

Міністерство освіти і науки України  
Київський національний університет імені Тараса Шевченка  
ННІ "Інститут геології"  
Кафедра мінералогії, геохімії та петрографії

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА**  
**спеціальність 103 - Науки про Землю**  
**освітня програма "Геологія"**  
**спеціалізація "Мінералогія, геохімія та петрографія"**

ТЕМА: "Сучасна класифікація гранатів Українського щита"

Виконала

Студентка 4-го курсу

Кафедри мінералогія, геохімія та  
петрографія

Рагімова Л.В.

Науковий керівник

Доцент

Шнюков С.Є.

Робота рекомендується до захисту (протокол №10 від 18.05.2023р.)

Завідувач кафедри

Доцент

Шнюков С.Є.

Київ - 2023

## **РЕФЕРАТ**

бакалаврської кваліфікаційної роботи

**Рагімової Людмили Василівни**

на тему: «Сучасна класифікація гранатів Українського щита»

Спеціальність **103 Науки про Землю**

Робота на 49 друкованих сторінок складається з 4 розділів і містить 8 таблиць, 18 рисунків. При підготовці використовувалися матеріали з 16 літературних джерел.

### **Актуальність**

Встановлення різниці гранатів з різних типів порід, що надасть можливість виявити їх типоморфні особливості для вирішення питань умов утворення і джерела гранатів, що в свою чергу дозволить по новому розглянути генезис гранітоїдів Українського щита.

### **Мета роботи**

Систематизація гранатів Українського щита згідно останньої сучасної класифікації, затвердженої Міжнародною мінералогічною асоціацією.

### **Задачі роботи:**

1. Створення бази даних гранатів Українського щита.
2. Розрахунок стехіометричних коефіцієнтів для кожного зразка зі створеної бази даних.
3. Визначення мінального складу гранатів.
4. Встановлення в яких типах порід формувалися гранати різних видів та обрахунок їх середніх кристалохімічних формул.

### **Основний зміст**

У роботі представлена сучасна класифікація гранатів. Для роботи було створено базу даних хімічних аналізів гранатів з різних частин Українського щита, визначено їх мінальний склад та систематизовано згідно нової класифікації. Для цієї мети використовувалися програми Microsoft Excel та TriQuick.

### **Основні результати**

Результатом виконаної роботи є представлені графіки та розраховані середні кристалохімічні формули для кожного типу породи, вмічучого гранат з визначенням видів гранатів в Українському щиті.

### **Практичне значення**

Практичним значенням є створення великої бази даних гранатів та їх класифікація для подальшої оцінки умов утворення гранатів і порід, що їх вміщують.

### **Анотація**

Використовуючи різні джерела було сформовано велику базу даних хімічних аналізів гранатів з різних ділянок Українського щита. Автором було розраховано стехіометричні коефіцієнти, визначено мінальний склад для кожного зразка, виділено основні типи порід, які вміщують гранати та систематизовано види гранатів відповідно до нової класифікації у межах кожної групи порід.

**Ключові слова**

Гранати, Український щит, сучасна класифікація гранатів, стехіометричні коефіцієнти, мінали.

**Rahimova Liudmyla**

Modern classification of the garnets of the Ukrainian shield

**Abstract**

Using various sources, a large database of chemical analyzes of garnets from different areas of the Ukrainian shield was formed. The author calculated the stoichiometric coefficients, determined the mineral composition for each sample, identified the main types of garnet-hosting rocks, and classified the types of garnets according to the new classification within each rock group.

**Key words**

Garnets, Ukrainian shield, modern classification of garnets, stoichiometric coefficients, minerals.

**ЗМІСТ**

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	6
ВСТУП.....	7
1. ІСНУЮЧІ КЛАСИФІКАЦІЇ ГРАНАТІВ.....	9
1.1. Надгрупа гранатів.....	10
1.2. Власне група гранатів.....	13
1.3. Сучасна класифікація .....	16
2. ФАКТИЧНИЙ МАТЕРІАЛ.....	18
2.1. Породотвірні гранати Українського щита.....	18
2.2. Наявні аналітичні дані.....	19
3. МЕТОДИКА ОБРОБКИ ДАНИХ.....	21
3.1. Розрахунок стехіометричних коефіцієнтів.....	21
3.2. Розрахунок мінального складу.....	23
4. СУЧАСНА КЛАСИФІКАЦІЯ ГРАНАТІВ УКРАЇНСЬКОГО ЩИТА.....	25
4.1. Стехіометричні коефіцієнти.....	25
4.2. Мінальний склад.....	26
4.3. Класифікація гранатів у різних типах порід та середні кристалохімічні формули.....	27
4.3.1. Магматичні породи.....	28
4.3.2. Метаморфічні породи.....	32
ЗАКЛЮЧЕННЯ І ВИСНОВКИ.....	39
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	41
ДОДАТКИ.....	43

**ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ**

CNMMN	Комісія по новим мінералам та назвам
IMA	Міжнародна мінералогічна асоціація
УЩ	Український щит
wt%	Ваговий відсоток
A	Кальцієві гранати
Alm	Альмандин
Pyр	Піроп
Gross	Гросуляр
Andr	Андрадит
Spess	Спесартин
K	розрахунковий фактор

## ВСТУП

З 2013 року набула сили нова класифікація гранатів, яка затверджена міжнародною мінералогічною асоціацією, згідно якої гранати входять до надгрупи гранати. Це досить велика група силікатних мінералів, які мають майже ідентичну формулу з великим різноманіттям видів. Загалом, виділяють шість кінцевих членів - піроп, альмандин, grosular, спесартин, андрадит та уваровіт, однак всі гранати представляють собою твердий розчин зазвичай двох мінералів, а назва надається за переважаючим мінералом.

**Актуальність роботи.** Мінерали групи гранату є важливими мінералами у складі метаморфічних та гранітоїдних порід у межах Українського щита (УЩ). Їхні парагенезиси та склад є індикаторами фацій, субфацій у метаморфічних породах, а їх хімічний склад є типоморфною ознакою для виділення генетичних груп та відновлення геохімічної обстановки гранітоутворення. Тому, зважаючи на затвердження нової класифікації, актуальність роботи полягає у систематизації гранатів, адже їх склад в мономінеральних парагенезисах, типоморфні особливості хімічного складу, аналіз парагенезисів є одними з методів оцінки умов утворення гранатів і порід, що їх вміщують.

**Мета роботи** - систематизувати гранати Українського щита згідно останньої сучасної класифікації, затвердженої Міжнародною мінералогічною асоціацією.

### **Задачі роботи:**

1. Створити базу даних гранатів Українського щита.
2. Розрахувати стехіометричні коефіцієнти для кожного зразка зі створеної бази даних.

3. Визначити мінальний склад гранатів.

4. Встановити в яких типах порід формувалися гранати різних видів та обрахувати їх середні кристалохімічні формули.

**Об'єктом дослідження** є гранати Українського щита.

**Предмет дослідження** - типоморфізм хімічного складу гранатів щодо типів вміщуючих порід.

## 1. ІСНУЮЧІ КЛАСИФІКАЦІЇ ГРАНАТІВ

З 3 квітня 2013 року CNMMN-IMA затверджена нова класифікація гранатів, згідно якої гранати входять до надгрупи гранатів [3]. Нова класифікація за систематикою мінералів закріплює рівень підгрупи чи ряду за мінералами гомологічного чи полісоматичного ряду [11].

До 2013 року поділ відбувався головним чином на дві підгрупи, перш за все, зважаючи на катіони, що займають позицію X та Z, а загальна формула мала наступний вигляд [3]:



Перша підгрупа гранатів - *піральспіти*, що мають на позиції X= Mg, Fe<sup>2+</sup>, Mn; Z= Al [15]. До другої відносили мінерали з Ca на позиції X – *уграндити* [15]. Усі члени двох груп наведені у *табл. 1*. Кінцевими членами серед піральспітів є піроп, альмандин, спесартин, а уграндитів - grosular, андрадит та уваровіт.

