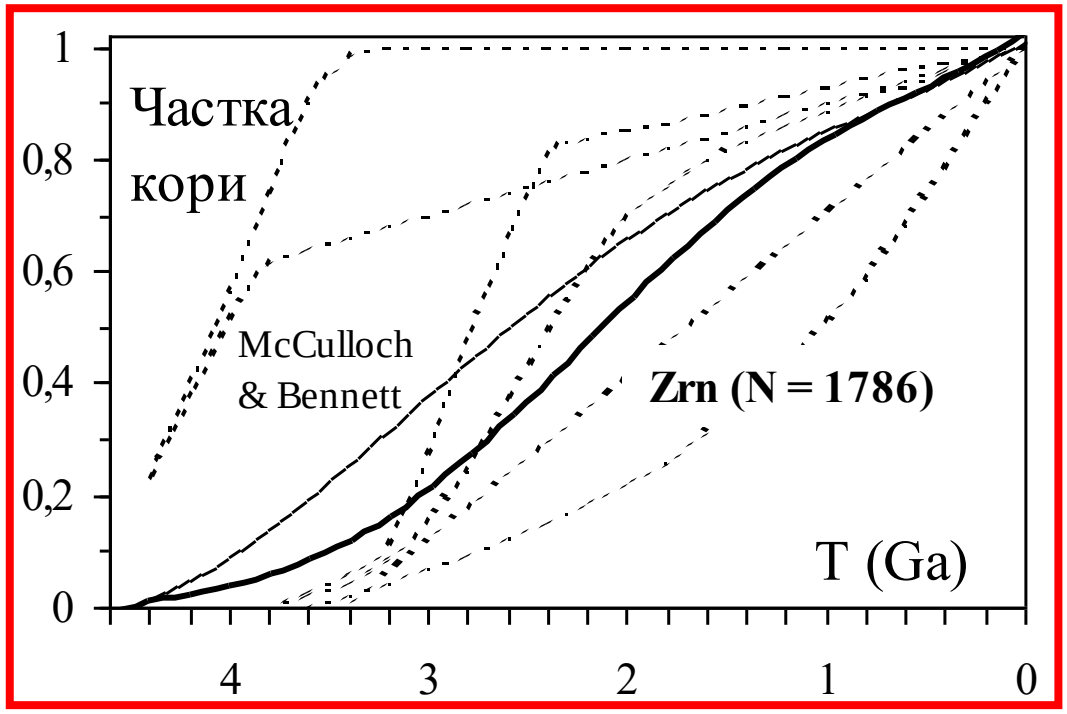
Криві росту земної кори регіону та АП за даними дослідження вибірок зерен циркону. Для порівняння наведені й інші криві, одержані для цирконів з розсипів УЩ [101] (B & G) і відкладів рік Амазонка, Міссісіпі та Маккензі [108] (R), а також відомі моделі [96] (M & B), [95] (T & M).



Сопоставление моделей роста континентальной коры, полученных из данных геохимического изучения представительных терригенных популяций циркона по стандартному варианту интерпретации и по варианту с учетом “фона”, между собой и с моделью McCulloch & Bennet.

Розроблені теоретичні основи моделювання еволюції земної кори на основі геохімічного дослідження репрезентативних вибірок мікрокристалів найбільш розповсюджених акцесорних мінералів (циркон, монацит тощо) з алювіальних, прибережно-морських та льодовикових відкладів, які слугують "регіональними середніми пробами"

Циркон:



Узагальнююча модель:

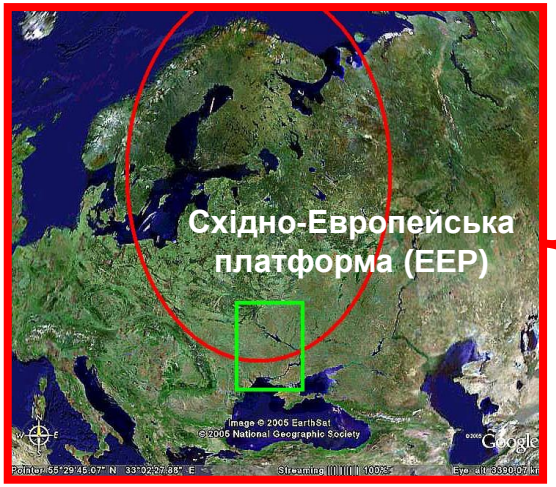
Найбільш близька до моделі McCulloch & Bennett (1994), що використовує Sm-Nd вік порід та їх сучасну площадну поширеність в якості оцінки об'ємних співвідношень у корі.

Більш об'єктивна оцінка останнього параметру є принциповою перевагою запропонованої моделі.

Однак зауважимо, що її повна реалізація вимагає додаткового дослідження U-Th-Pb і Lu-Hf (Sm-Nd) ізотопних систем цирконів (монацитів), що можливо лише за умови залучення відповідних методів локального ізотопного аналізу.

Ця розробка дозволяє встановлювати етапи розвитку регіонів, реставрувати їх петрологічний зміст та створювати моделі росту кори.

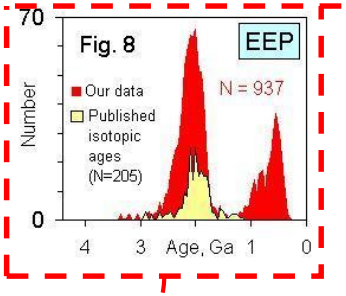
Результати геохімічного дослідження великих за обсягом вибірок зерен циркону та монациту з льодовикових та алювіальних відкладів, які мали джерелом постачання Східно-Європейську платформу (ЕЕР) та Антарктичний півострів (АР), Західна Антарктика:

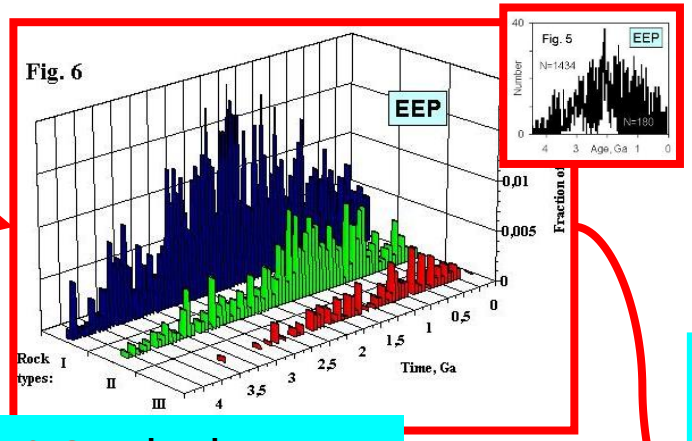


Джерела постачання циркону та монациту

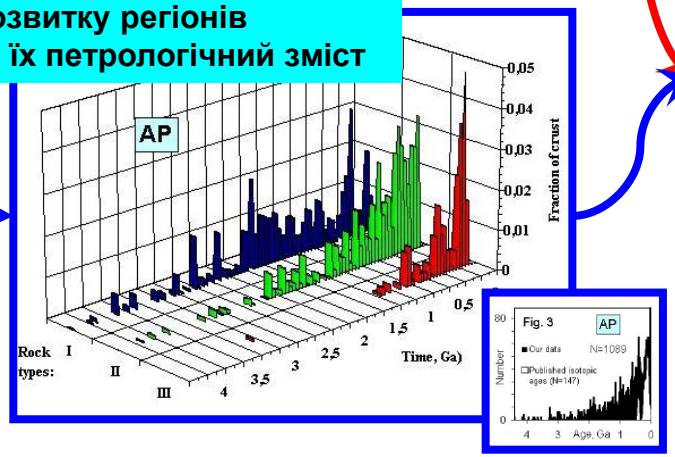


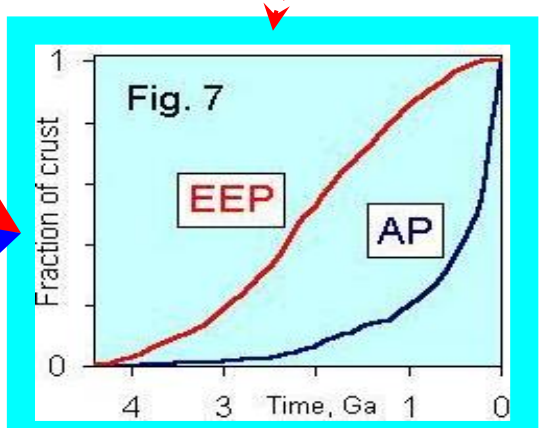
Виявлено новий етап утворення монациту (0,4–1,0 млрд р) у межах Східно-Європейської платформи, що може свідчить про наявність раніше невідомого етапу активізації кори





Циркон: вікові етапи розвитку регіонів та їх петрологічний зміст



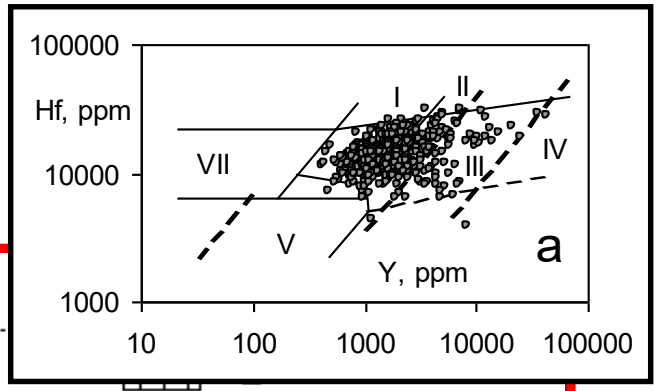


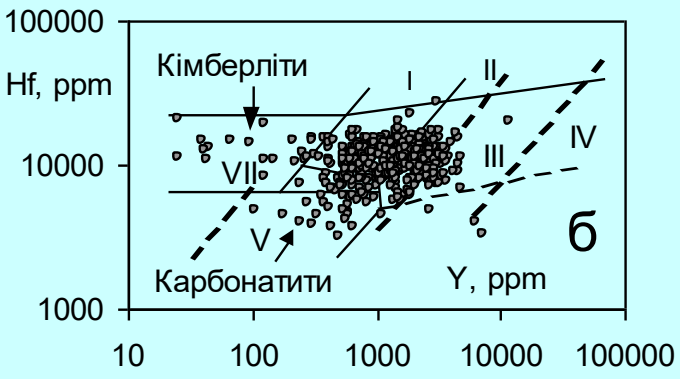
Регіональні моделі зростання маси континентальної кори

Розробка дозволяє вирішувати й актуальні прикладні задачі: пошуки родовищ алмазу, рідкісних металів, фосфатної сировини

Застосуванням даних з геохімії детритових популяцій циркону для реєстрації важливих металогенічних подій:

Приклад безперспективного регіону (а)

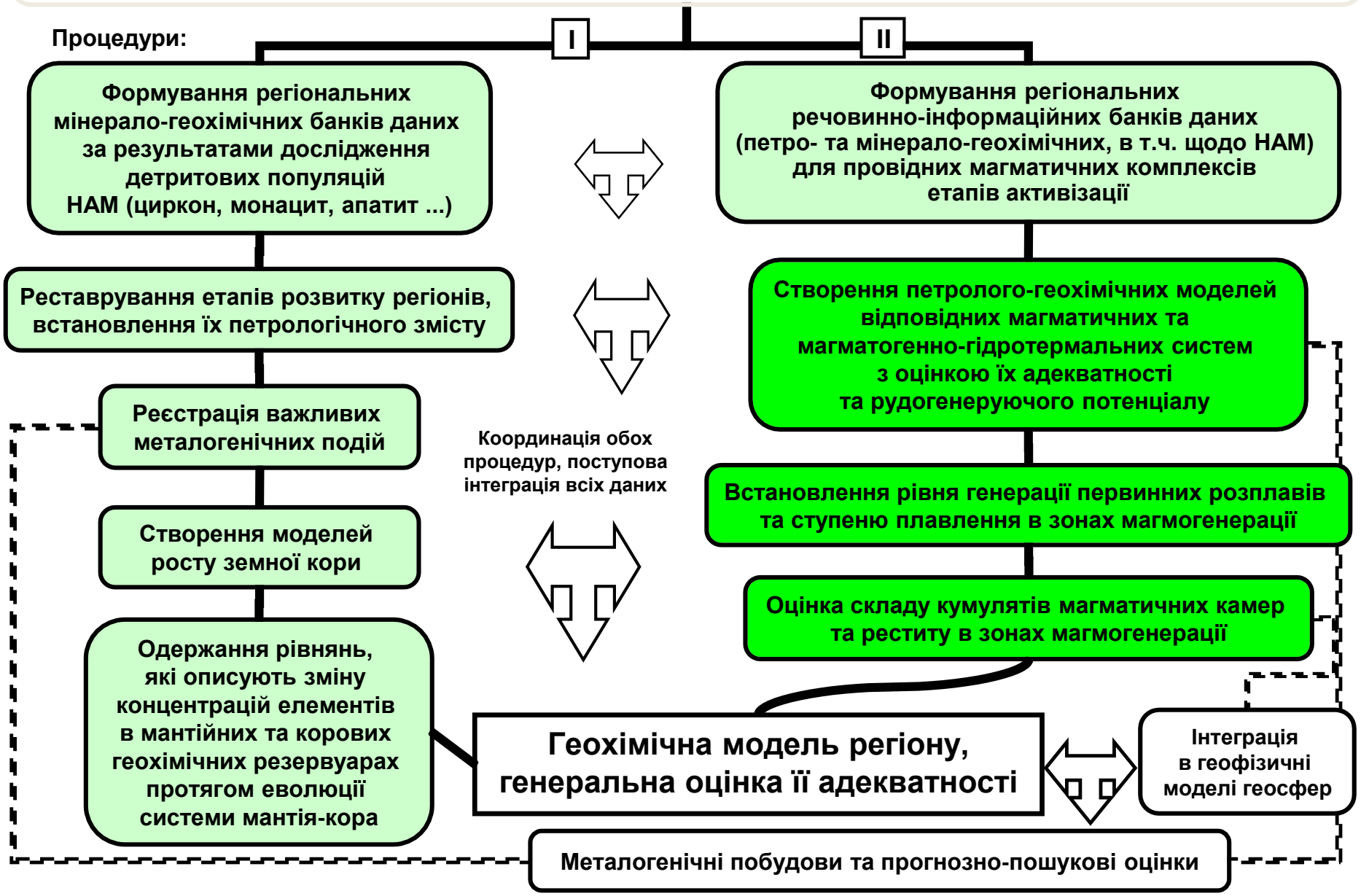




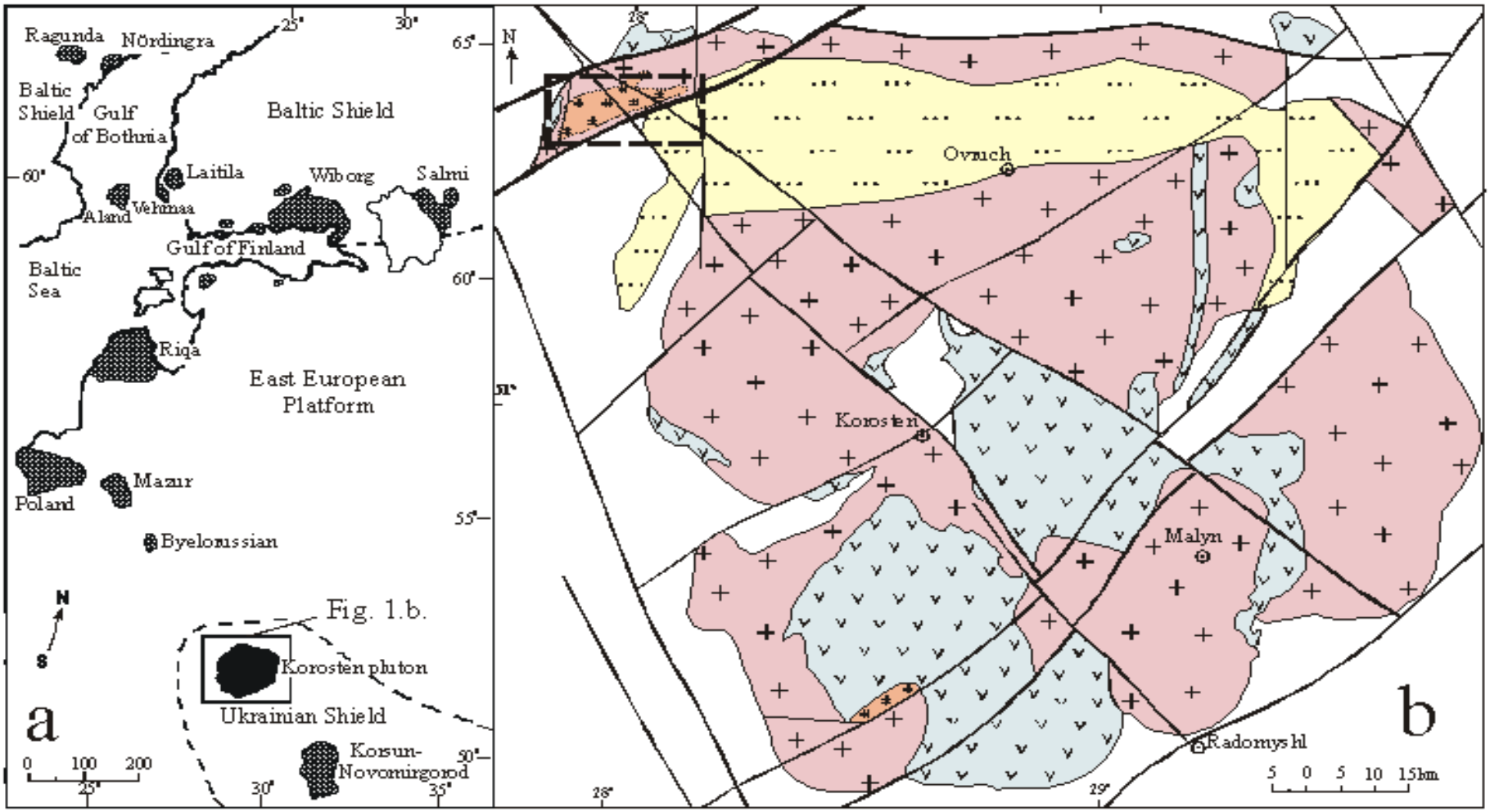
(б) перспективний регіон для пошуків родовищ алмазу !!!