*Табл. 1 Назва та формула мінералів підгруп піральспітів та уграндитів [14,15].*

піральспіти		уграндити	
назва	формула	назва	формула
Піроп	Mg <sub>3</sub> Al <sub>2</sub> [SiO <sub>4</sub> ] <sub>3</sub>	Уваровіт	Ca <sub>3</sub> Cr <sub>2</sub> [SiO <sub>4</sub> ] <sub>3</sub>
Альмандин	Fe <sub>3</sub> Al <sub>2</sub> [SiO <sub>4</sub> ] <sub>3</sub>	Гросуляр	Ca <sub>3</sub> Al <sub>2</sub> [SiO <sub>4</sub> ] <sub>3</sub>
Спесартин	Mn <sub>3</sub> Al <sub>2</sub> [SiO <sub>4</sub> ] <sub>3</sub>	Андрадит	Ca <sub>3</sub> Fe <sub>2</sub> [SiO <sub>4</sub> ] <sub>3</sub>
Меджорит	Mg <sub>3</sub> (Fe,Al,Si) <sub>2</sub> [SiO <sub>4</sub> ] <sub>3</sub>	Шорломіт	Ca <sub>3</sub> Ti <sub>2</sub> [(Fe <sup>3+</sup> Si) <sub>3</sub> O <sub>12</sub> ]

Продовження табл. 1.

піральспіти		уграндити	
назва	формула	назва	формула
Кальтерит	$(\text{Mn}^{2+}, \text{Ca})_3(\text{Fe}^{3+}, \text{Al})_2[\text{SiO}_4]_3$	Кимцерит	$\text{Ca}_3(\text{Zr}, \text{Ti})_2[(\text{Si}, \text{Al}, \text{Fe}^{3+})_3\text{O}_{12}]$
		Голдманіт	$\text{Ca}_3(\text{V}, \text{Al}, \text{Fe}^{3+})_2[\text{SiO}_4]_3$
		Гібшит	$\text{Ca}_3\text{Al}_2[\text{SiO}_4]_{3-x}(\text{OH})_{4x}$
		Катоїт	$\text{Ca}_3\text{Al}_2[\text{SiO}_4]_{3-x}(\text{OH})_{4x}$

Суттєвих змін група гранатів зазнала перш за все через вилучення застарілої піральспіт-уграндитової класифікації, вилучення гібшиту (був дискредитований як назва мінералу в користь grosularu, адже Si переважає на позиції Т) катоїту, додаванні нових мінералів як менцерит, ерингіт, момоїт та кноррінгіт. Шорломіт та катоїт у сучасній класифікації перестали входити до власне гранатів, так шорломіт входить в групу з однойменною назвою (**табл. 1.1**) назвою, а катоїт не входить до жодної, як видно на **табл. 1.1**. Зміни у хімічній формулі наявні лише у написанні, однак вони не є суттєвими.

### 1.1. Надгрупа гранатів

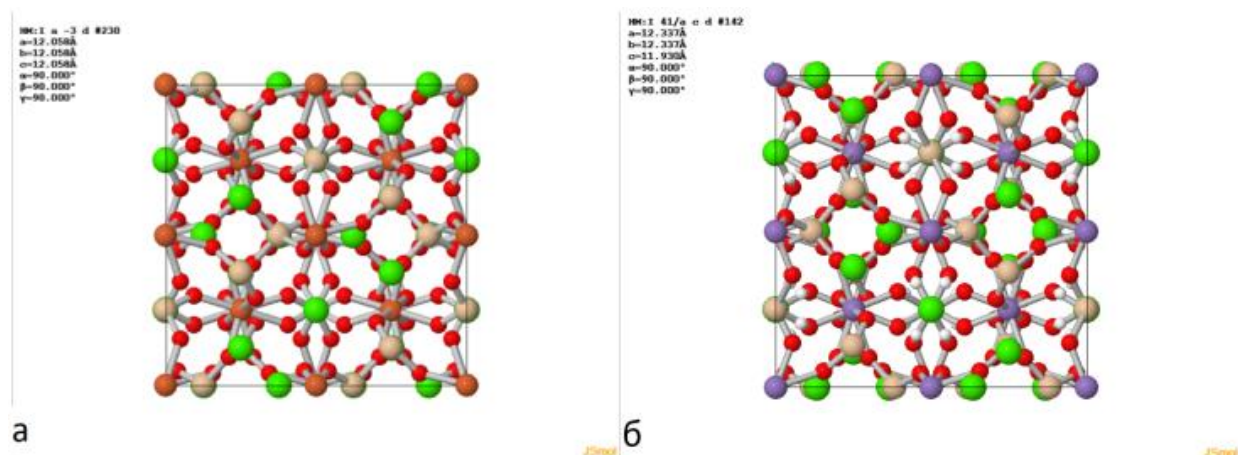
Надгрупа гранатів, яка була затверджена IMA у 2013 році є досить великою та включає всі мінерали, ізоструктурні гранату, незалежно від того, які елементи займають чотири атомні позицій. Наразі, згідно нової класифікації прийнято 32 види мінералів даної групи, а ще 5 ймовірних потребують більшого вивчення для остаточного затвердження [12].

Загальна формула для мінералів даної групи:



де на додекаїдричній позиції X можуть бути такі елементи, як Ca, Fe<sup>2+</sup>, Na, Mg, Mn<sup>2+</sup>, однак, в деяких випадках, на можуть бути присутні два елементи - Y<sub>2</sub>Ca для мензеріту, та Ca<sub>2</sub>Na для мінералів групи берзелііту [12]. На октаедричній позиції Z - Al, Mn<sup>3+</sup>, Cr, Fe<sup>3+</sup>, Te<sup>6+</sup>, Zr, Mg, Ti, Sc, Sn<sup>4+</sup>, а два елементи у даній позиції присутні тільки у групи бітіклеїту, та у марджориту та морімотоїту (група гранатів). На тетраедричній позиції T - Si, Al, V, As,. На останній позиції ф - O, OH, F [12,16].

Представники даної надгрупи кристалізуються в кубічній сингонії (окрім мінералів генрітермієрит і гольтстаміт, які мають тетрагональну симетрію та просторову групу I4<sub>1</sub>/acd) та мають просторову групу Ia3d (**рис. 1.1.1**) [16].



**Рис. 1.1.1** (а) кристалічна структура надгрупи гранатів, (б) кристалічна структура гольтстаміту [16].

Загалом, двадцять дев'ять з тридцяти двох затверджених видів поділяють на п'ять груп, зважаючи на загальний заряд катіонів на тетраедричній позиції (Т) (**табл. 1.1**), де у катюїту - 0, кріолтіоніту - 3, яфсоаніту - 6, мінералів групи бітіклеїту - 9, шорломіту - 10, гранату - 12, і берзеїліту – 15 [12]. У **табл. 1** види перераховані як кінцеві члени зі збільшенням атомного номера Т-позиції, потім - збільшення атомного номеру позиції Z, та збільшення

атомного номеру позиції X відповідно [12].

Табл. 1.1 Класифікація 32 затверджених видів мінералів групи гранат [12].

Група	Назва виду	клас	X	Z	T	φ
	Катоїт	гідроксид	Ca <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub>	o	(OH) <sub>12</sub>
	Кріолтїонїт	галогенїд	Na <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub>	Li <sub>3</sub>	F <sub>12</sub>
	Яфсоанїт	оксид	Ca <sub>3</sub>	Te <sup>6+</sup> <sub>2</sub>	Zn <sub>3</sub>	O <sub>12</sub>
Генрїтерміє рїт	Гольтстамїт	силїкат	Ca <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub>	Si <sub>2</sub>   o	O <sub>8</sub> (OH)
	Генрїтермієрїт		Ca <sub>3</sub>	Mn <sup>3+</sup> <sub>2</sub>	Si <sub>2</sub>   o	O <sub>8</sub> (OH) <sub>4</sub>
Бїтїклеїт	Бїтїклеїт	оксид	Ca <sub>3</sub>	Sb <sup>5+</sup> Sn <sup>4+</sup>	Al <sub>3</sub>	O <sub>12</sub>
	Устуриг		Ca <sub>3</sub>	Sb <sup>5+</sup> Zr	Fe <sup>3+</sup> <sub>3</sub>	O <sub>12</sub>
	Джулуїт		Ca <sub>3</sub>	Sb <sup>5+</sup> Sn <sup>4+</sup>	Fe <sup>3+</sup> <sub>3</sub>	O <sub>12</sub>
	Ельбрузит		Ca <sub>3</sub>	U <sup>6+</sup> <sub>0,5</sub> Zr <sub>1,5</sub>	Fe <sup>3+</sup> <sub>3</sub>	O <sub>12</sub>
Шорломїт	Кїмзеїт	силїкат	Ca <sub>3</sub>	Zr <sub>2</sub>	SiAl <sub>2</sub>	O <sub>12</sub>
	Іринарасит		Ca <sub>3</sub>	Sn <sup>4+</sup> <sub>2</sub>	SiAl <sub>2</sub>	O <sub>12</sub>
	Шорломїт		Ca <sub>3</sub>	Ti <sub>2</sub>	SiFe <sup>3+</sup> <sub>2</sub>	O <sub>12</sub>
	Керїмазит		Ca <sub>3</sub>	Zr <sub>2</sub>	SiFe <sup>3+</sup> <sub>2</sub>	O <sub>12</sub>
	Тотурит		Ca <sub>3</sub>	Sn <sup>4+</sup> <sub>2</sub>	SiFe <sup>3+</sup> <sub>2</sub>	O <sub>12</sub>
Гранат	Менцерит (Y)	силїкат	Y <sub>2</sub> Ca	Mg <sub>2</sub>	Si <sub>3</sub>	O <sub>12</sub>
	Пїроп		Mg <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub>	Si <sub>3</sub>	O <sub>12</sub>
	Гросуляр		Ca <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub>	Si <sub>3</sub>	O <sub>12</sub>
	Спесартин		Mn <sup>2+</sup> <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub>	Si <sub>3</sub>	O <sub>12</sub>
	Альмандин		Fe <sup>2+</sup> <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub>	Si <sub>3</sub>	O <sub>12</sub>

Продовження табл. 1.1.

Група	Назва виду	клас	X	Z	T	$\phi$
Гранат	Ерингіт		Ca <sub>3</sub>	Sc <sub>2</sub>	Si <sub>3</sub>	O <sub>12</sub>
	Голдманіт		Ca <sub>3</sub>	V <sup>3+</sup> <sub>2</sub>	Si <sub>3</sub>	O <sub>12</sub>
	Момоїт		Mn <sup>2+</sup> <sub>3</sub>	V <sup>3+</sup> <sub>2</sub>	Si <sub>3</sub>	O <sub>12</sub>
	Кноррінгіт		Mg <sub>3</sub>	Cr <sup>3+</sup> <sub>2</sub>	Si <sub>3</sub>	O <sub>12</sub>
	Уваровіт	силікат	Ca <sub>3</sub>	Cr <sup>3+</sup> <sub>2</sub>	Si <sub>3</sub>	O <sub>12</sub>
	Андрадит		Ca <sub>3</sub>	Fe <sup>3+</sup> <sub>2</sub>	Si <sub>3</sub>	O <sub>12</sub>
	Кальдерит		Mn <sup>2+</sup> <sub>3</sub>	Fe <sup>3+</sup> <sub>2</sub>	Si <sub>3</sub>	O <sub>12</sub>
	Марджорит		Mg <sub>3</sub>	SiMg	Si <sub>3</sub>	O <sub>12</sub>
	Морімотоїт		Ca <sub>3</sub>	TiFe <sup>2+</sup>	Si <sub>3</sub>	O <sub>12</sub>
Берзеліт	Шеферит		Ca <sub>2</sub> Na	Mg <sub>2</sub>	V <sup>5+</sup> <sub>3</sub>	O <sub>12</sub>
	Паленціонаїт	ванадат,	Ca <sub>2</sub> Na	Mn <sup>2+</sup> <sub>2</sub>	V <sup>5+</sup> <sub>3</sub>	O <sub>12</sub>
	Берцеліт	арсенат	Ca <sub>2</sub> Na	Mg <sub>2</sub>	As <sup>5+</sup> <sub>3</sub>	O <sub>12</sub>
	Манганберцеїліт		Ca <sub>2</sub> Na	Mn <sup>2+</sup> <sub>2</sub>	As <sup>5+</sup> <sub>3</sub>	O <sub>12</sub>

Наведений вище поділ мінералів цієї надгрупи затверджений найновішою класифікацією IMA. У даній роботі буде розглянуто лише мінерали, що входять до групи гранатів.

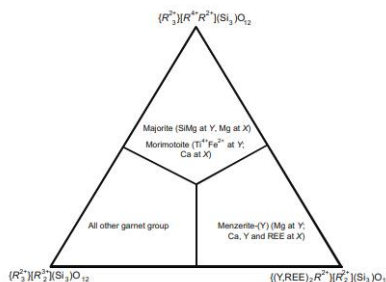
## 1.2. Власне група гранатів

Група гранатів є найбільшою серед інших в надгрупі та охоплює 14 видів з 32 класифікованих. Це мінерали, які відносяться до острівних кубічних силікатів, та, на відміну від загальної формули усієї надгрупи, мають наступну [3,12]:



де  $X = \text{Ca}, \text{Fe}^{2+}, \text{Mg}, \text{Mn}^{2+}$ ;  $Z = \text{Al}, \text{Cr}^{3+}, \text{Fe}^{3+}, \text{Mn}^{3+}, \text{Si}, \text{Ti}, \text{V}^{3+}$  [3].

Гетеровалентні заміщення охоплюють лише позиції Z або X і Z. Так, на **рис. 1.2.1** проілюстрований поділ мінералів даної групи в залежності від валентності катіонів Z-позиції, де  $R^{2+}$  = мензерит,  $R^{3+}$  = відомі силікатні гранати,  $R^{2+}R^{4+}$  = мажорит, морімотоїт [12].



**Рис. 1.2.1** Діаграма видів мінералів групи гранатів в залежності від валентності катіонів Z-позиції [12].

Найпоширеніші мінерали цієї групи пов'язані з одновалентним заміщенням в позиціях X та Z, тобто  $\{R^{2+}_3\}[R^{3+}_2]$ . Так як лише чотири компоненти:  $\text{Ca}, \text{Fe}^{2+}, \text{Mg}, \text{Mn}^{2+}$  займають позицію X, то варіації можна зобразити у вигляді тетраедра з даними елементами на вершинах (**рис. 1.2.2a**). Гранати, з одним з даних катіонів, який домінує на місці тетраедра, показані лініями. На **рис. 1.2.2b** та **1.2.2c** зображено композиції, що спроектовані з вершин Mn та Ca відповідно [12].

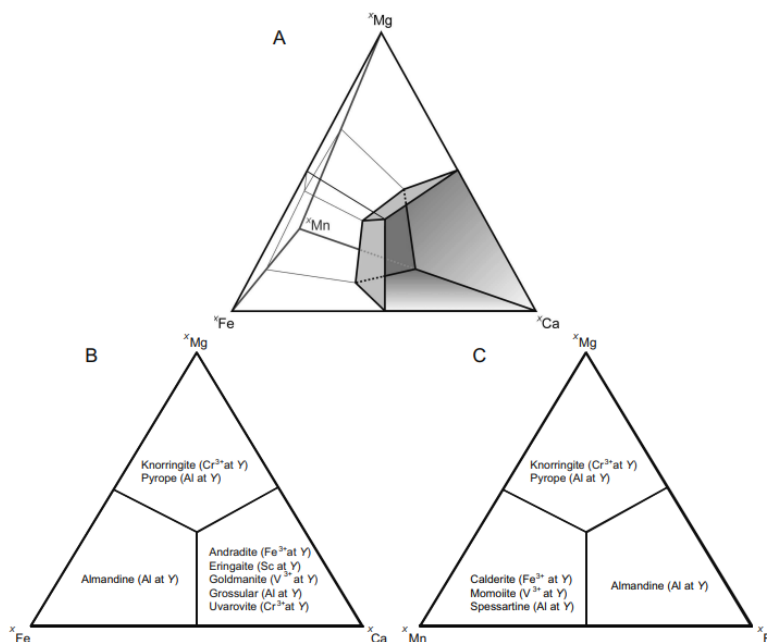


Рис. 1.2.2 (а) тетраедр, що ілюструє поділ у групі гранатів на основі X позиції; (б) проекція вершини Ca на ліву грань для розрізнення видів; (с) проекція вершини Mn на передню грань для розрізнення видів [12].

Наведені вище елементи, що займають позиції X та Z можуть бути присутніми у різних співвідношеннях. Зазвичай, це тверді розчини, в яких переважають два мінали, а інші складають 10-20 молекулярних відсотки (рис. 1.2.3) [3].