Потік розсіяння кімберлітових цирконів на шельфі Республіки Гвінея

Комплексне петролого-геохімічне моделювання еволюції земної кори та магматичних систем з оцінкою їх рудогенеруючого потенціалу

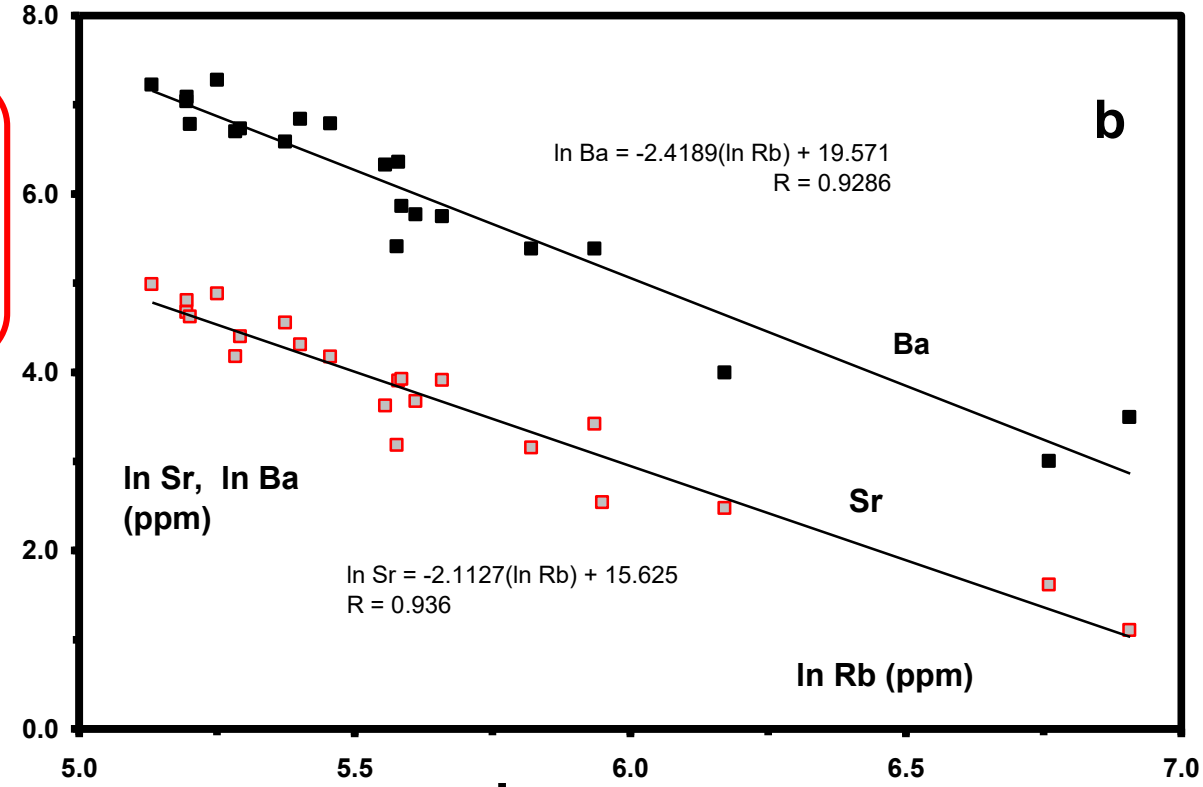


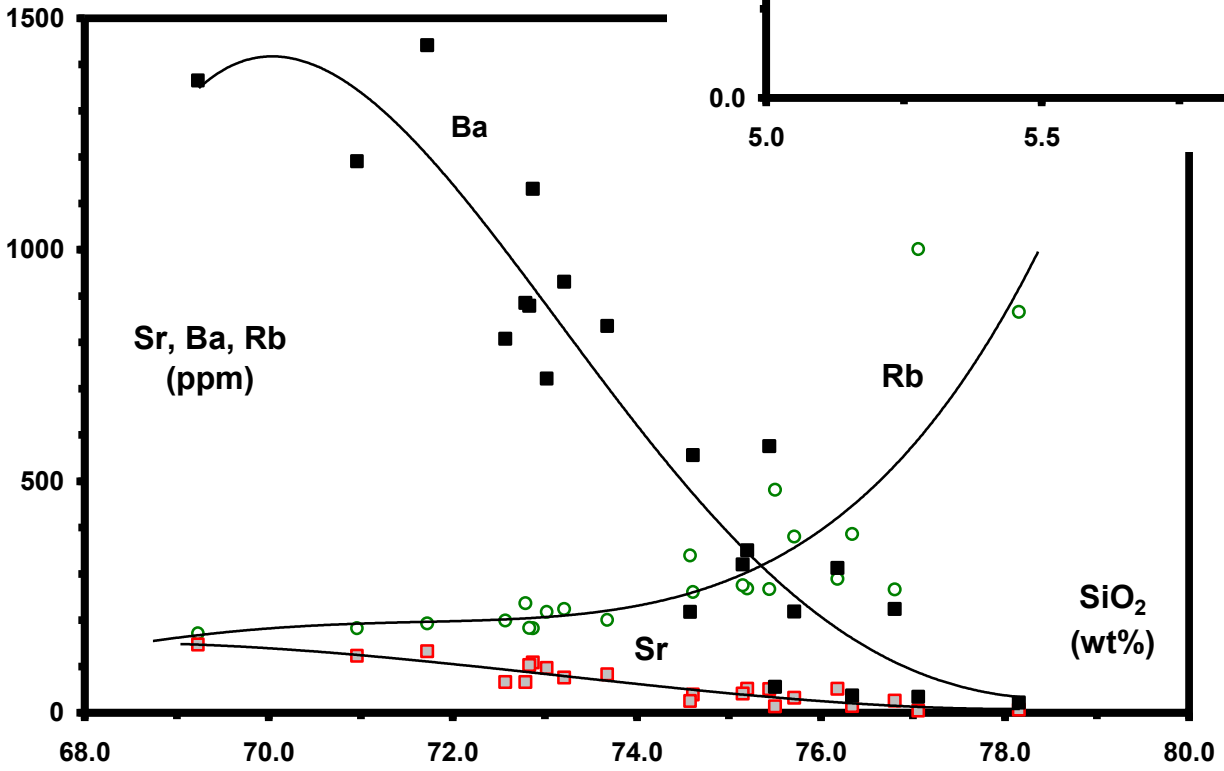
Петролого-мінерало-геохімічна модель Коростенського плутона



1 = Early Proterosoic host rocks; 2 = platform-type Middle Proterosoic sedimentary-volcanic rocks within the graben structures; 3 = ore-bearing metasomatically altered rocks in tectonic zones; 4, 5 = Korosten pluton granitoids and basic rocks respectively. (Velikoslavinsky et al. 1978).

Петролого-мінерало-геохімічна модель Коростенського плутона



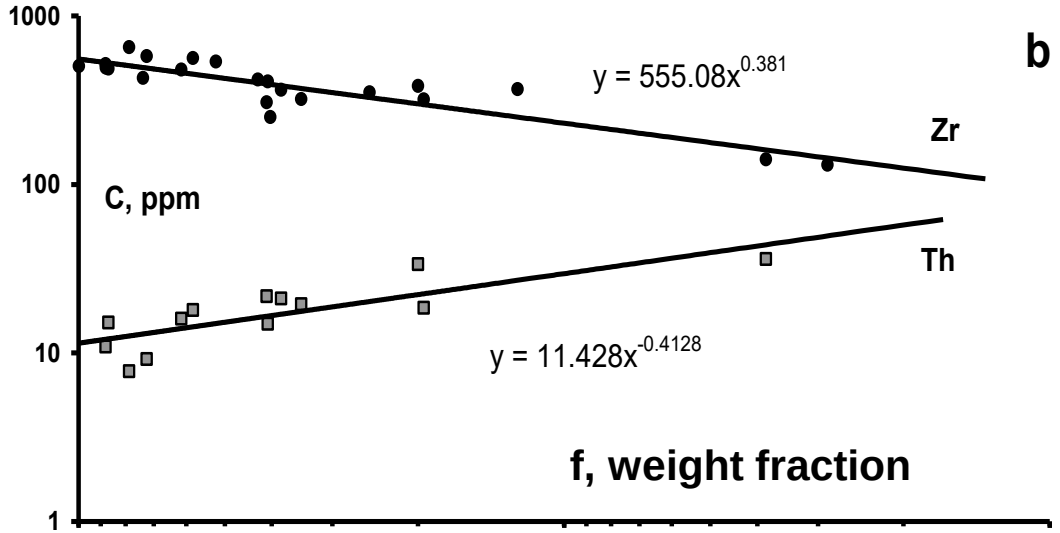


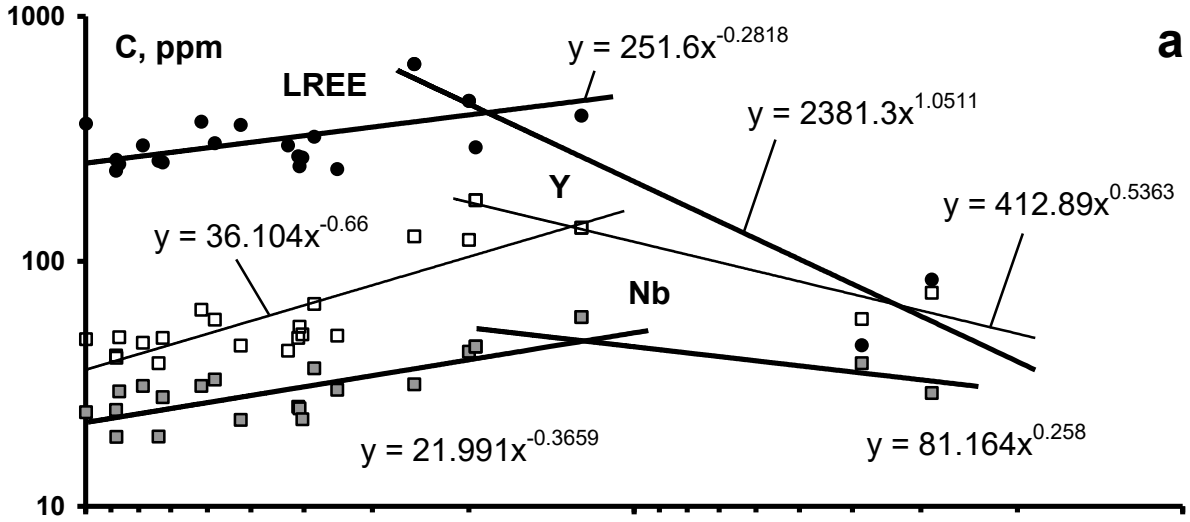
Rayleighan model closely approximates the trace element data for granitoids.

Typical uncompatible behaviour under approximately constant bulk distribution coefficient was determined for Rb (D_{Rb} = 0.5).

Model f values (weight fraction of liquid in magma chamber) were calculated for each granitoid type (residual melt portion) from Rayleighan equation and Rb content in rocks (CRb) assuming minimum concentration in granitoids (169 ppm) as Rb content in parent magma (C0Rb).