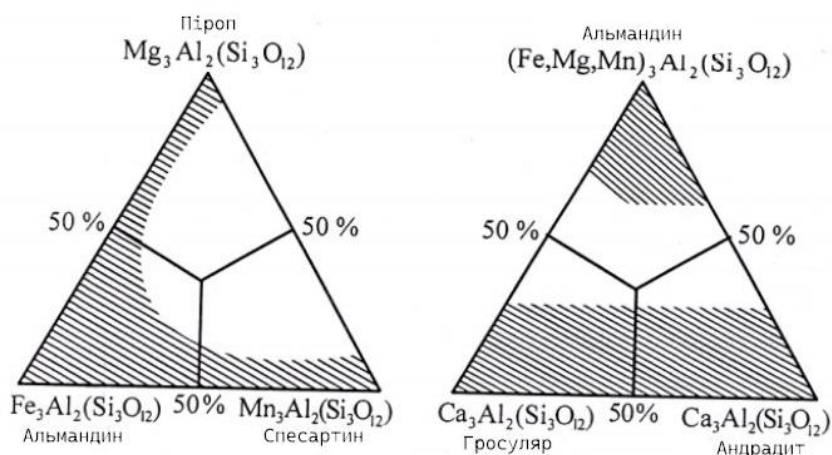


Рис. 1.2.3 Склад деяких гранатів (заштриховані) [3].

Так, в межах зміни хімічного складу гранатів їх кристалохімічна структура залишається незмінною, якщо не брати до уваги зміну симетричності структури, варіації у кількості атомів хрому, заліза, алюмінію, за рахунок яких не суттєво змінюється деяка міжплощинна відстань, також в деяких випадках присутнє зміщення окремих атомів [3].

### 1.3. Сучасна класифікація

Класифікація та номенклатура гранатів заснована на загальній формулі надгрупи гранатів (1.1). Де, як вже зазначалося, на позиції X наявні елементи в додекаедричній позиції, Y - октаедричній, Z - тетраедричній.

Так, у **табл. 1.3** та **табл. 1.1** відображені всі члени цієї групи, на першій винесені позиції X, Z, T, та елемент чи елементи, які займають відповідну позицію, а у другій - загальна хімічна формула та назва. Класифікація гранатів у **табл 1.1** наведена відповідно до класифікації ІМА.

Табл. 1.3 Хімічна формула та назва всіх членів групи гранатів [12].

мінерал	формула	мінерал	формула
Менцерит (Y)	$\{CaY_2\}[Mg_2](Si_3)O_{12}$	Момоїт	$(Mn^{2+}, Ca)_3(V^{3+}, Al)_2Si_3O_{12}$
Піроп	$Mg_3Al_2(SiO_4)_3$	Кноррінгіт	$Mg_3Cr_2(SiO_4)_3$
Гросуляр	$Ca_3Al_2(SiO_4)_3$	Уваровіт	$Ca_3Cr_2(SiO_4)_3$
Спесартин	$(Mn^{2+})_3Al_2(SiO_4)_3$	Андрадит	$Ca_3(Fe^{3+})_2(SiO_4)_3$
Альмандин	$(Fe^{2+})_3Al_2(SiO_4)_3$	Кальтдерит	$(Mn^{2+})_3(Fe^{3+})_2(SiO_4)_3$
Ерингіт	$Ca_3Sc_2(SiO_4)_3$	Меджорит	$Mg_3(Fe^{2+}, Si)_2(SiO_4)_3$
Голдманіт	$Ca_3(V^{3+})_2(SiO_4)_3$	Морімотоїт	$Ca_3(Ti, Fe^{2+}, Fe^{3+})_2(Si, Fe^{3+})_3O_{12}$

Однак, оскільки класифікація є відносно новою, а опрацьована література та розрахунки у практичній роботі засновані на старій класифікації,

у даній роботі будуть застосовані поняття “піральспіти” та “уграндити” згідно **табл. 1**. Чи суттєво впливає на класифікацію гранатів УЩ нова класифікація буде висвітлено у висновках.

## 2. ФАКТИЧНИЙ МАТЕРІАЛ

### 2.1. Породотвірні гранати Українського щита

В межах Українського щита мінерали групи гранатів є характерними здебільшого для метаморфічних порід, які бідні кальцієм, а також залізистих порід та деяких гранітоїдів. Набагато рідше гранати наявні у складі metabазитів та вапняково-силікатних породах. Також в межах УЩ наявні тільки декілька парагенетичних типів з відомих [10].

Гранати входять до складу бідних СаО метаморфічних порід центральної частини УЩ та зустрічаються у всіх метаморфічних зонах. Вони досить різноманітні та важливіші у петрографічному сенсі ніж гранати в гранітоїдах. Загалом, вони входять у склад метаморфізованих осадово-вулканогенних утворень міжблокових синклінальних товщ нижнього протерозою, які залягають на архейських гранітоїдах. Насамперед, це гранати піральспітового ряду [1,10].

Досить притаманним є гранат для залізистих порід, збагачених  $Al_2O_3$ , для гранат-хлоритової субфації і високотемпературних залізистих порід незалежно від вмісту СаО, окрім порід зеленосланцевої фації (загалом, майже відсутні аналізи даного мінералу у цій фації). Також дуже типовим є для гнейсів гранулітової фації, бідної СаО з гіперстеном, силіманітом, кордієритом чи. Дуже поширеними є гранат-біотитові та гранаті-біотит-силіманінові гнейси амфіболітової фації [10].

Гранат-вмісні породи, які представлені зокрема гранатами піральспітового ряду (до 80%), поширені в межах Української докембрійської залізорудної провінції, з них:

1. Хлорит-вмісні залізисті породи - Криворізький, Сурський, Білозерський, Чертомликський Кременчузький райони.

2. Гранат-кунінгонітові залізисті породи - Кременчузький, Конкський, Криворізький, Правобережний райони, Орехово-Павлоградській зоні.

3. Гранат-гіперстенові залізисті породи - Середнє Побужжя, Білоцерківський, Корсакський, Мангушський та Правобережний райони [1,10].

Також, важливими з точки зору вмісту гранатів є пегматити та жильні апліто-пегматоїдні граніти, які широко поширені в межах УЩ [10].

Для гранітоїдів гранат є досить рідкісним мінералом та майже відсутній окрім як для порід, бідних СаО гранулітової та амфіболової фації. Майже відсутній також у metabazитах, а в рідкісних гранат-вмісних metabazитах він має пізні походження, розвивається за рахунок піроксенів та плагіоклазу [10].

## 2.2. Наявні аналітичні дані

В якості аналітичних даних для даної роботи виступають 509 зразків. Було опрацьовано ряд джерел та сформовано базу з хімічними аналізами:

350 (1-350 порядковий номер) аналізів взято з книги «Породообразующие гранаты Украинского щита» [10].

17 аналізів (351-366 порядковий номер) взяті з книги «Минералы карбонатных пород Украинского щита» [9].

29 аналізів (367-395 порядковий номер) взято з книги «Минералогия Приазовья» [8].

94 аналізи (396-489 порядковий номер) взято з книги «Минералогия Криворожского бассейна» [7].

10 аналізів (490-499 порядковий номер) взято з книги «Метасоматиты центральной части Украинского щита» [5].

1 аналіз (500 порядковий номер) взято з «Петрологія, геохімія і рудоносність інтрузивних гранітоїдів Українського щита» [4].

2 аналізи (501-502 порядковий номер) взято з «Петрологія щелочних порід Українського щита.» [6].

1 аналізів (503-509 порядковий номер) взято з «Петрологія Українського щита» [11].

### 3. МЕТОДИКА ОБРОБКИ ДАНИХ

Для вивчення хімічного складу мінералів та подальшого аналізу зазвичай використовують традиційні хімічні способи, однак застосовують і різні експресні методи. Результати аналізів подаються у вигляді вагових відсотків (**wt%**) окислів, які входять до складу певного зразку [3].

Хімічна формула мінералу визначає його кристалохімічну структуру та природу, його хімічний склад. Хімічна формула є сталою для мінералів, а ваговий відсоток навпаки, і змінюється в певному діапазоні від одного зразку до іншого, в залежності від ізоморфних заміщень в першу чергу [3].

Вихідні дані потребують подальшої обробки, тому практична частина буде базуватися на наступній методиці обробки даних [2,3].

Перед безпосереднім розрахунком стехіометричних коефіцієнтів та мінального складу первинні дані редагуються. Спочатку вилучаються компоненти та елементи, які не є інформативними (їх значення нульові або “не визначені” під час проведення хімічного складу). Такими елементами у подальшій роботі будуть виступати S, SO<sub>3</sub>, F, Cl, H<sub>2</sub>O<sub>гир</sub>, H<sub>2</sub>O<sup>+</sup>, H<sub>2</sub>O<sup>-</sup>, LOI. Після їх вилучення необхідно зробити перерахунок вагового відсотку тих елементів, які залишилися, щоб їх загальна сума мала 100%.