Петролого-мінерало-геохімічна модель Коростенського плутона

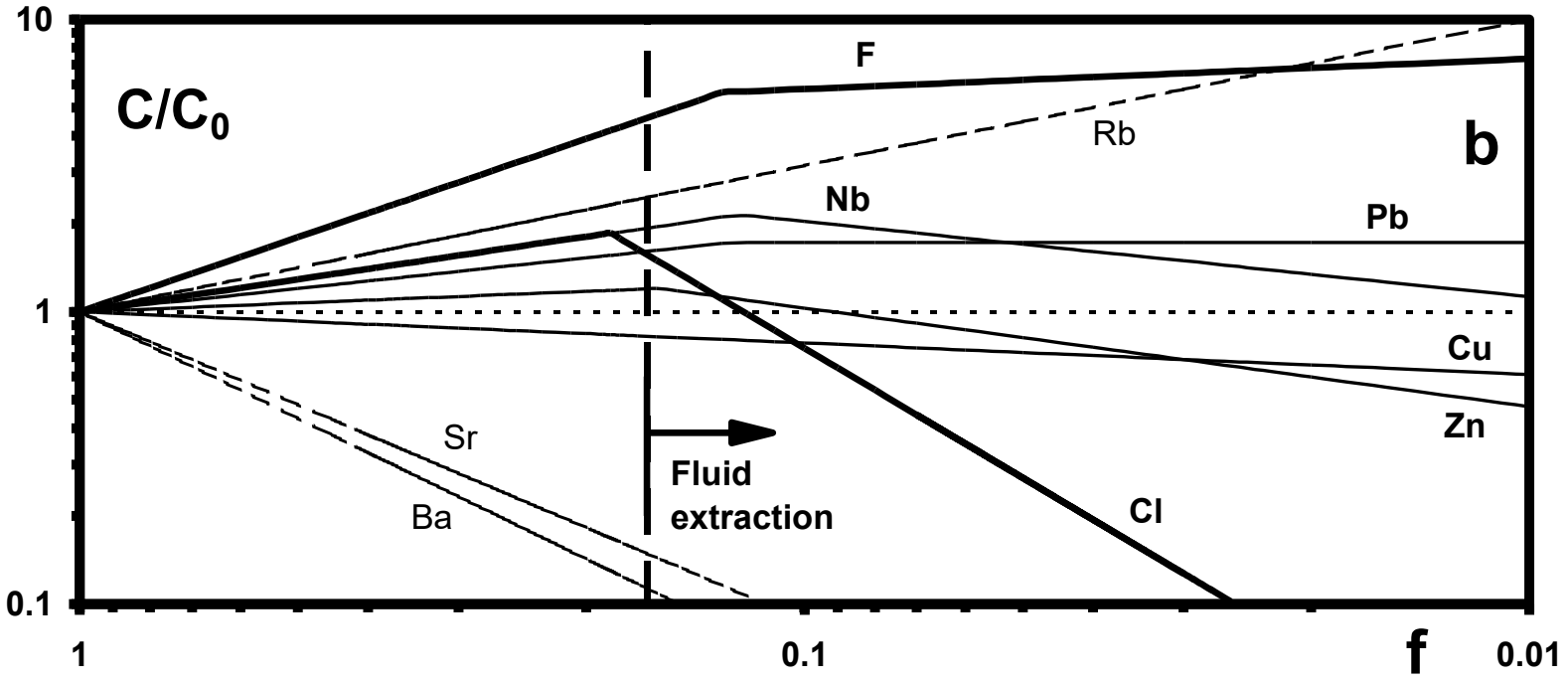




f, weight fraction

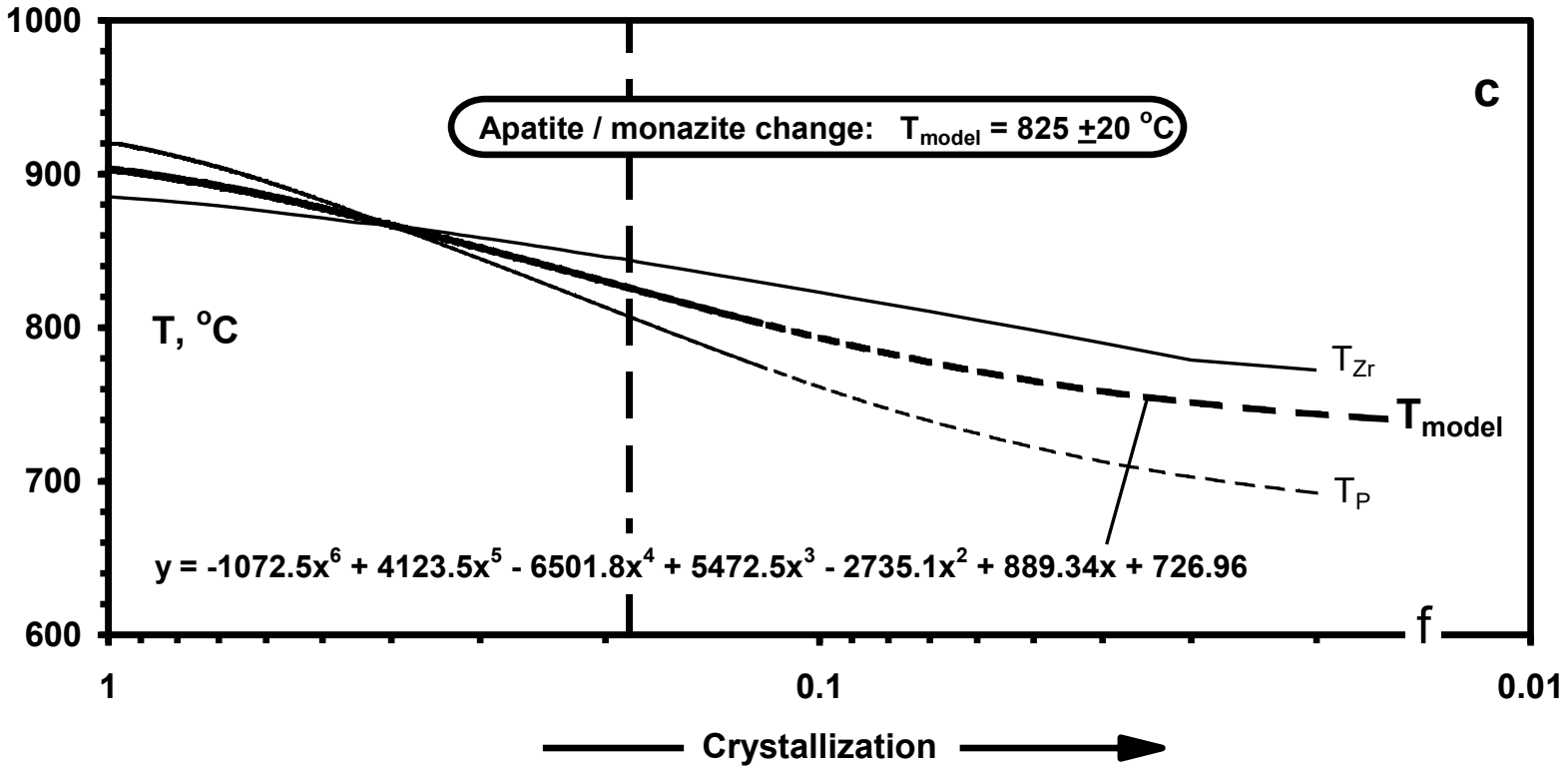
Concentration vs. f curves for trace elements were approximated by means of equations of Rayleighan form ($C=C_0 \cdot f^{(D-1)}$). This set of equations is an idealized model of elements behaviour during the magmatic evolution.

Петролого-мінерало-геохімічна модель Коростенського плутона



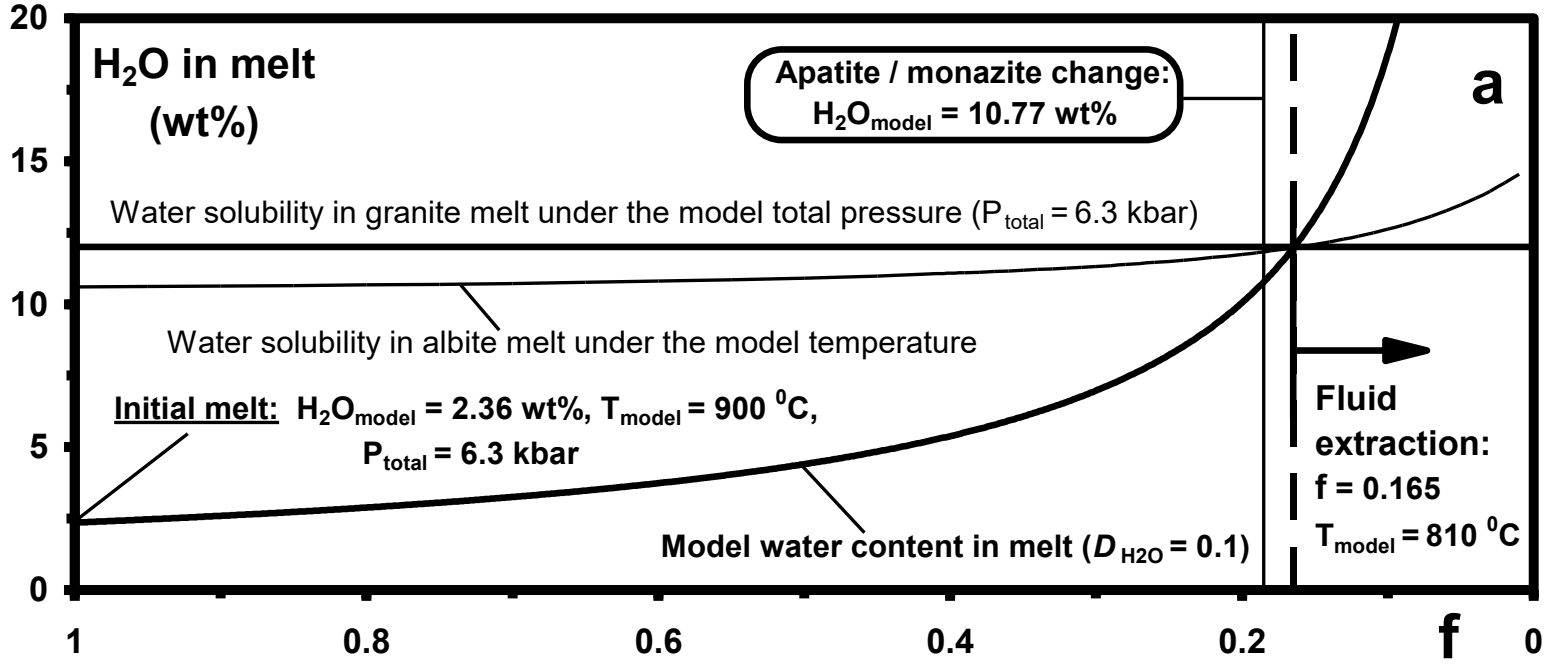
This idealized model demonstrates the depletion of Ba, Sr, Ti, Zr, P, S and enrichment of Th and Ga in the residual liquid as well as the inversion type of LREE, Y, F, Cl, Nb, Zn and Pb behaviour during the melt fractional crystallization in magma chamber.

Петролого-мінерало-геохімічна модель Коростенського плутона



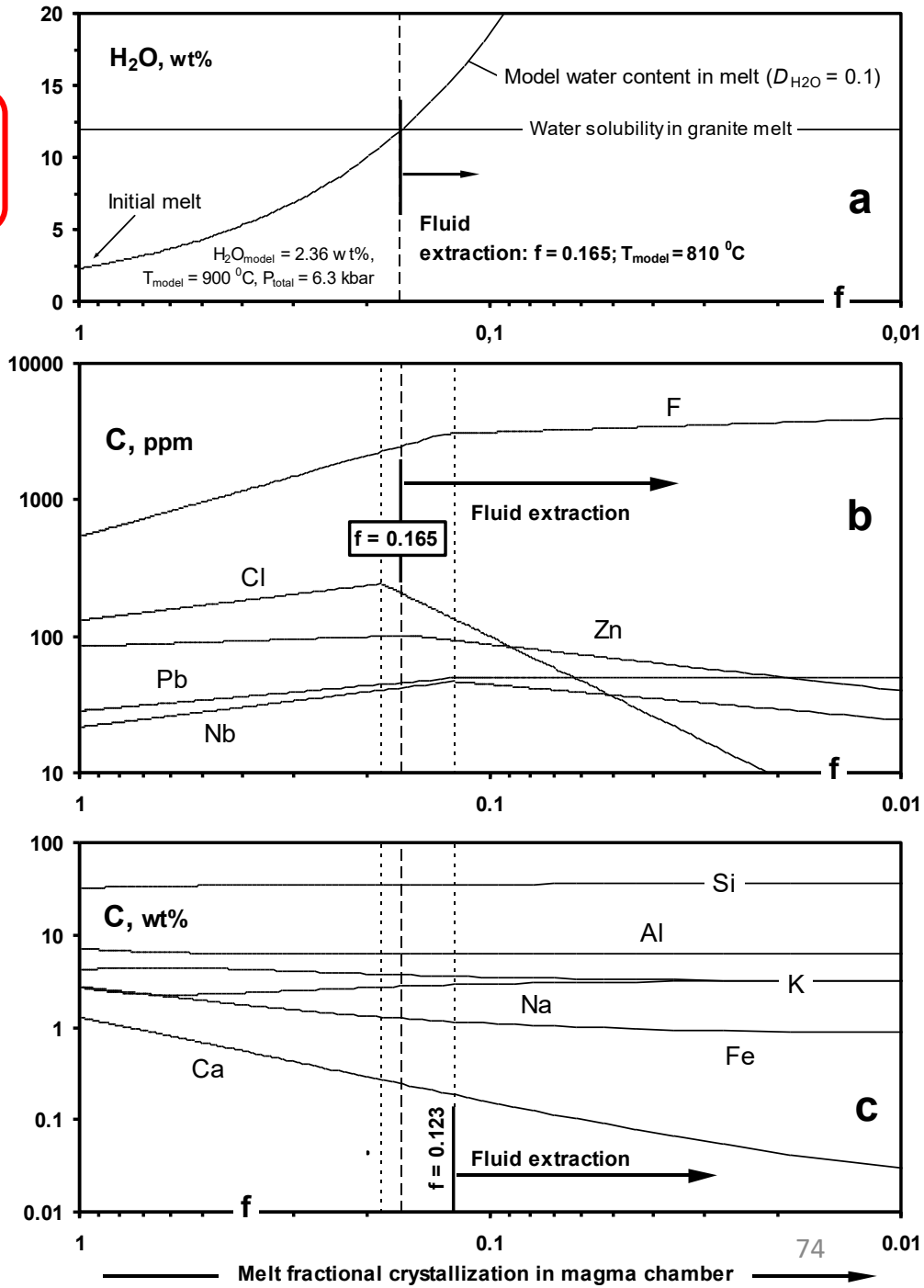
Monotonous decrease of both Zr and P content indicates melt saturation in zircon and apatite. Therefore the model temperature (T_{model}) of the melt was estimated from equations for zircon and apatite solubility. The temperature evolution in magma chamber was presented as T_{model} vs. f polynomial equation (T_{model} range: 900-720 C).

Петролого-мінерало-геохімічна модель Коростенського плутона



Inversion in LREE content (f = 0.185) indicates the apatite/monazite change in the crystallizing assemblage. Water content in melt for this f value and corresponding T_{model} were calculated from the equation for monazite solubility which demonstrates its high H2O-dependence. C_0^{H2O}=2.36 wt% was estimated on this basis (assuming D^{H2O} = 0.1) for the liquidus of initial granite melt (P_{total} ~6.3 kbar). According to the designed model water saturation limit was reached at f = 0.165 and H_2O-fluid was extracted from the melt during its further evolution.

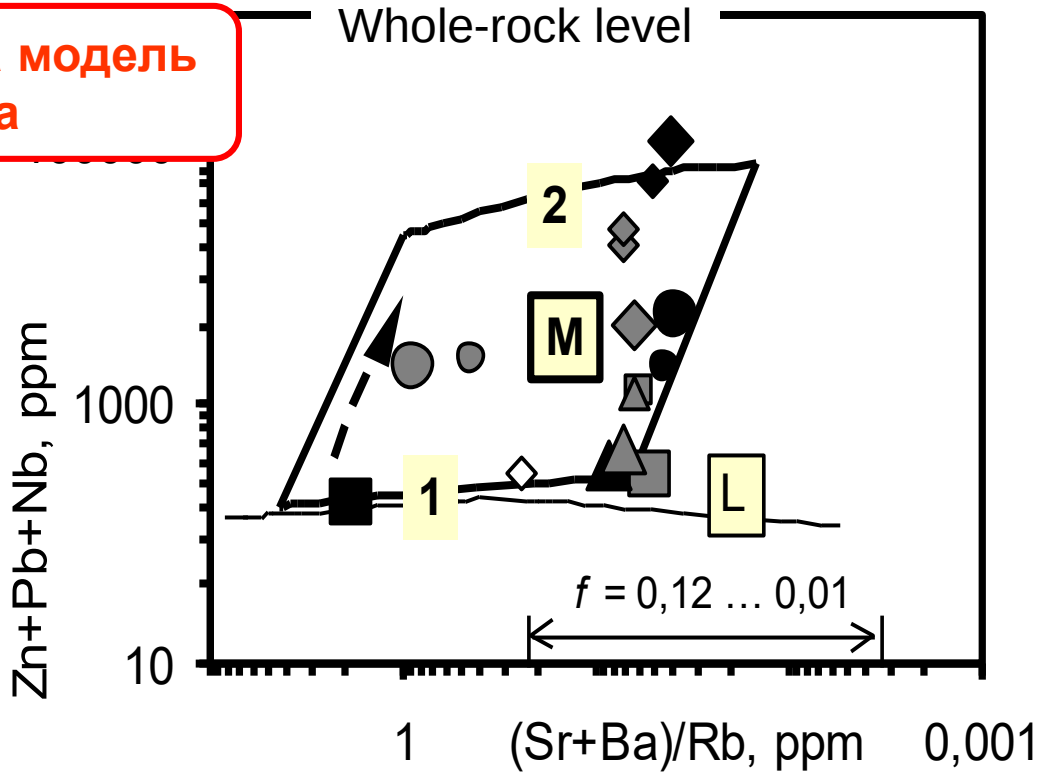
Петролого-мінерало-геохімічна модель Коростенського плутона

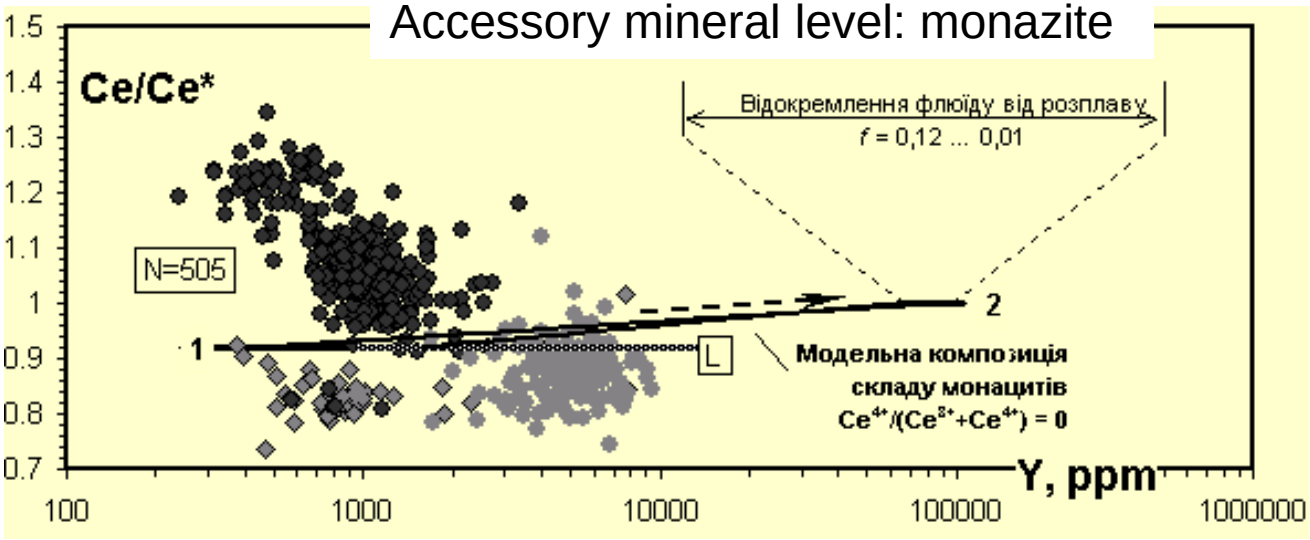


Dependencies obtained between C^L and *f* for Zn, Pb, Nb, F and Cl disclose inversion nature. Their inversion points correspond to *f* value when residual melt reaches water saturation limit and water fluid separation begins. The corresponding equations of $C^L=C_0 f^{(D-1)}$ form (C_0 = element content in parent magma, C^L = element concentration in residual melt, f=weight fraction of liquid phase in the system, *D*=bulk distribution coefficient of the element) demonstrate a sharp change of *D* values in the inversion points. This makes it possible to calculate the $K^{F/L} = C^F/C^L$ (C^F – element concentration in fluid) values and to estimate the Zn, Pb, Nb content in hypothetical (model) metasomatites as well as in their hypothetical (model) accessory minerals by means of elaborated equations.

Петролого-мінерало-геохімічна модель Коростенського плутона

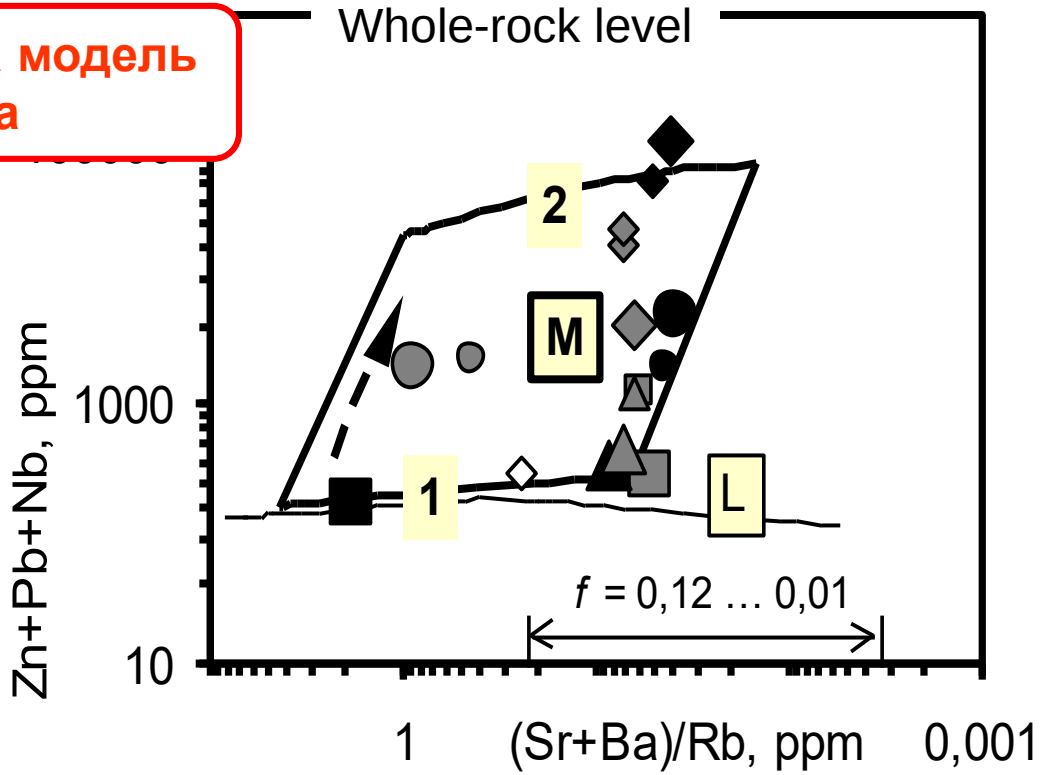
Calculated model element concentrations in hypothetical (model) metasomatites and their hypothetical (model) accessory minerals agree well with element concentrations measured in natural ore-bearing hydrothermally altered rocks (metasomatites) spatially associated with Korosten Pluton (Perga). Ce^{4+}/total Ce = 0.04 is a usual value for silica melts.

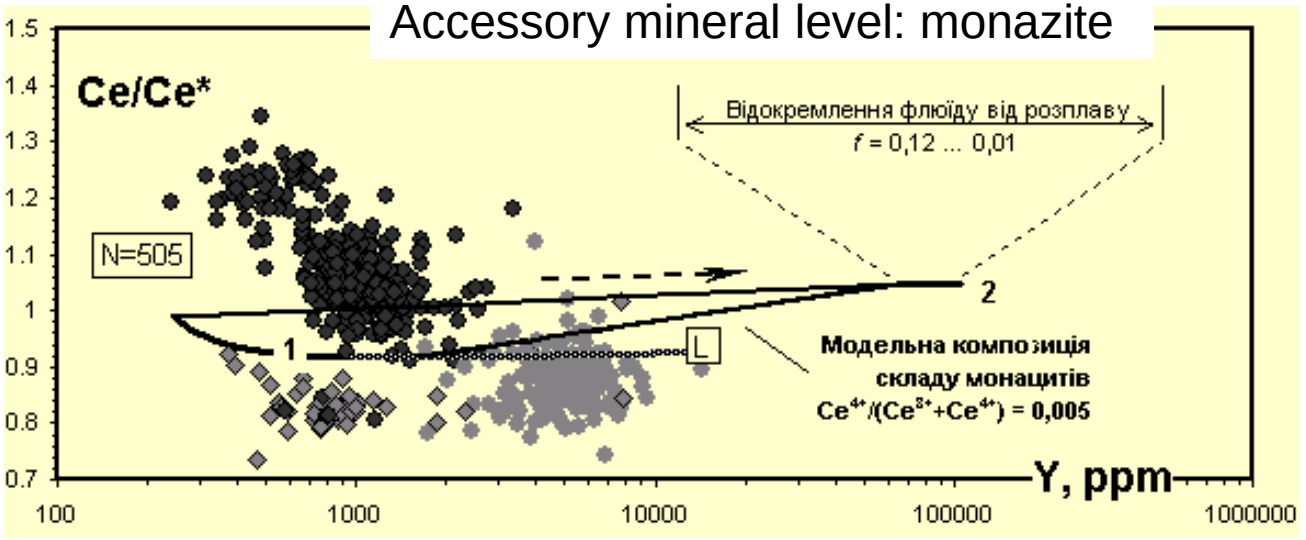




Петролого-мінерало-геохімічна модель Коростенського плутона

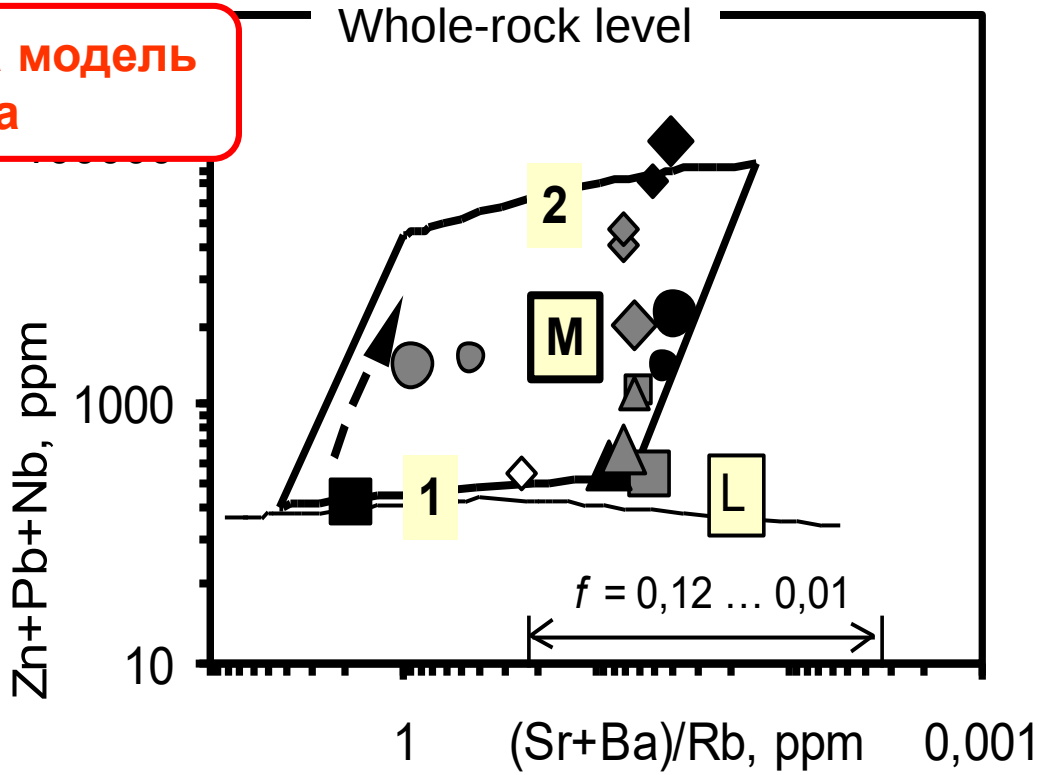
Calculated model element concentrations in hypothetical (model) metasomatites and their hypothetical (model) accessory minerals agree well with element concentrations measured in natural ore-bearing hydrothermally altered rocks (metasomatites) spatially associated with Korosten Pluton (Perga). Ce^{4+}/total Ce = 0.04 is a usual value for silica melts.

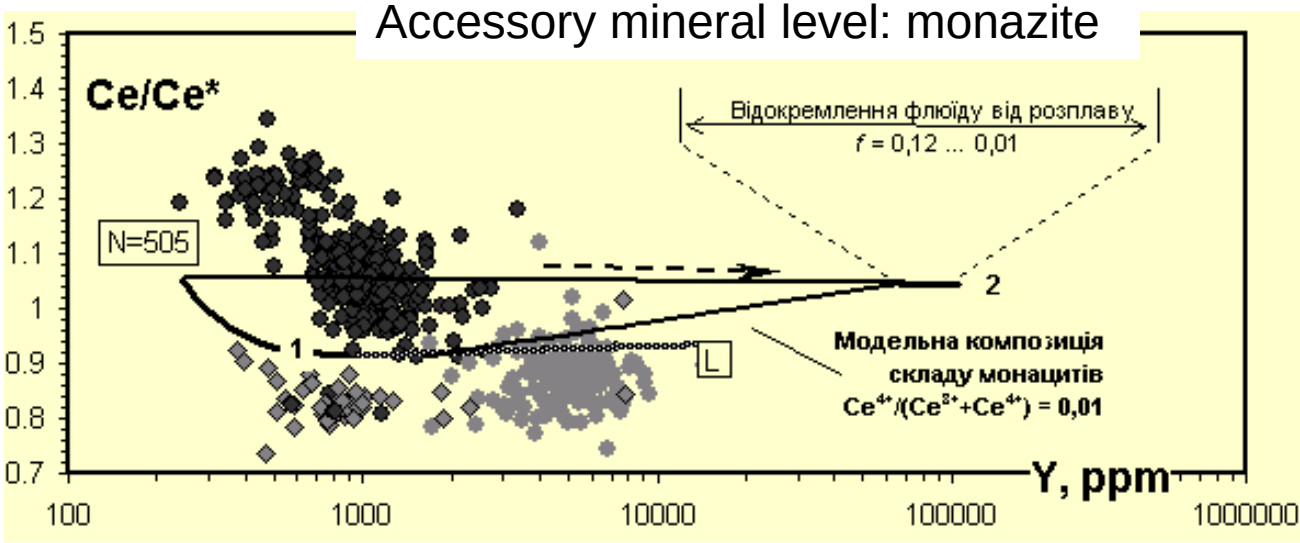




Петролого-мінерало-геохімічна модель Коростенського плутона

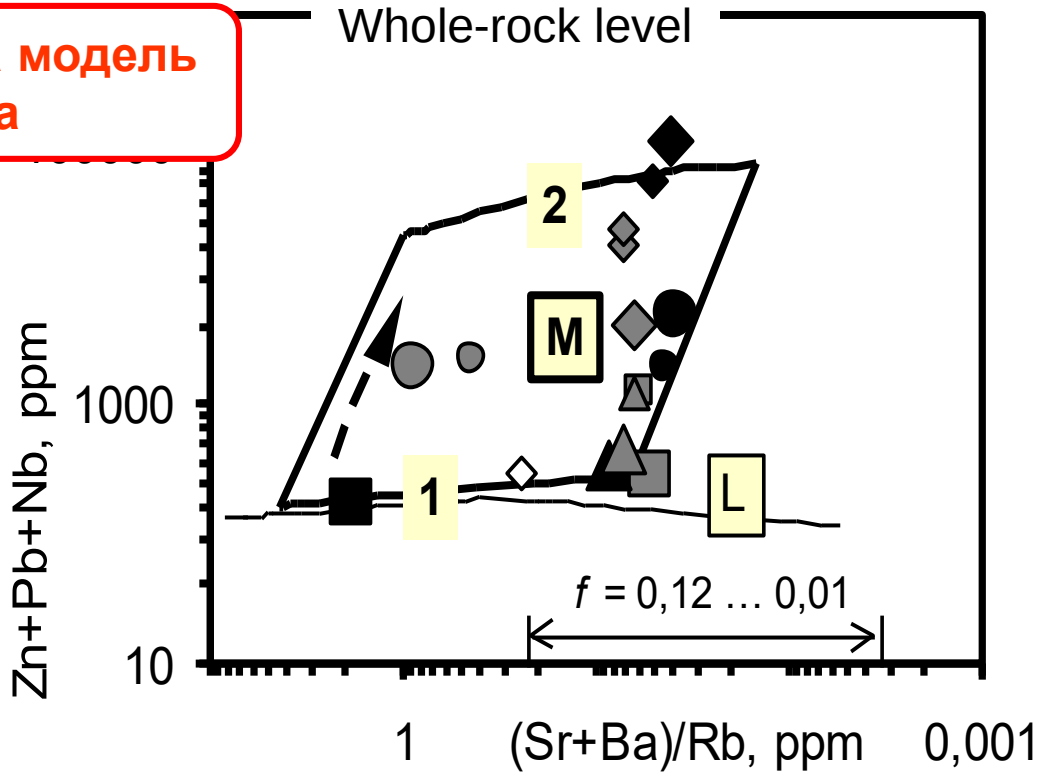
Calculated model element concentrations in hypothetical (model) metasomatites and their hypothetical (model) accessory minerals agree well with element concentrations measured in natural ore-bearing hydrothermally altered rocks (metasomatites) spatially associated with Korosten Pluton (Perga). Ce^{4+}/total Ce = 0.04 is a usual value for silica melts.

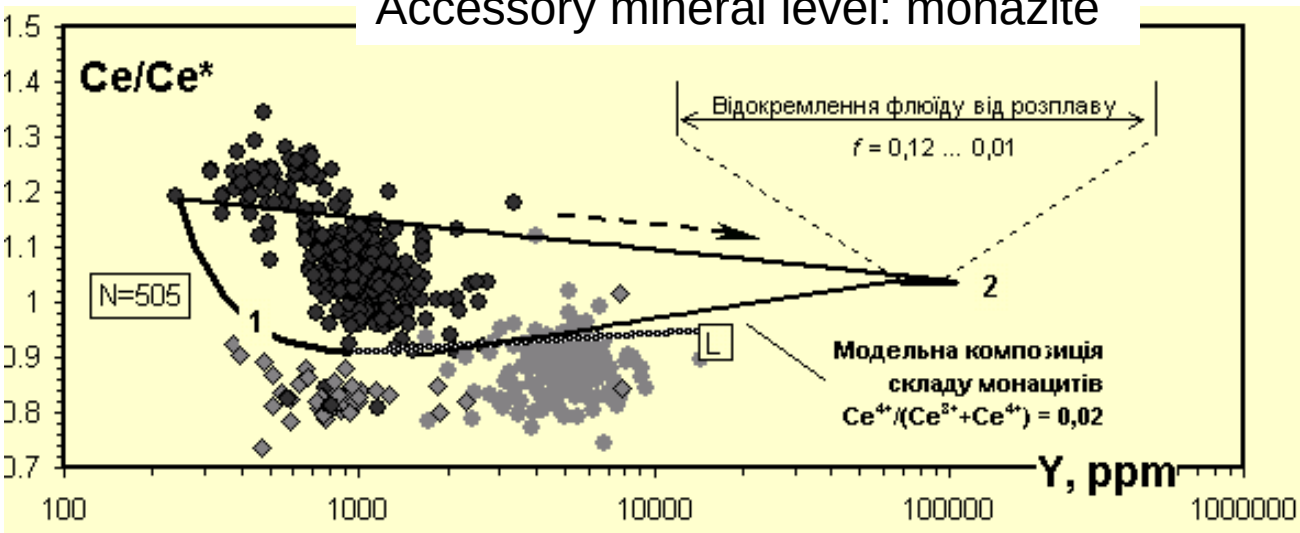




Петролого-мінерало-геохімічна модель Коростенського плутона

Calculated model element concentrations in hypothetical (model) metasomatites and their hypothetical (model) accessory minerals agree well with element concentrations measured in natural ore-bearing hydrothermally altered rocks (metasomatites) spatially associated with Korosten Pluton (Perga). Ce^{4+}/total Ce = 0.04 is a usual value for silica melts.