#### 3.1. Розрахунок стехіометричних коефіцієнтів

Розрахунок стехіометричних коефіцієнтів був найдетальніше описаний головним чином В.А. Булановим та має наступну послідовність:

1. Вилучення компонентів, які наявні у дуже малих малих кількостях та інших компонентів, які відсутні/не визначені, що не впливають на подальші розрахунки і перерахунок первинних результатів (**M2**) та приведення до загальної суми 100%.

2. Розрахунок молекулярної маси для кожного окислу (**M1**), що дорівнює сумі атомної ваги катіону та аніону. Дана цифра відповідно є сталою для всіх зразків.

3. Розрахунок молекулярної кількості (**M3**). Даний розрахунок проводиться шляхом поділу вагового відсотку кожного окислу кожного зразку на молекулярну вагу:

$$M3(i) = M2(i) / M1(i), \quad (3.1.1)$$

де *M1* - молекулярна маса компонента, *M2* - масовий вміст компонента, а *i* - порядковий номер компонента.

4. Розрахунок атомних кількостей катіону (**M4**). Проводиться шляхом множення молекулярної кількості на кількість атомів катіону:

$$M4(i) = M3(i) * K1(i), \quad (3.1.2)$$

де *K1* - число атомів катіону в формулі комплексу.

5. Розрахунок атомних кількостей аніону (**M5**) проводиться аналогічним шляхом із множенням молекулярної кількості на число атомів аніону:

$$M5(i) = M3(i) * K1(i), \quad (3.1.3)$$

де *K1* - число атомів оксигену в формулі окислу.

6. Підрахунок суми атомних кількостей аніону  $\sum M5(i)$ .

1. Розрахунок *K* - розрахункового фактору, що проводиться за наступною формулою:

$$K = \sum M5(i) / R(j), \quad (3.1.4)$$

де *R(j)* - число атомів оксигену в теоретичній формулі. Для гранатів *R*=12.

7. Розрахунок стехіометричних коефіцієнтів (**Ск**) для кожного елемента:

$$C_k = M4(i) / K, \quad (3.1.5)$$

Завдяки розрахунку стехіометричних коефіцієнтів у подальшій роботі буде сформовано середню кристалохімічну формулу для окремих груп гранатів, що входять в різні типи порід.

### 3.2. Розрахунок мінального складу

Методика розрахунку мінального складу була описана А.Г. Булахом [2] та конкретизована саме для мінералів групи гранатів В.А. Булановим.

1. Розрахунок суми стехіометричних коефіцієнтів для кожної структурної групи:

$$A=(Fe^{2+}+Mg+Mn+Ca), B=(Al+Fe^{3+}+Cr), Z=(Si+Ti) \quad (3.2.1)$$

Сума елементів групи **A** варіює в межах 2,95-3,1; **B** - 1,95-2,1; **Z** - 2,95-3,05.

2. Розрахунок процентної кількості основних мінералів:

$$Alm=100*Fe^{2+}/(Fe^{2+}+Mn+Mg+Ca); \quad (3.2.2)$$

$$Pyr=100*Mg/(Fe^{2+}+Mn+Mg+Ca); \quad (3.2.3)$$

$$Spess=100*Mn/(Fe^{2+}+Mn+Mg+Ca); \quad (3.2.4)$$

$$A=100*Ca/(Fe^{2+}+Mn+Mg+Ca); \quad (3.2.5)$$

де *A* - доля кальцієвих мінералів.

3. Розрахунок частки залишкового алюмінію (**Al'**), який входить у склад grosуляру та андрадиту:

$$Al'=Al-(Fe^{2+}+Mn+Mg)*2/3; \quad (3.2.6)$$

4. Розрахунок grosуляру та андрадиту (у даному розрахунку опущено пошук відсоткового вмісту уваровіту через відсутність хрому у вихідних даних):

$$Gross=A*'Al'/(Al'+Fe^{3+}+Cr); \quad (3.2.7)$$

$$Andr=A*Fe^{3+}/(Al'+Fe^{3+}+Cr); \quad (3.2.8)$$

Всі розрахунки проводяться за допомогою Microsoft Excel. Отримані дані групуються в залежності від вміщуючої породи та в подальшому висвітлюються на діаграмах, створених за допомогою програми TriQuick. Зважаючи на мінальний склад окремих типів порід буде побудовано одну або дві трикутні діаграми, тобто з вершинами піроп-альмандин-спесартин для кожного типу, а альмандин-гросуляр-андрадит для окремих випадків.

#### 4. КЛАСИФІКАЦІЯ ГРАНАТІВ УКРАЇНСЬКОГО ЩИТА

Для подальшої роботи з усіх зразків було сформовано єдину базу та застосовано нумерацію 1-509. Також був проведений перерахунок основних компонентів, згідно методики обробки даних. У **табл. 4.1** наведений приклад даного перерахунку 1-10 зразків, у **додатку А** представлені результати перерахунку 1-90 зразків.

Табл. 4.1.1 Перерахунок 1-10 зразків.

ном. роб.	Major elements wt%											
	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Total
1	36,74	0,15	21,30	0,16	36,04	3,00	0,94	1,47	0,12	0,08	0,00	100,00
2	39,41	0,21	21,25	0,45	32,04	3,27	0,29	2,86	0,12	0,10	0,00	100,00
3	41,97	0,21	19,65	0,72	30,96	3,09	0,72	2,41	0,12	0,14	0,00	100,00
4	36,91	0,10	21,02	0,61	36,24	1,43	2,20	1,24	0,08	0,12	0,06	100,00
5	38,17	0,25	21,07	0,18	35,53	2,31	1,41	0,63	0,24	0,20	0,00	100,00
6	39,20	0,10	20,61	0,27	34,83	0,53	2,78	1,42	0,13	0,07	0,07	100,00
7	37,50	0,05	21,21	0,10	33,96	3,00	2,46	1,47	0,12	0,14	0,00	100,00
8	39,08	0,44	20,03	0,10	31,69	1,02	5,12	2,32	0,10	0,10	0,00	100,00
9	38,40	0,13	22,06	0,10	33,21	0,90	3,47	1,34	0,10	0,30	0,00	100,00
10	38,19	0,41	21,13	1,53	32,95	0,44	3,51	1,66	0,18	0,00	0,00	100,00

#### 4.1. Стехіометричні коефіцієнти

Згідно прийнятої у даній роботі методики і безпосередньо формул **(3.1.1-3.1.3)** була обрахована молекулярна вага (**M1**), молекулярна кількість (**M3**), атомні кількості катіонів (**M4**) та атомні кількості аніонів (**M5**). У **табл. 4.1.1** наведені результати розрахунку для 1-3 зразків. У **додатку Б** висвітлені результати для зразків 1-9.

Табл 4.1.1 розрахунок M2, M3, M4, M5 для 1-3 зразків.

ном. роб		SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Total
1	wt%	36,737	0,150	21,301	0,160	36,036	3,003	0,941	1,471	0,120	0,080	0,000	100,00
	M1	60,00	79,90	101,80	159,60	71,80	70,90	40,30	56,00	61,80	94,00	141,80	
	M3	0,612	0,002	0,209	0,001	0,502	0,042	0,023	0,026	0,002	0,001	0,000	
	M4	0,612	0,002	0,419	0,002	0,502	0,042	0,023	0,026	0,004	0,002	0,000	
	M5	1,225	0,004	0,628	0,003	0,502	0,042	0,023	0,026	0,002	0,001	0,000	2,46
2	wt%	39,413	0,210	21,255	0,451	32,037	3,267	0,291	2,856	0,120	0,100	0,000	100,00
	M1	60,00	79,90	101,80	159,60	71,80	70,90	40,30	56,00	61,80	94,00	141,80	
	M3	0,657	0,003	0,209	0,003	0,446	0,046	0,007	0,051	0,002	0,001	0,000	
	M4	0,657	0,003	0,418	0,006	0,446	0,046	0,007	0,051	0,004	0,002	0,000	
	M5	1,314	0,005	0,626	0,008	0,446	0,046	0,007	0,051	0,002	0,001	0,000	2,51
3	wt%	41,975	0,211	19,646	0,723	30,956	3,094	0,723	2,411	0,121	0,141	0,000	100,00
	M1	60,00	79,90	101,80	159,60	71,80	70,90	40,30	56,00	61,80	94,00	141,80	
	M3	0,700	0,003	0,193	0,005	0,431	0,044	0,018	0,043	0,002	0,001	0,000	
	M4	0,700	0,003	0,386	0,009	0,431	0,044	0,018	0,043	0,004	0,003	0,000	
	M5	1,399	0,005	0,579	0,014	0,431	0,044	0,018	0,043	0,002	0,001	0,000	2,54

Безпосередньо розрахунок стехіометричних коефіцієнтів відбувався за формулами (3.1.4-3.1.5) та наведений у **табл. 4.1.2** у вигляді готових результатів для 1-10 зразків, та у **додатку В** для 1-90 зразків. На даному етапі було вилучено Na, K, P через їх низьку інформативність та відсутність у кристалохімічній формулі гранату, у наведеній таблиці вони наявні, однак мають червоний колір.

**Табл. 4.1.2** Результати розрахунків стехіометричних коефіцієнтів для 1-10 зразків.

N sample	Si	Ti	Al	Fe3+	Fe2+	Mn	Mg	Ca	Na	K	P	K
1	2,992	0,009	2,045	0,010	2,452	0,207	0,114	0,128	0,019	0,008	0,000	0,205
2	3,144	0,013	1,998	0,027	2,135	0,221	0,035	0,244	0,019	0,010	0,000	0,209
3	3,310	0,012	1,826	0,043	2,040	0,206	0,085	0,204	0,018	0,014	0,000	0,211
4	2,989	0,006	2,006	0,037	2,452	0,098	0,265	0,107	0,013	0,012	0,004	0,206
5	3,075	0,015	2,000	0,011	2,392	0,157	0,170	0,055	0,038	0,021	0,000	0,207
6	3,119	0,006	1,933	0,016	2,316	0,036	0,329	0,121	0,020	0,007	0,005	0,209
7	3,019	0,003	2,013	0,006	2,285	0,204	0,295	0,127	0,019	0,014	0,000	0,207
8	3,086	0,026	1,865	0,006	2,091	0,068	0,602	0,196	0,015	0,010	0,000	0,211
9	3,042	0,008	2,059	0,006	2,198	0,060	0,409	0,113	0,015	0,030	0,000	0,210

## 4.2. Мінальний склад

Розрахунок мінального складу виконувався за допомогою формул (3.2.1-3.2.7) згідно методики обробки даних та наведений у **таблиці 2.2.1** та **додатку Г**. У графі “перевірка” додатково перевірялася відповідність суми андрадитової та grosularової частки до суми кальцієвих мінералів.

**Табл. 4.2.1** Розрахунок міналів для зразків 1-12.

N sample	Alm	Spess	Pyr	Gross	Andr	summ	A	перевірка	Al <sup>3+</sup>	Al <sup>3+</sup> +Fe <sup>3+</sup>
1	84,512	7,132	3,932	4,214	0,211	100,000	4,425	4,425	0,196	0,206
2	81,055	8,370	1,310	8,684	0,580	100,000	9,265	9,265	0,405	0,432
3	80,472	8,144	3,349	6,941	1,094	100,000	8,035	8,035	0,272	0,315
4	83,912	3,349	9,063	2,860	0,817	100,000	3,676	3,676	0,130	0,167
5	86,245	5,671	6,117	1,859	0,108	100,000	1,967	1,967	0,188	0,199
6	82,659	1,279	11,756	3,874	0,432	100,000	4,306	4,306	0,145	0,162
7	78,502	7,019	10,125	4,193	0,162	100,000	4,354	4,354	0,157	0,163
8	70,695	2,311	20,368	5,300	1,326	100,000	6,626	6,626	0,024	0,030
9	79,052	2,162	14,710	3,992	0,084	100,000	4,076	4,076	0,281	0,287
10	78,867	1,070	14,980	3,614	1,468	100,000	5,082	5,082	0,224	0,315
11	63,831	20,947	13,861	1,062	0,300	100,000	1,362	1,362	0,096	0,123
12	67,162	18,680	13,742	-0,183	0,600	100,000	0,417	0,417	-0,027	0,061

У ході виконання розрахунків міналів деякі значення залишкового алюмінію (Al') виходили від'ємними, що давало не коректний результат (на прикладі зразку 12) для вмісту grosуляру відповідно, тому було вирішено виконати перерахунок, приймаючи значення grosуляра за 0 у подібних випадках, зважаючи на його формулу, а значення андрадита прийняти за значення А. Дані перерахунків наведені у **табл. 4.2.2** та у **додатку Д**.

*Табл. 4.2.2 Перерахунок мінального складу для зразків 1-12.*

N sample	Alm	Spess	Pyr	Gross	Andr	summ
1	84,512	7,132	3,932	4,214	0,211	100,000
2	81,055	8,370	1,310	8,684	0,580	100,000
3	80,472	8,144	3,349	6,941	1,094	100,000
4	83,912	3,349	9,063	2,860	0,817	100,000
5	86,245	5,671	6,117	1,859	0,108	100,000
6	82,659	1,279	11,756	3,874	0,432	100,000
7	78,502	7,019	10,125	4,193	0,162	100,000
8	70,695	2,311	20,368	5,300	1,326	100,000
9	79,052	2,162	14,710	3,992	0,084	100,000
10	78,867	1,070	14,980	3,614	1,468	100,000
11	63,831	20,947	13,861	1,062	0,300	100,000
12	67,162	18,680	13,742	0,000	0,417	100,000

### **4.3. Класифікація гранатів у різних типах порід та середні кристалохімічні формули**

Для подальшої класифікації гранатів Українського щита є необхідним розділення зразків за типами порід, що їх вміщують. Так, було виділено дві групи порід - метаморфічні та магматичні, зважаючи на їх походження, а в них вже виокремлено власне типи :

#### **Магматичні:**

1. Граніти - 69 зразків.
2. Пегматити - 22 зразки.
3. Чарнокіти - 6 зразків.
4. Граносієніти, егіринові сієніти та сієніти - 6 зразків.

5. Пегматитова, граніт пегматитова та кварц-польовошпатові жили - 5 зразків.

#### **Метаморфічні:**

6. Сланці - 118 зразків.
7. Гнейси - 115 зразків.
8. Скарни та скарноїди - 36 зразків.
9. Залізисті кварцити - 22 зразки.
10. Мігматити - 12 зразків.
11. Метасоматити - 12 зразків.
12. Роговики, піроксен-воласоніт-гранатові роговики - 6 зразків.
13. Грануліти - 2 зразки.

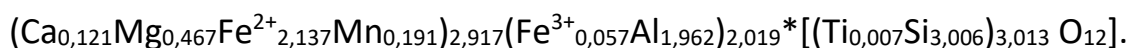
Також були виявлені поодинокі випадки для наступних зразків: гарнатит (144 зразок), амфіболіт (149,163 зразки), еузіліт (195 зразок), кристалічний вапняк (218 зразки), мармур (225 зразок), апліт (330), кальцифір (351), ксеноліт (384-385), катаклазит (494), анортозит (503), габронорит (504) та вінніцит (508). Ще 58 зразків не мають прив'язки до певної породи. Дані зразки потребують більшої кількості інформації, не є представницькими, тому їх подальша обробка не є змістовною.

### **4.3.1. Магматичні породи**

#### **Граніти**

Для гранітів переважною складовою є альмандиновий мінал (*рис. 4.3.1.1*), однак наявний гросуляровий - 325 та 326.

Для даного типу породи було визначено середню кристалохімічну формулу, яка має наступний вигляд:



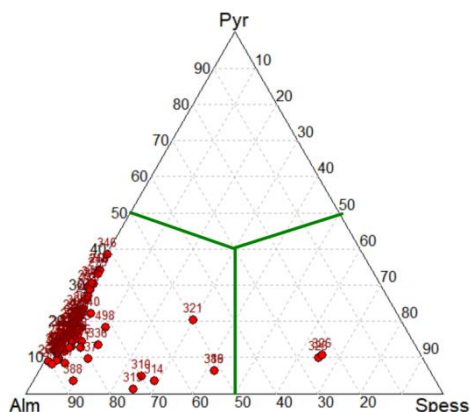


Рис. 4.3.1.1 Мінальний склад гранатів в гранітах.