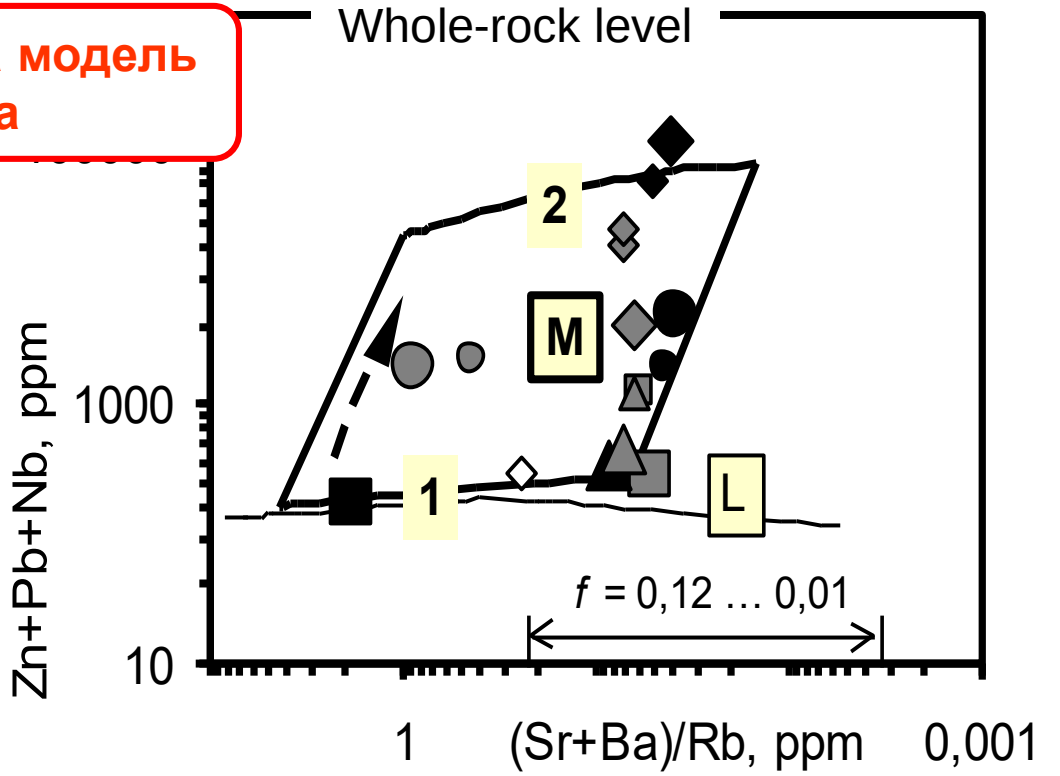




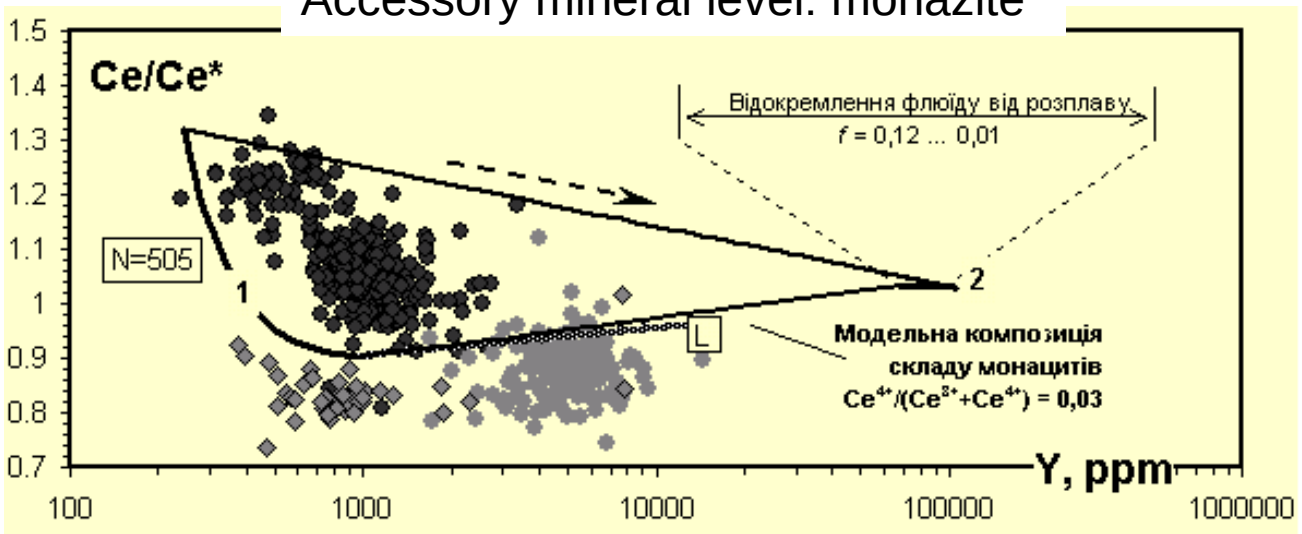
Петролого-мінерало-геохімічна модель Коростенського плутона

Calculated model element concentrations in hypothetical (model) metasomatites and their hypothetical (model) accessory minerals agree well with element concentrations measured in natural ore-bearing hydrothermally altered rocks (metasomatites) spatially associated with Korosten Pluton (Perga). Ce^{4+}/total Ce = 0.04 is a usual value for silica melts.

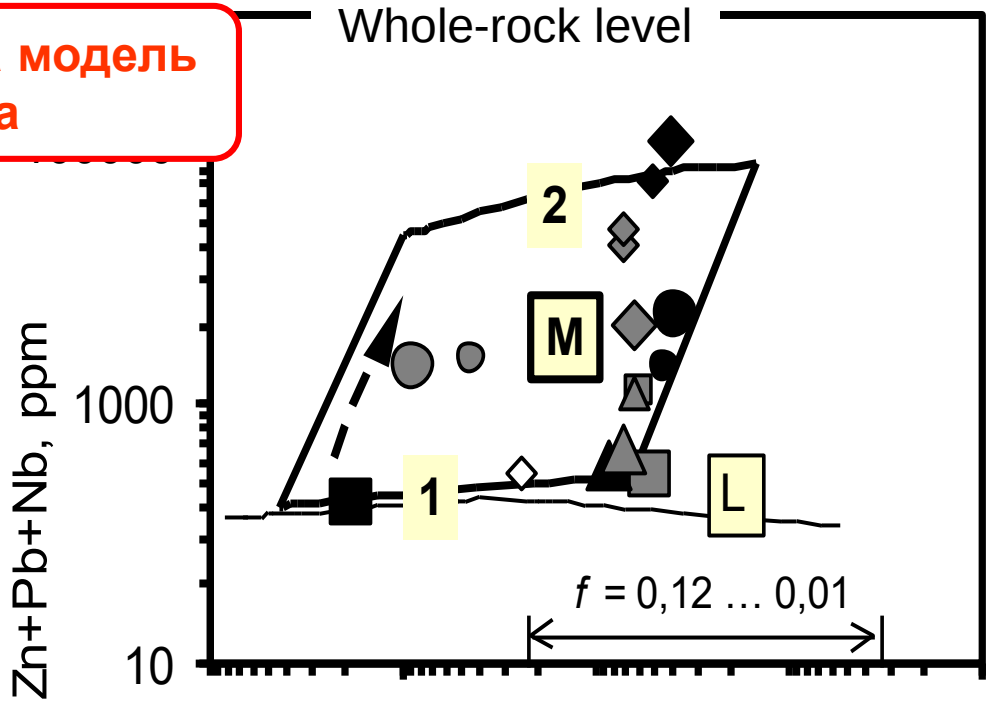
Whole-rock level



Accessory mineral level: monazite



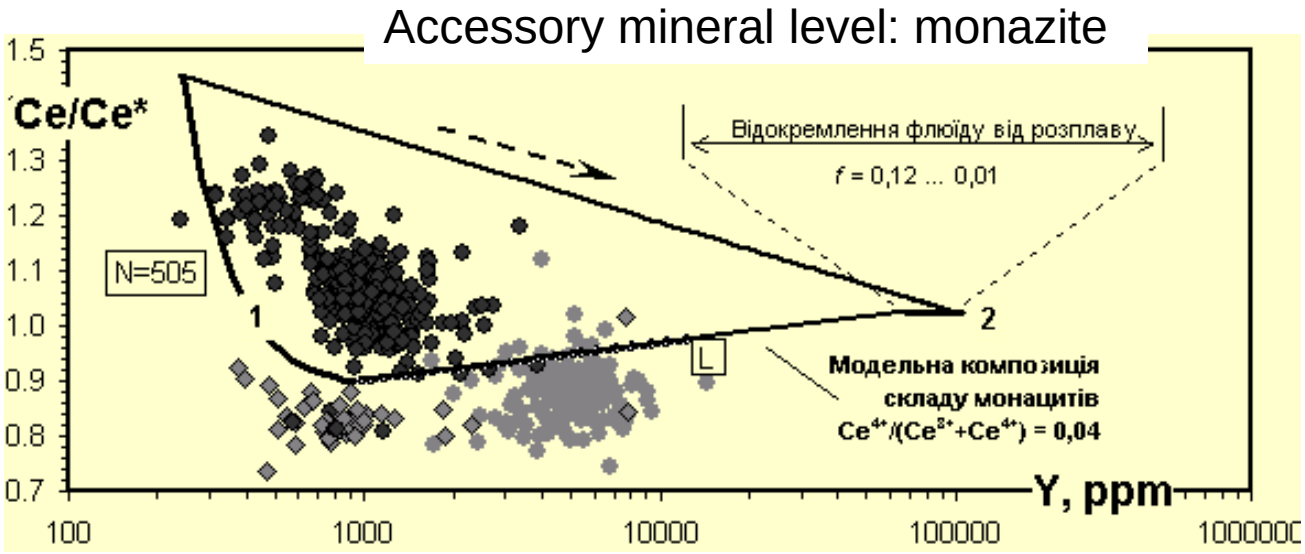
Петролого-мінерало-геохімічна модель Коростенського плутона



Calculated model element concentrations in hypothetical (model) metasomatites and their hypothetical (model) accessory minerals agree well with element concentrations measured in natural ore-bearing hydrothermally altered rocks (metasomatites) spatially associated with Korosten Pluton (Perga).

Ce^{4+}/total Ce = 0.04 is a usual value for silica melts.

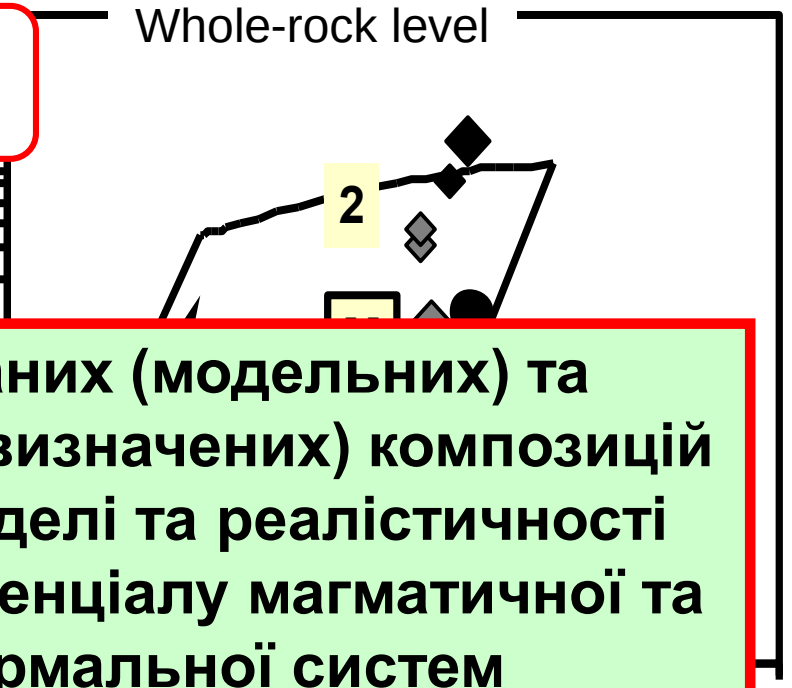
Відповідність!



Петролого-мінерало-геохімічна модель Коростенського плутона

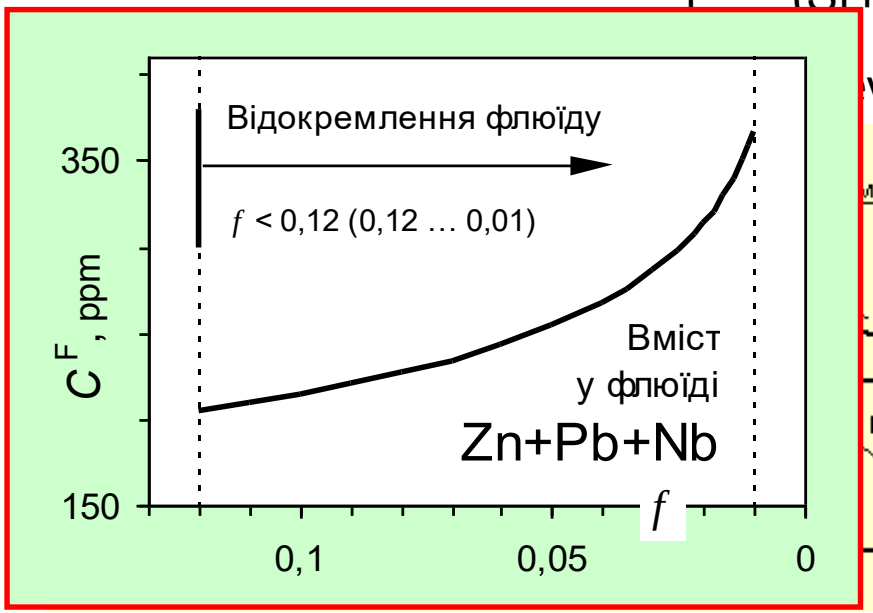
Відповідність розрахованих (модельних) та спостережених (аналітично визначених) композицій – критерій адекватності моделі та реалістичності оцінок рудогенеруючого потенціалу магматичної та магматогенно-гідротермальної систем

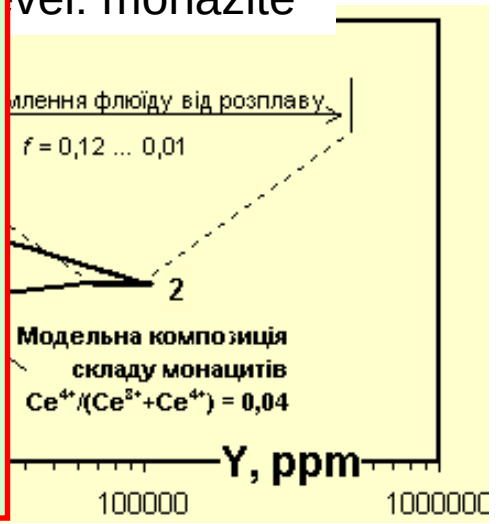
Calc
elem
in hy
meta
hypo
acce
agree well with element concentrations measured in natural ore-bearing hydrothermally altered rocks (metasomatites) spatially associated with Korosten Pluton (Perga).
Ce^{4+}/total Ce = 0.04 is a usual value for silica melts.