### Пегматити

Для пегматитів була побудована наступна трикутна діаграма (рис. 4.3.1.2) на прикладі **рис.1.3**:

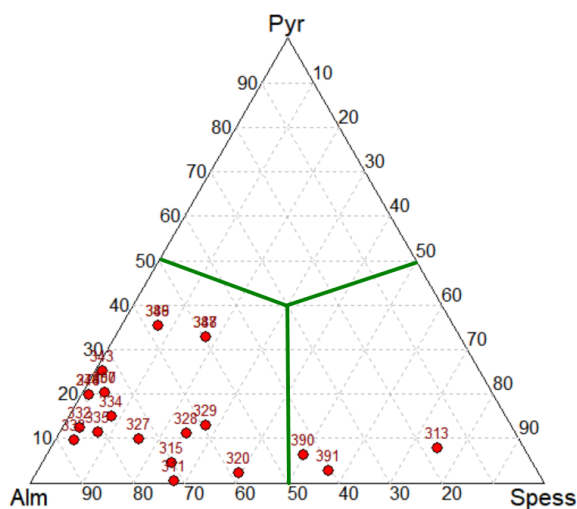
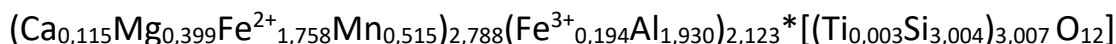


Рис. 4.3.1.2 Мінальний склад гранатів в пегматитах.

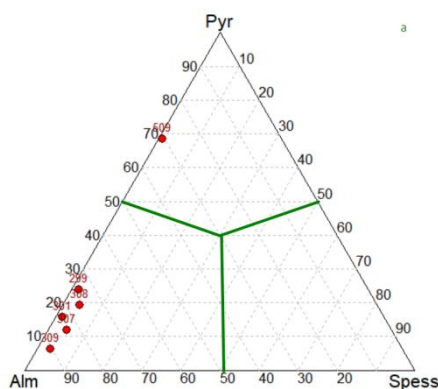
Згідно даної діаграми, мінерали, що знаходяться в пегматитах мають переважно альмандиновий склад (до 84,778%). Альмандин-спесартиновий склад мають зразки 320, 390 та 391. Зразки під номерами 343, 348, 349, 386, 387 мають піропову частку від 24,290% до 33,009%, однак вони потрапляють в межі альмандину.

На основі середніх стехіометричних коефіцієнтів виведена наступна кристалохімічна формула:



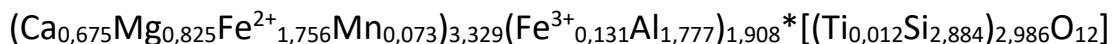
### Чарнокіти

Типовими представниками гранатів в чарнокітах, як і в гранітах та пегматитах, є гранати альмандинового складу, проте відсутні спесартинового, однак наявний один випадок піропового складу, який є одиничним випадком для всієї представленої у даній роботі бази зразків (*рис. 4.3.1.3*).



*Рис. 4.3.1.3 Мінальний склад гранатів в чарнокітах.*

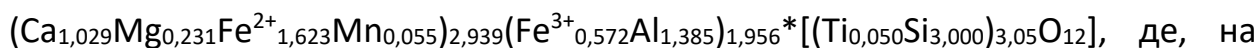
Для гранатів, що входять до складу чарнокітів була виведена середня кристалохімічна формула:



### Граносієніти, егіринові сієніти та сієніти

В граносієнітах гранати представлені альмандином, в егіриновому сієніті та сієніті гранати (зразки 501 та 502) мають андрадитовий склад (*рис. 4.3.1.4*).

Середня кристалохімічна формула для гранатів в сієнітах має вигляд:



де, на відміну від гранітів, пегматитів та чарнокітів стехіометричний коефіцієнт Ca є

значно більшим, що відображається безпосередньо на діаграмі, демонструючи власне переважаючий андрадитовий мінал у двох знаках.

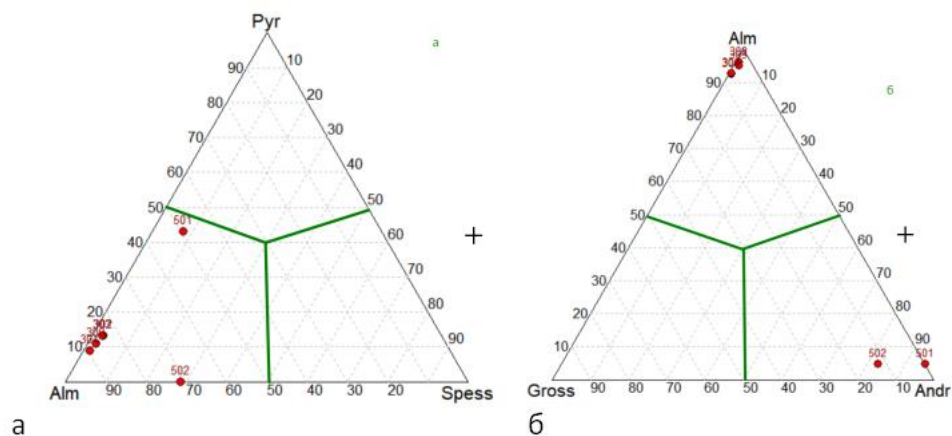


Рис. 4.3.1.4 Мінальний склад гранатів в сієнітах(а) - піроп-альмандин-спесартинова діаграма, (б) - альмандин-гросуляр-андрадитова діаграма.

#### Пегматитова, граніт пегматитова такварц-польовошпатова жили

Мінерали в жилах представлені зокрема альмандинами - 318, 323 та 409 зразки та спесартинами - 317 та 233 зразки (рис. 4.3.1.5).

Кристалохімічна формула для даних типів порід:  
 $(\text{Ca}_{0,429}\text{Mg}_{0,132}\text{Fe}^{2+}_{1,573}\text{Mn}_{0,788})_{2,922}(\text{Fe}^{3+}_{0,114}\text{Al}_{2,048})_{2,161} * [(\text{Ti}_{0,006}\text{Si}_{2,910})_{2,916} \text{O}_{12}]$ .

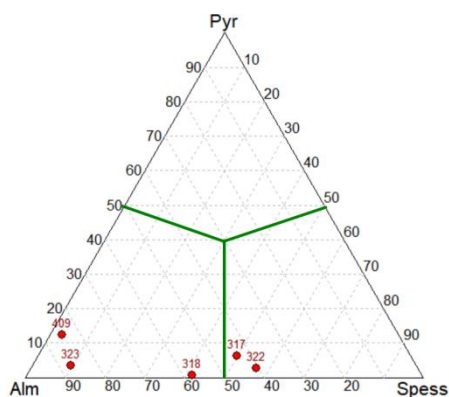


Рис. 4.3.1.5 Мінальний склад гранатів в жилах.

## Метагабро

Згідно трикутної діаграми (рис. 4.3.1.6) у гранатах в метагабро переважає виключно альмандиновий мінал, а середня кристалохімічна формула має наступний вигляд:

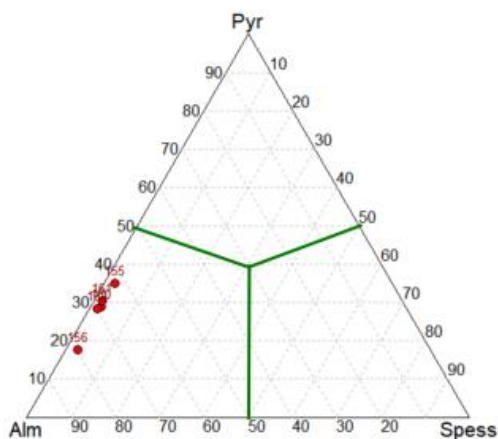
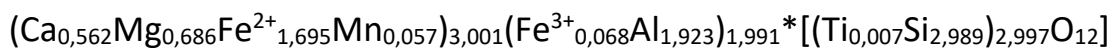


Рис. 4.3.1.6 Мінальний склад гранатів в метагабро.

Отже, гранати в магматичних породах у більшості випадків представлені альмандинами з невеликою часткою спесартинів та андрадитів у порідку зменшення кількості, а також наявний один зразок, який було визначено як піроп.

## 4.3.2. Метаморфічні породи

### Сланці

Сланці, на відміну від попередніх магматичних порід, мають більше різноманіття, хоча переважаючим міналом залишається альмандиновий (рис. 4.3.2.1), однак з'являється дещо більше зразків з переважаючим спесартиновим міналом - зразки 223, 366, 395, 399, 425, а також grosуляровим - 226, 227, 229, 231, 235, та андрадитовим - 230, 234, 237, 238, 239, 240, 242.