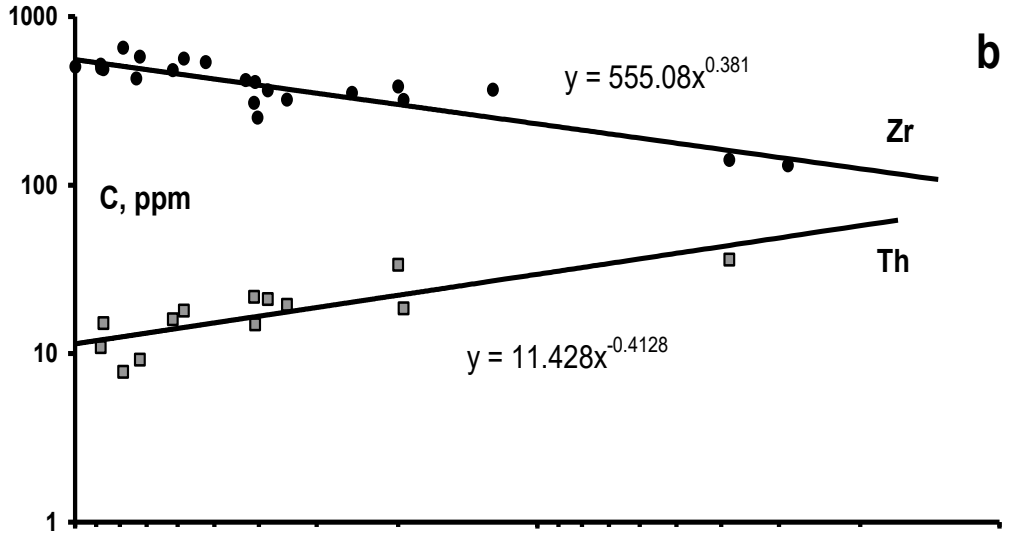
1 (Sr+Ba)/Rb, ppm 0,001

vel: monazite

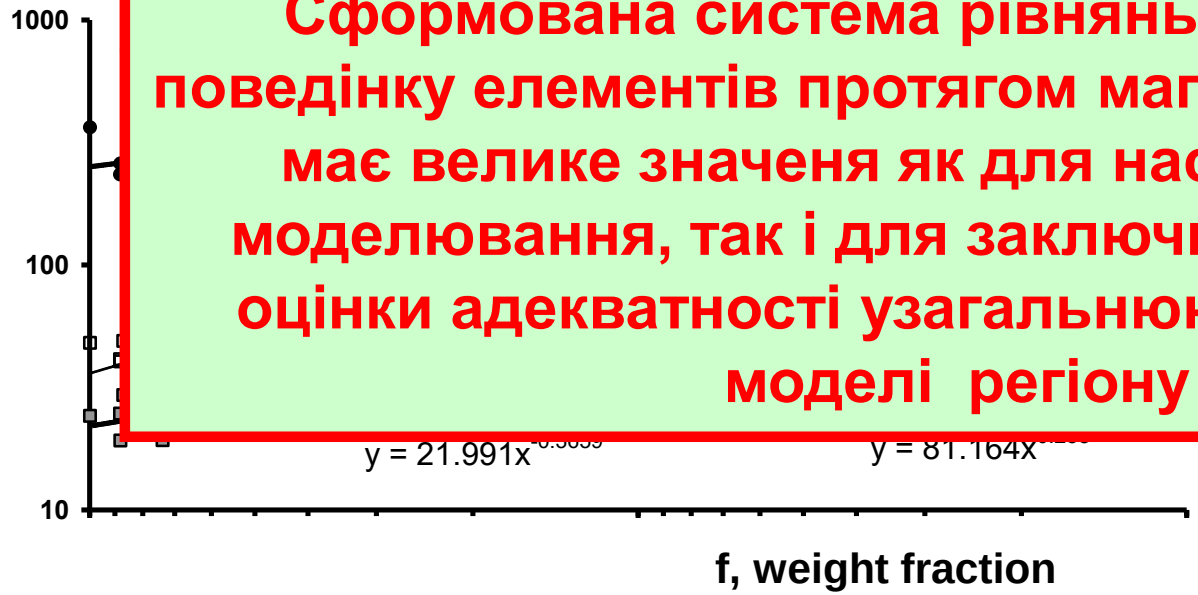




Петролого-мінерало-геохімічна модель Коростенського плутона



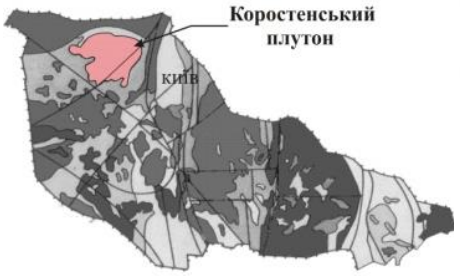
Сформована система рівнянь, які описують поведінку елементів протягом магматичної еволюції має велике значеня як для наступних етепів моделювання, так і для заключної, генеральної оцінки адекватності узагальнюючої геохімічної моделі регіону



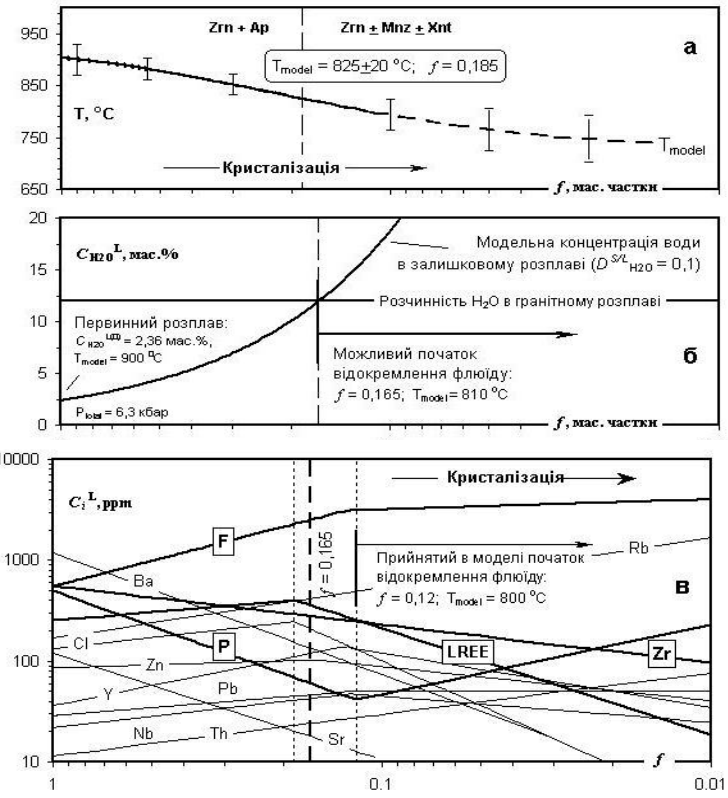
during the magmatic evolution.

Петролого-мінерало-геохімічна модель Коростенського плутона

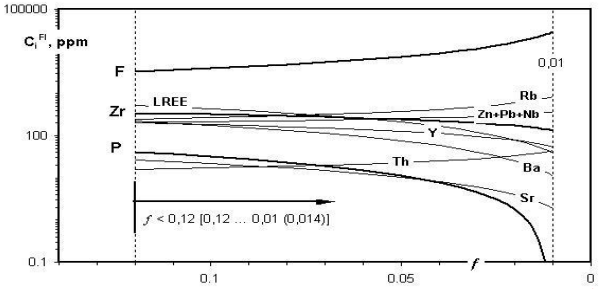
Результати:



Одержання первинних мінералого-геохімічних даних

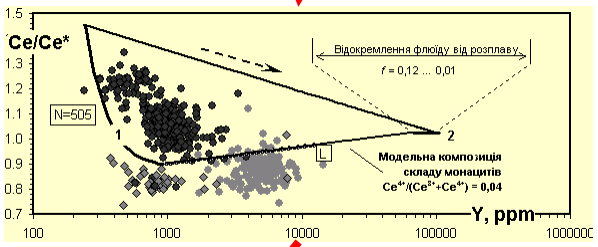


Модельна оцінка РТ-умов, флюїдного режиму та геохімічної еволюції магматичних систем



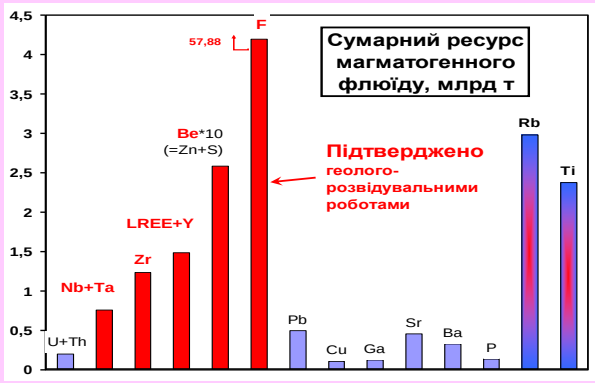
Розрахунок концентрацій елементів в магмато-генному флюїді

Перевірка адекватності моделі (порівняння розрахованих та спостережених концентрацій в рудах та їх мінералах)

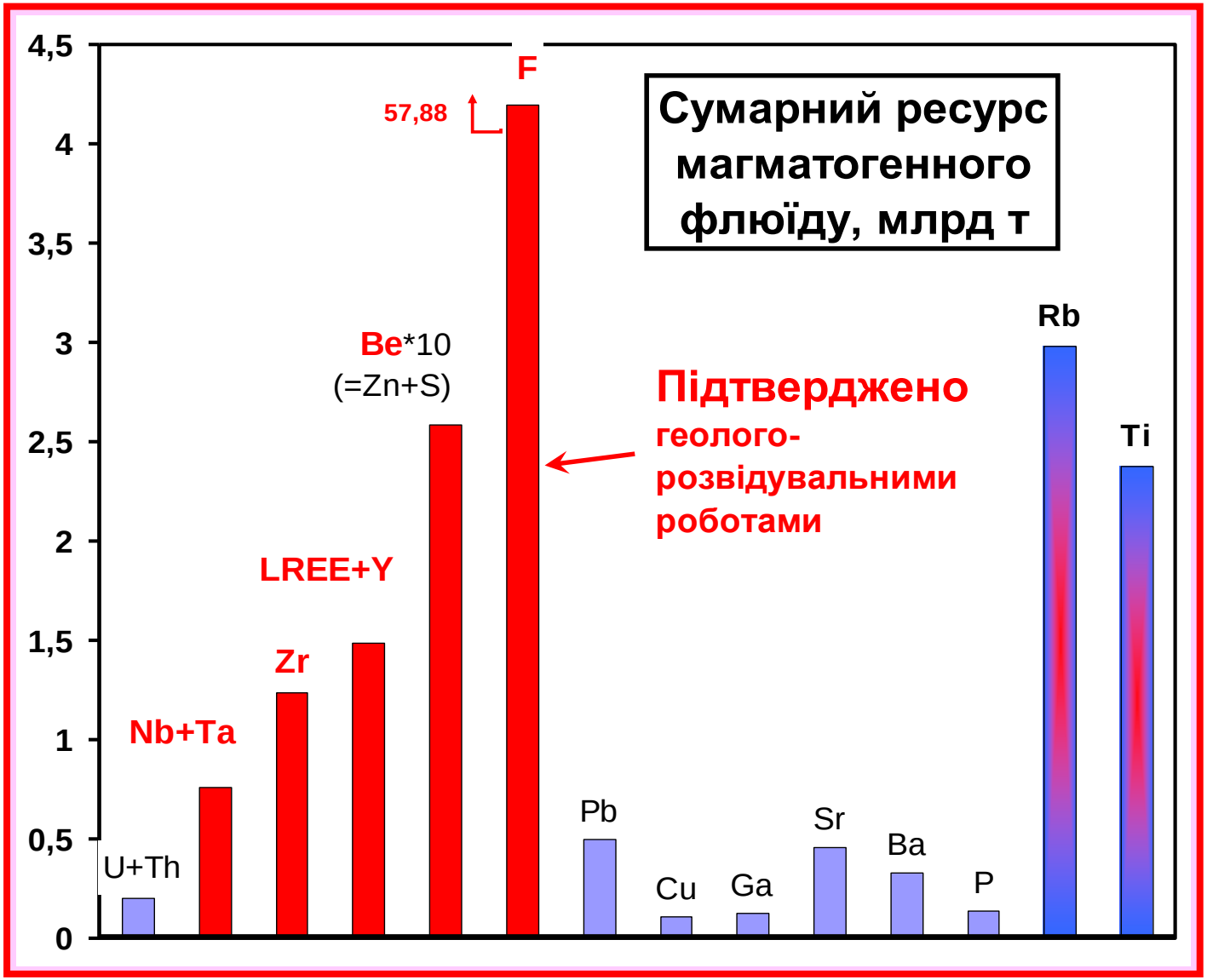


Прикладні задачі:

модельна оцінка рудогенеруючого потенціалу магматогенно-гідротермальних систем



Проведено оцінку сумарного поелементного ресурсу магматогенного флюїду (об'єму постачання елементів в магматогенно-гідротермальній системі), що базується на геохімічному моделювання материнської магматичної системи



Таким чином, створено геохімічну модель формування та функціонування рудогенеруючої магматичної/магматогенно-гідротермальної системи Коростенського плутону в межах якої:

(1) встановлено поведінку петрогенних та мікроелементів в процесі магматичної еволюції (система рівнянь);

(2) проведено оцінку фізико-хімічних умов формування і функціонування магматичної системи;

(3) розроблено методологію розрахунку модельних коефіцієнтів розподілу флюїд/розплав, що безпосередньо одержані із спостережених даних про елементний склад в петротипах магматичних комплексів і максимально прив'язані до реальних умов магматичної еволюції системи;

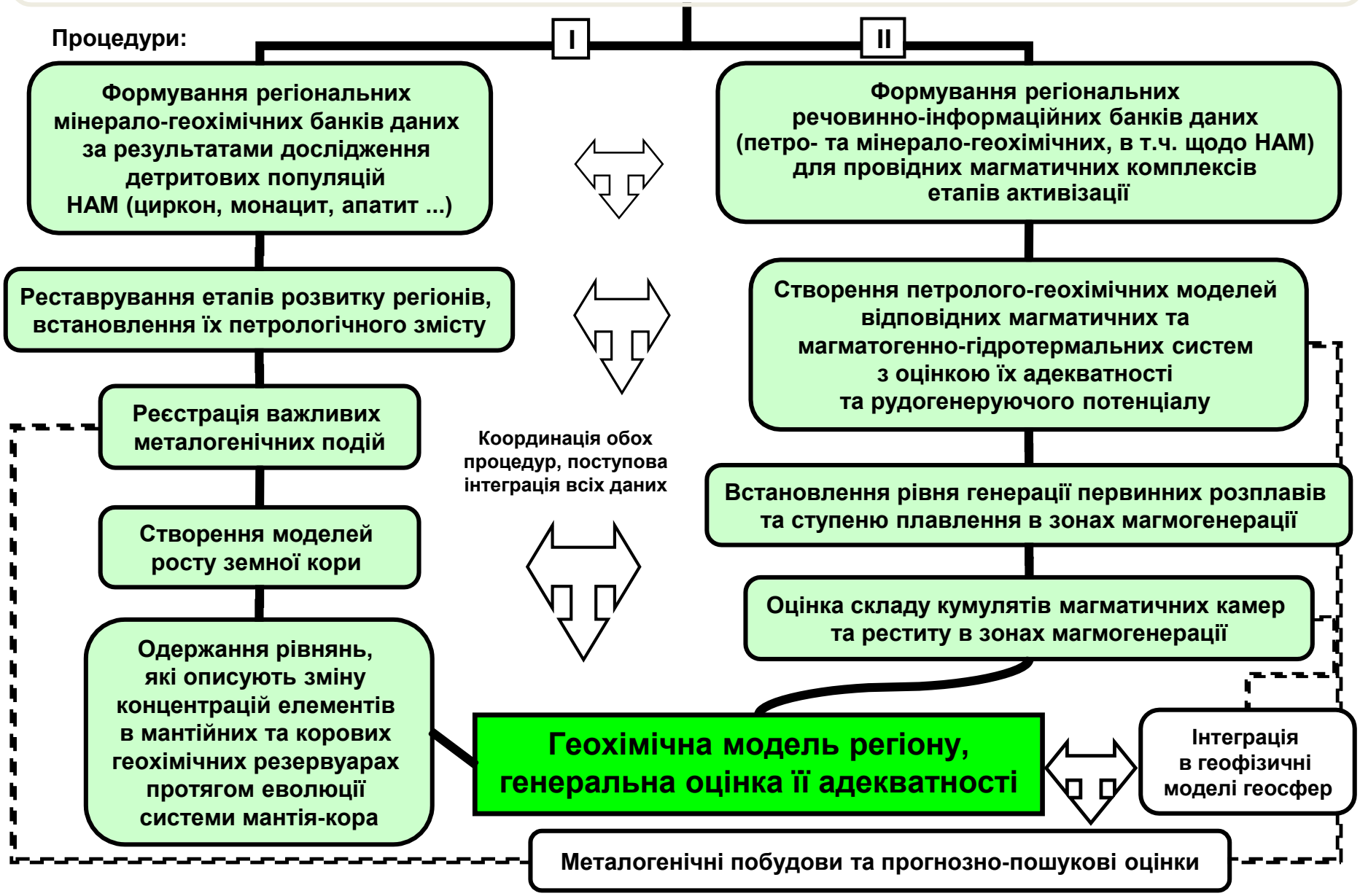
(4) проведено оцінку сумарного поелементного ресурсу магматогенного флюїду (об'єму постачання елементів в магматогенно-гідротермальну систему), що базується на геохімічному моделювання материнської магматичної системи;

(5) проведено незалежну контрольну перевірку результатів моделювання.

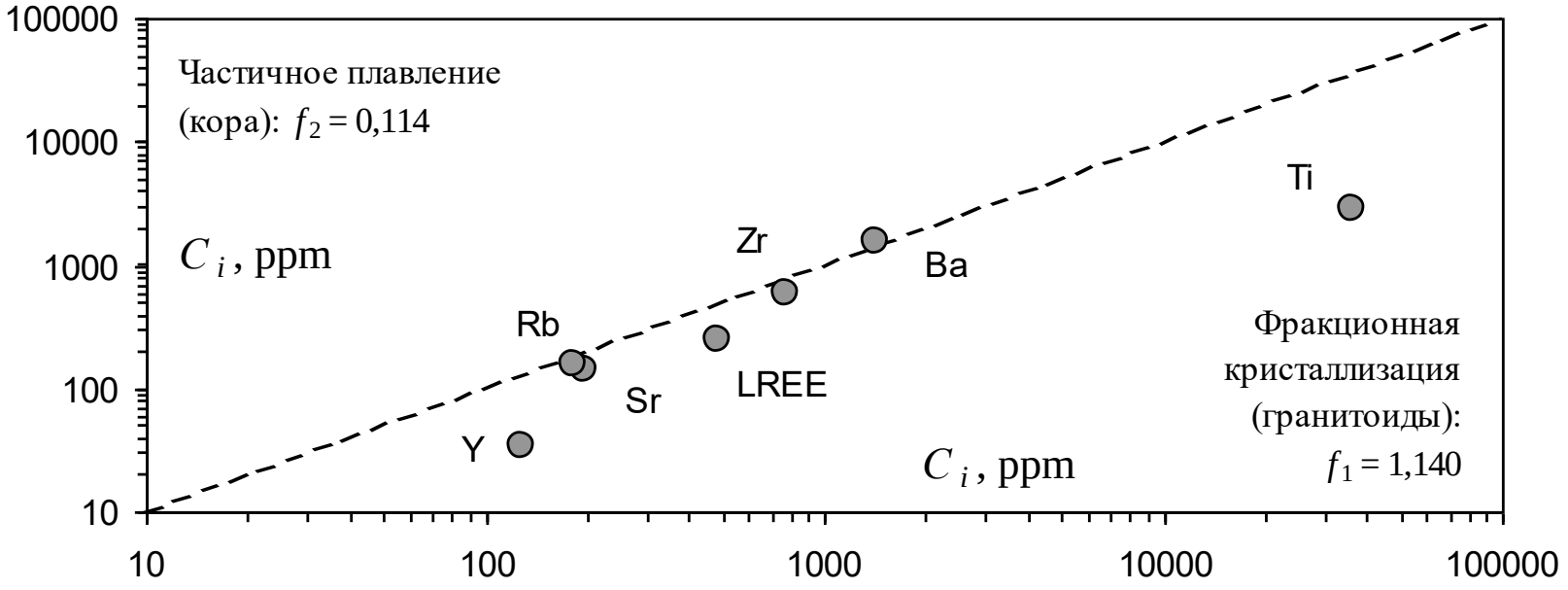
Головні результати досліджень спираються на безпосередньо спостережені за допомогою прецизійних аналітичних методів (репрезентативні дані регіонального Геологічного Депозитарію), закономірності розподілу широкого переліку хімічних елементів у провідних петротипах Коростенського плутону – продуктах функціонування відповідної магматичної/магматогенно-гідротермальної рудогенеруючої системи. Одержані фундаментальні результати, а також підхід та методологія моделювання можуть бути широко використані для міжрегіональних співставлень як у межах Украънського щита, так і за його межами на засадах широкого міжнародного співробітництва.

Можливості подальшого застосування та розвитку апробованого засобу геохімічного моделювання продемонстровані на прикладі інших геологічних об'єктів (Антарктичний півострів та вулканічна область БодіХіллз, Невада).

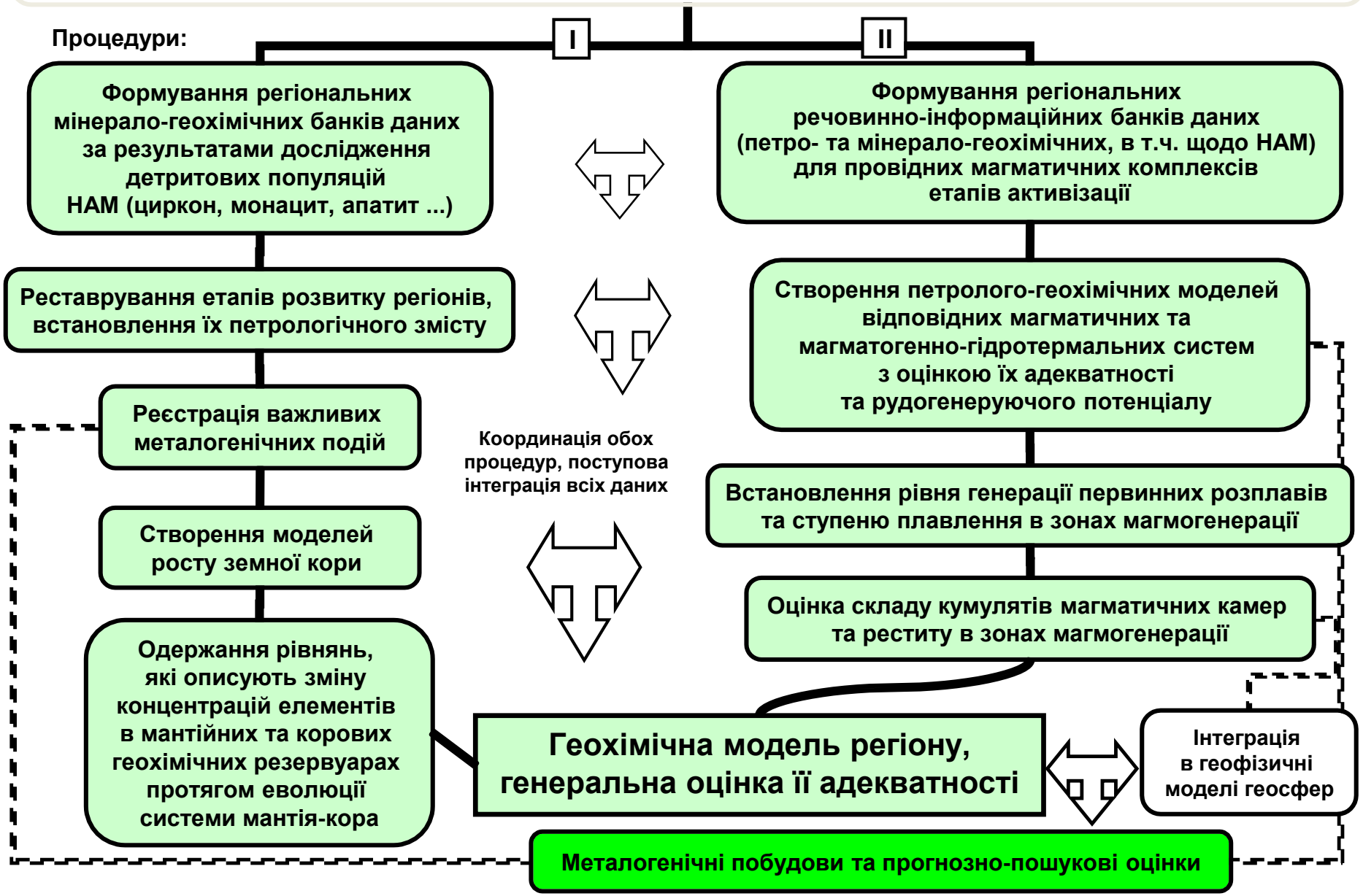
Комплексне петролого-геохімічне моделювання еволюції земної кори та магматичних систем з оцінкою їх рудогенеруючого потенціалу



Узгодженість моделей магматичної еволюції Коростенського плутону та часткового плавлення середньої кори



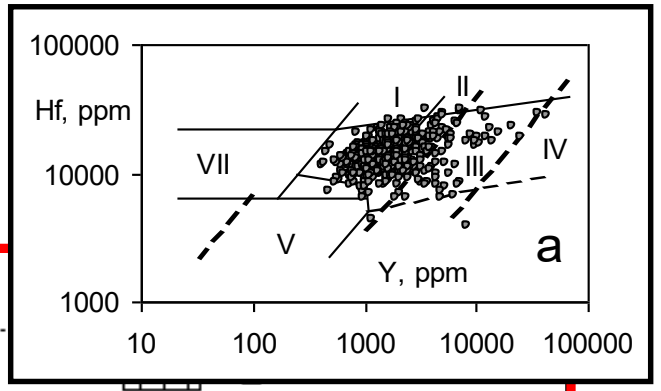
Комплексне петролого-геохімічне моделювання еволюції земної кори та магматичних систем з оцінкою їх рудогенеруючого потенціалу

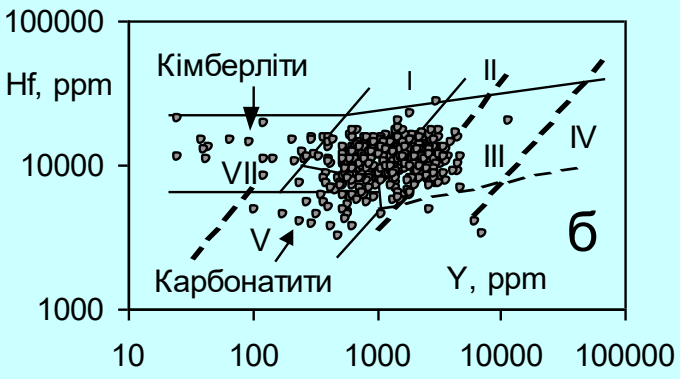


Розробка дозволяє вирішувати й актуальні прикладні задачі: пошуки родовищ алмазу, рідкісних металів, фосфатної сировини

Застосуванням даних з геохімії детритових популяцій циркону для реєстрації важливих металогенічних подій:

Приклад безперспективного регіону (а)



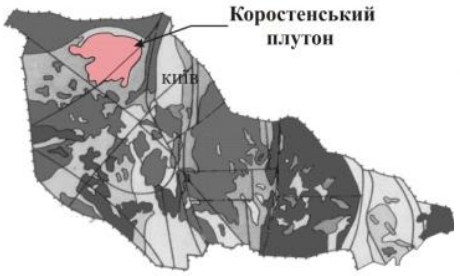


(б) перспективний регіон для пошуків родовищ алмазу !!!

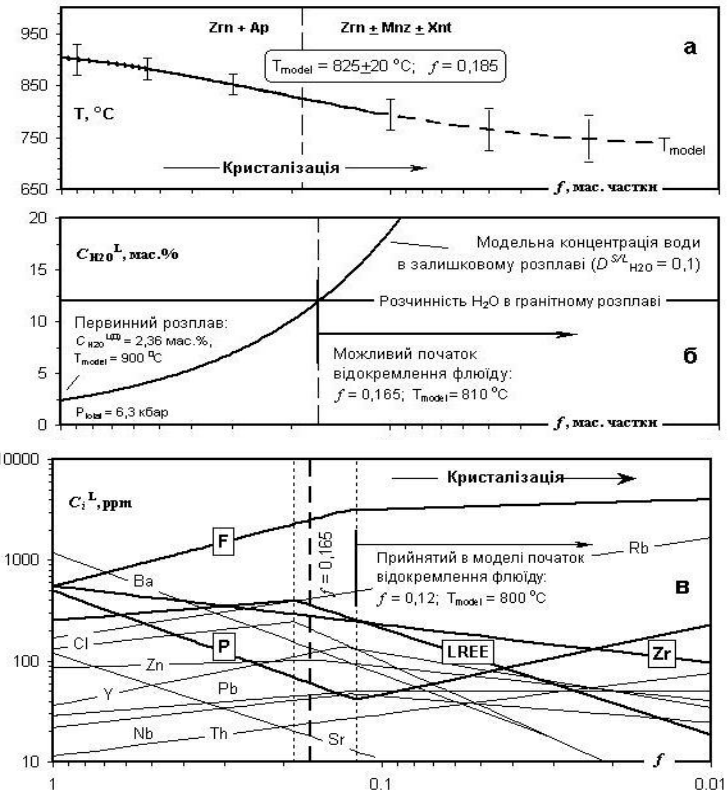
Потік розсіяння кімберлітових цирконів на шельфі Республіки Гвінея

Петролого-мінерало-геохімічна модель Коростенського плутона

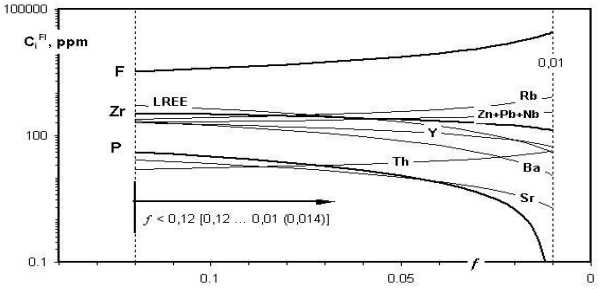
Результати:



Одержання первинних мінералого-геохімічних даних

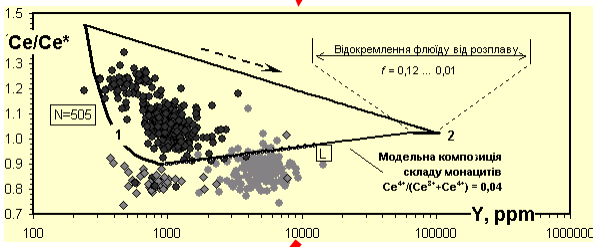


Модельна оцінка РТ-умов, флюїдного режиму та геохімічної еволюції магматичних систем



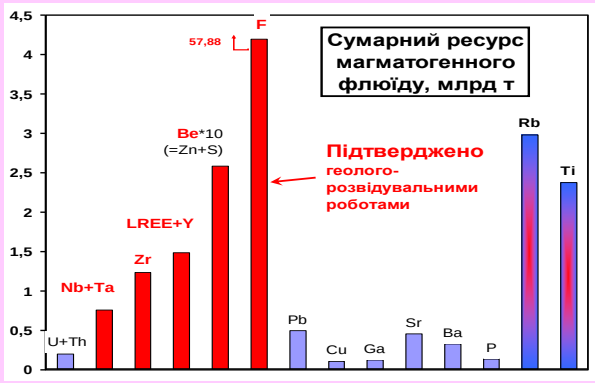
Розрахунок концентрацій елементів в магмато-генному флюїді

Перевірка адекватності моделі (порівняння розрахованих та спостережених концентрацій в рудах та їх мінералах)

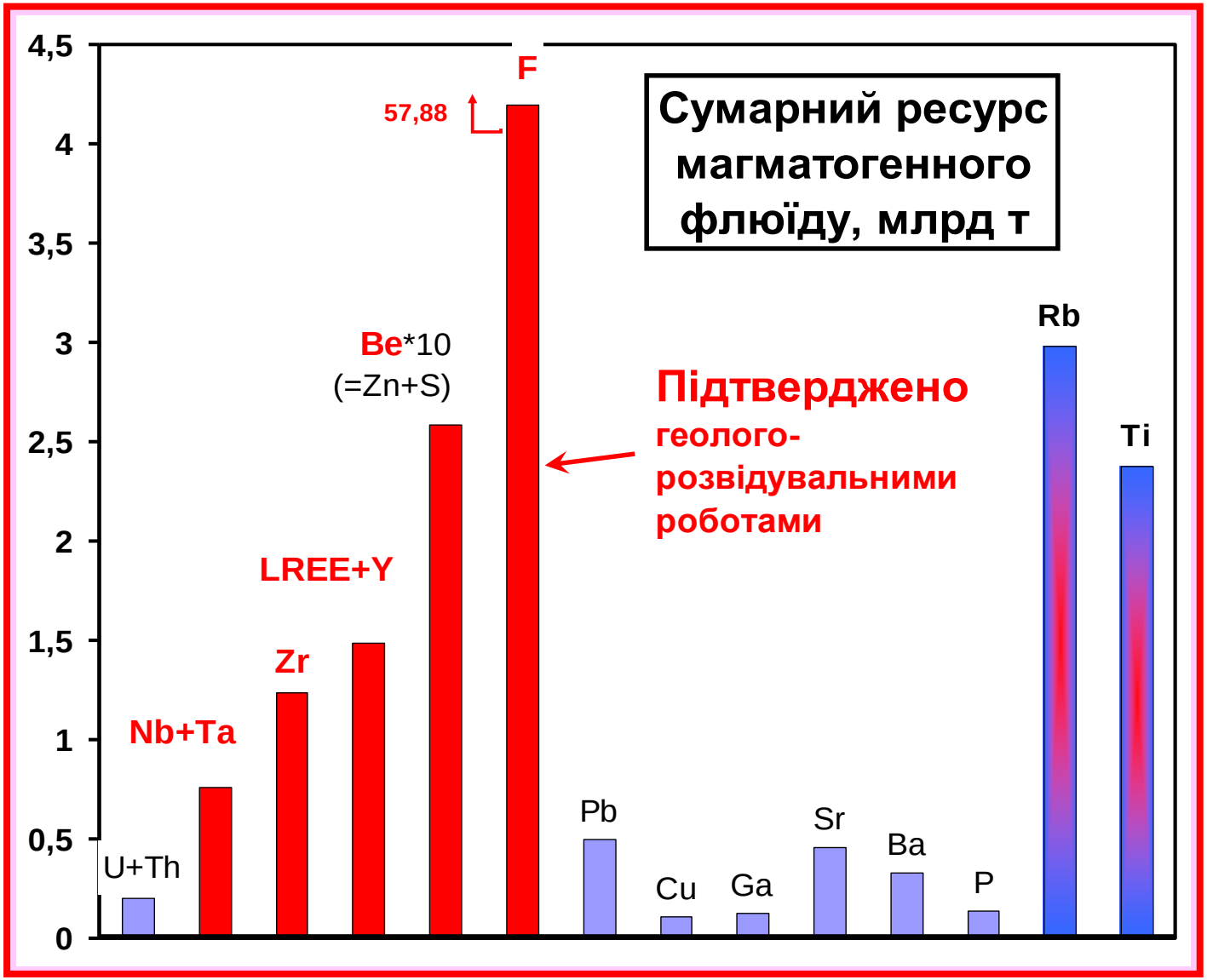


Прикладні задачі:

модельна оцінка рудогенеруючого потенціалу магматогенно-гідротермальних систем



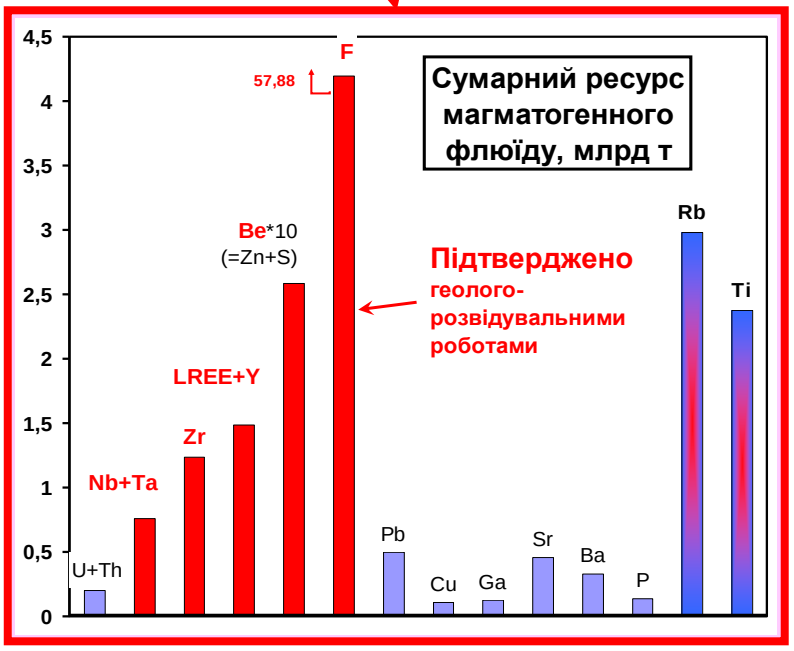
Проведено оцінку сумарного поелементного ресурсу магматогенного флюїду (об'єму постачання елементів в магматогенно-гідротермальній системі), що базується на геохімічному моделювання материнської магматичної системи

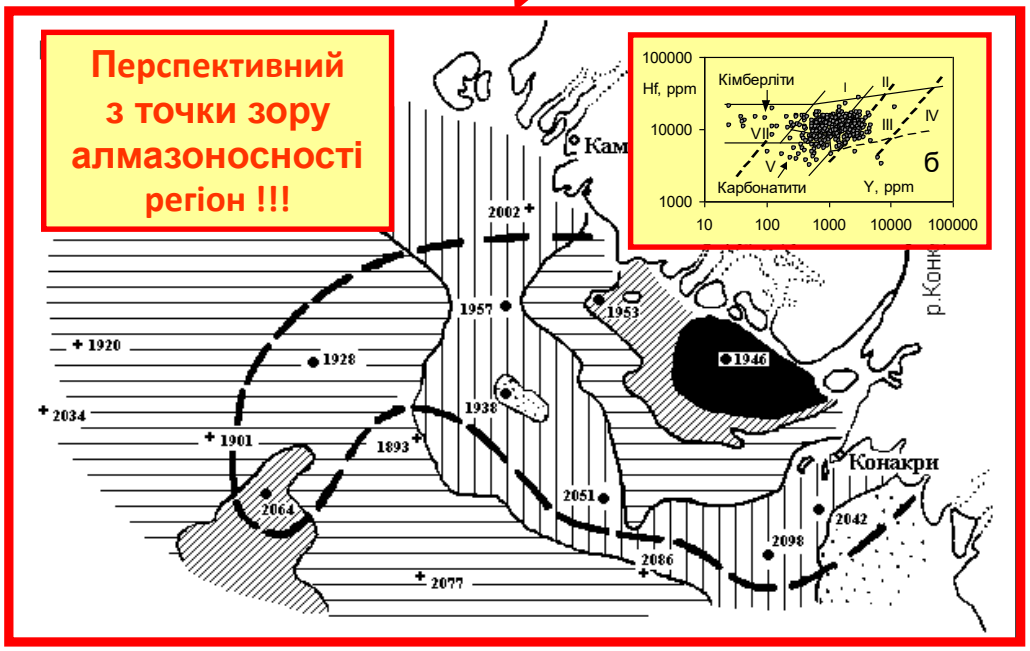


В якості кінцевого результату запропоновано принцип узгодження та комплексування геохімічних моделей розвитку блоків земної кори та відповідних магматичних і магматогенно-гідротермальних систем, який дозволяє одержувати незалежні узагальнюючі оцінки їх мінерально-сировинного потенціалу та контролювати достовірність результатів моделювання

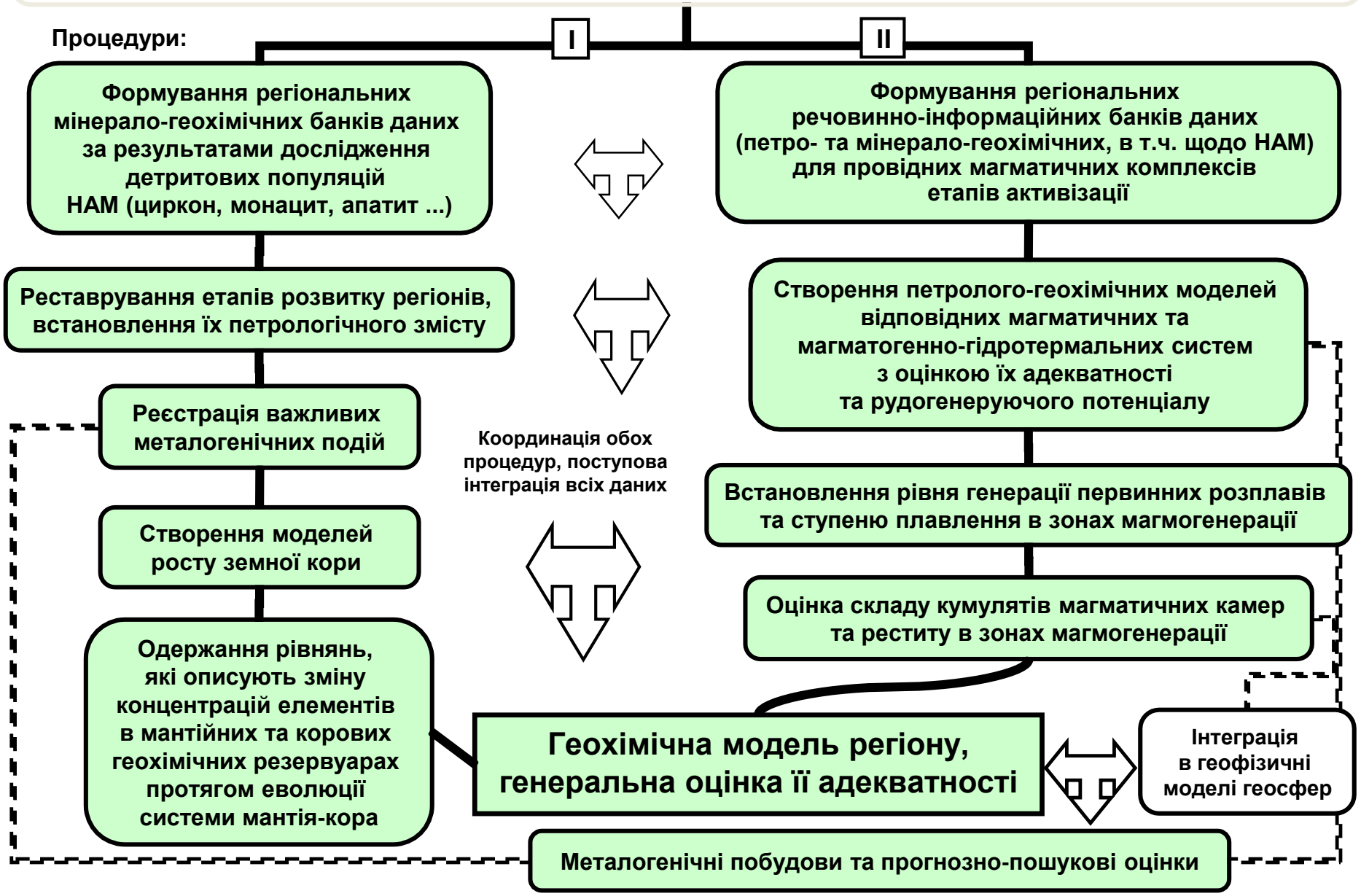
Оцінка мінерально-сировинного потенціалу магматичних систем

Оцінка мінерально-сировинного потенціалу блоків земної кори





Комплексне петролого-геохімічне моделювання еволюції земної кори та магматичних систем з оцінкою їх рудогенеруючого потенціалу



Висновки

(І) Створено геохімічну модель формування та функціонування рудогенеруючої магматичної/магматогенно-гідротермальної системи Коростенського плутону в межах якої:

1. **Встановлено поведінку петрогенних та мікроелементів в процесі магматичної еволюції (система рівнянь);**
2. **Проведено оцінку фізико-хімічних умов формування і функціонування магматичної системи.**
3. **Розроблено методологію розрахунку модельних коефіцієнтів розподілу флюїд/розплав безпосередньо із спостережених даних про елементний склад петротипів магматичних комплексів. Такі модельні оцінки максимально прив'язані до реальних умов магматичної еволюції.**
4. **Проведено оцінку сумарного поелементного ресурсу магматогенного флюїду (об'єму постачання елементів в магматогенно-гідротермальну систему), що базується на геохімічному моделювання материнської магматичної системи;**
5. **Здійсненно незалежну контрольну перевірку результатів моделювання.**

Головні результати досліджень спираються на безпосередньо спостережені за допомогою прецизійних аналітичних методів (репрезентативні дані регіонального Геологічного Депозитарію), закономірності розподілу широкого переліку хімічних елементів у провідних петротипах Коростенського плутону – продуктах функціонування відповідної магматичної/магматогенно-гідротермальної рудогенеруючої системи. Одержані фундаментальні результати, а також підхід та методологія моделювання можуть бути широко використані для міжрегіональних співставлень як у межах Українського щита, так і за його межами на засадах широкого міжнародного співробітництва.

Можливості подальшого застосування та розвитку апробованого засобу геохімічного моделювання продемонстровані на прикладі інших геологічних об'єктів (Антарктичний півострів та вулканічна область БодіХіллз, Невада).

(II) Створено геохімічну модель розвитку континентальної земної кори регіону в межах якої:

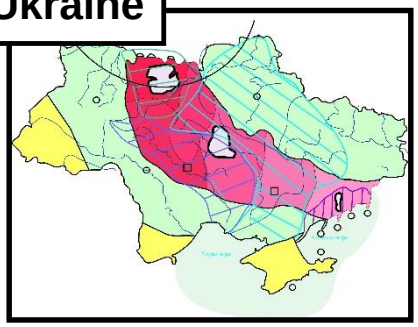
1. Встановлено, що для SiO2*, Zr* та LREE* в породних асоціаціях Українського щита (УЩ) спостерігається складний розподіл, який не узгоджується з сучасними оцінками складу нижньої, середньої та верхньої континентальної кори.
2. Продемонстровано, що розподіл SiO2*, Zr* та LREE* в сучасних відкладах та фанерозойських осадових породах з осадових басейнів периферії Українського щита (резервуари накопичення денудованої речовини верхньої кори) зумовлюється дією двох факторів: (А) осадової диференціації та (Б) осадової гомогенізації речовини.
3. Показано, що другий фактор (осадова гомогенізація) призводить до формування контрастних максимумів в розподілах SiO2*, Zr* та LREE*, що відображають композицію верхньої континентальної кори.
4. Зафіксовано здвиг максимумів відносно існуючих оцінок для верхньої континентальної кори: SiO2* - вліво, Zr* - вправо. (Для LREE* - відповідність.) Це пояснюється різною формою міграції (кварц − циркон – монацит, мінерали групи глін). Різниця в поведінці Si та Zr підкреслюється й глобальним розподілом цих елементів в почвах Європи.
5. Розроблено критерії вибору проб теригенних відкладів, які максимально репрезентативно відображають композицію верхньої континентальної кори.
6. Розроблені критерії реалізовані в геохімічному дослідженні великих популяцій детритових акцесорних мінералів (циркон, монацит), що дозволило, за допомогою спеціально розробленої та теоретично обгрунтованої методології, встановити етапи розвитку кори в регіоні та реставрувати їх петрологічний зміст.

(III) Моделі (I) та (II) узгоджені між собою, що підтверджує їх достовірність. Запропоновані засоби використання отриманих результатів в металогенічні побудовах та прогнозно-пошукових оцінках.

ОЧІКУВАННЯ	ЗДОБУТКИ
За 2018 рік	
Статей всього всього: 5	**Статей всього всього: 21**
З них: **фахових – 4** **Науком. Б. д (Scopus, WS) - 1**	**З них:** **фахових – 13** **Науком. Б. д (Scopus, WS) – 8** **У співавторстві з аспірантами - 5**
захистів канд. дис. – 1	**захистів канд.. дис. – 0**
маг. робіт - 3	**маг. робіт - 3**
	Виступів на конференціях всього – 38 **З них :** **Науком. б. д (Scopus) – 6** **У співавторстві з аспірантами – 15** **У співавторстві зі студентами - 6**
	Конференцій всього – 14 **З них:** **Міжнародні – 11** **Всеукраїнські – 3** **За межами України -2**
	Монографії - 2 (загалом близько 550 стор.)
	Розділи монографій, що опубліковані у закордонних виданнях офіційними мовами Європейського Союзу 2 (загалом 41 стор)

ОЧІКУВАННЯ	ЗДОБУТКИ
За 2016-2018 рр.	
Статей всього всього: 13	**Статей всього всього: 41**
З них: **фахових – 10** **Науком. Б. д (Scopus, WS) - 3**	**З них:** **фахових – 24** **Науком. Б. д (Scopus, WS) – 17**
	Виступів на конференціях,що реферуються Науком. б. д (Scopus) - 16
захистів канд. дис. – 2	**захистів канд. дис. – 3**
маг. робіт - 9	**маг. робіт - 9**
Монографії та (або) розділи монографій, що будуть опубліковані за темою проекту українською або рос. мовами (друкованих аркушів) - 10 д.а.	**Монографії - 2 (загалом близько 550 стор.) ≈ 40 д.а**
Монографії та (або) розділи монографій, що будуть опубліковані у закордонних виданнях офіційними мовами Європейського Союзу (друкованих аркушів) - 2 д.а.	**Розділи монографій, що опубліковані у закордонних виданнях офіційними мовами Європейського Союзу 2 (загалом 41 стор) ≈ 3,3 д.а**
Укладання господарчих договорів - 2	**Укладено 6 господарчих договорів на загальну суму – 1072,679 тис грн**

GeoDep_Ukraine



Дякую за увагу!