Для гранатів в сланцях була виведена середня кристалохімічна формула:

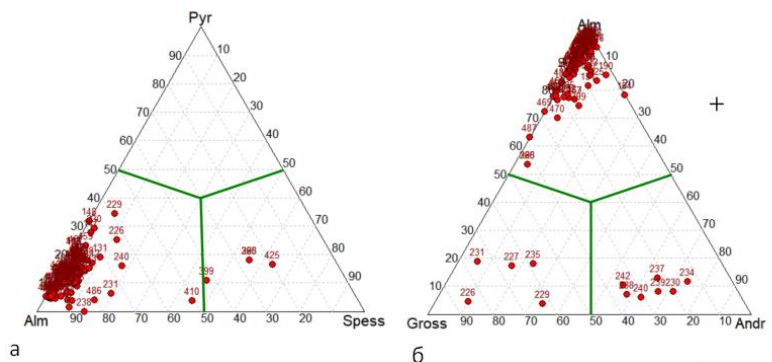
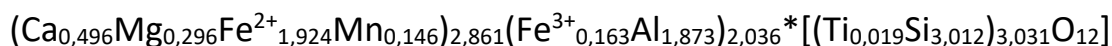


Рис. 4.3.2.1 Мінальний склад в сланцях (а) - піроп-альмандин-спесартинова діаграма, (б) - альмандин-гросуляр-андрадитова діаграма.

## Гнейси

За мінальним вмістом (рис. 4.3.2.2) гнейси та плангіогнейси схожі з пегматитами - переважна більшість зразків потрапляє в межі альмандину, однак виділяється зразок 125, який має мінальний вміст альмандину - 40,246, піропу - 31,772, спесартину - 25,985. Загалом, кристалохімічна формула набуває наступного вигляду:

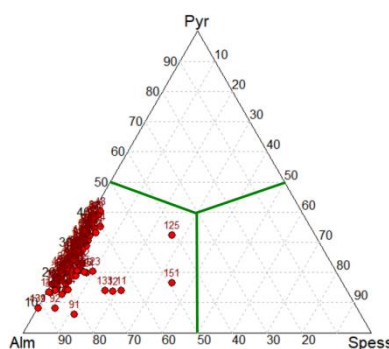
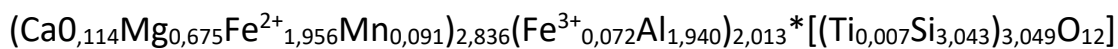
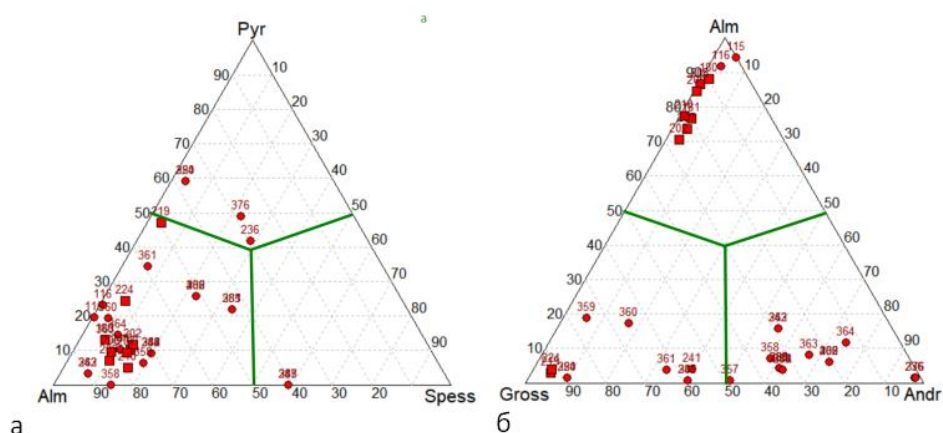


Рис. 4.3.2.2 Типи мінералів в гнейсі та плангіогнейсі.

### Скарни та скарноїди

У скарнах та скарноїдах нетипова ситуація в порівнянні з попередніми зразками (**рис. 4.3.2.3**). Так, зразки 115, 116, 180, 181, 202, 206, 207, 209, 210 потрапляють в межі альмандину. Інші зразки на першій діаграмі не є репрезентативними (тобто не потрапляють у допустимі межі, приведені на **рис. 1.2.3**), однак на другій вже можна виділити суттєво grosуляріві гранати - 219, 220, 224,, 241, 245, 254, 259, 383, та андрадитові - 232,233,236,243, 244, 355, 356, 357, 358, 362, 363, 364, 365, 376, 381, 382, 400.



**Рис. 4.3.2.4.** Мінальний склад гранатів у скарнах та скарноїдах (а) - піроп-альмандин-спесартинова діаграма, (б) - альмандин-гросуляр-андрадитова діаграма

Загальна ж кристалохімічна формула була визначена як:  $(Ca_{2,180}Mg_{0,111}Fe^{2+}_{0,606}Mn_{0,089})_{2,986}(Fe^{3+}_{0,714}Al_{1,270})_{2,011} * [(Ti_{0,018}Si_{2,974})_{2,991}O_{12}]$ , де можна спостерігати збільшений стехіометричний коефіцієнт Ca у порівнянні з попередніми кристалохімічними формулами.

### Залістисті кварцити

У залістистих кварцитах альмандинова частка є домінуючою (**рис. 4.3.2.5**), та виокремлюється лише один зразок, який відповідає номеру 373 та представляє собою гранат переважно андрадитового складу.

Середня кристалохімічна формула подібна до гранатів, що мають переважаючий альмандиновий мінал та має наступний вигляд:

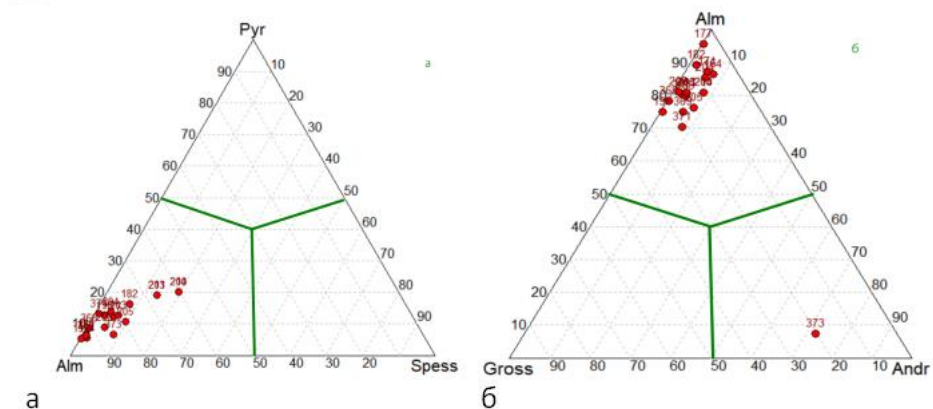
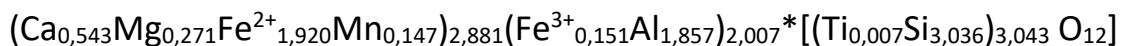


Рис. 4.3.2.5 Мінальний склад гранатів у залістих кварцитах (а) - піроп-альмандин-спесартинова діаграма, (б) - альмандин-гросуляр-андрадитова діаграма.

### Мігматити

У мігматитах вміст міналів досить одноманітний (рис. 4.3.2.6), всі зразки відповідають альмандину на діаграмі. Вигляд середньої кристалохімічної формули:

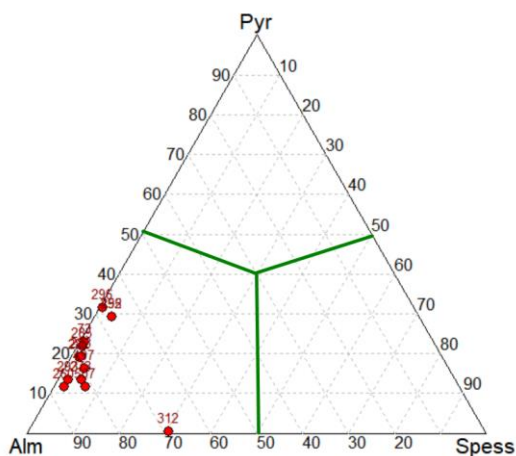
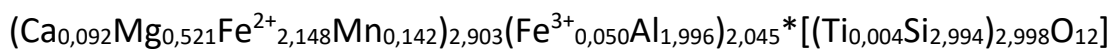


Рис. 4.3.2.6 Мінальний склад гранатів у мігматитах.

### Метасоматити

В метасоматити за мінальним складом (рис. 4.3.2.7) дещо схожі на скарни, так зразки 135, 146, 254, 276, 396, 495 та 499 потрапляють в межі альмандину, однак зразки 377 та 380, що на першій діаграмі потрапляють в ці ж межі, на другій вписуються в grosулярові, а зразки 221, 378, 379 - в межі андрадиту.

Вигляд середньої кристалохімічної формули:

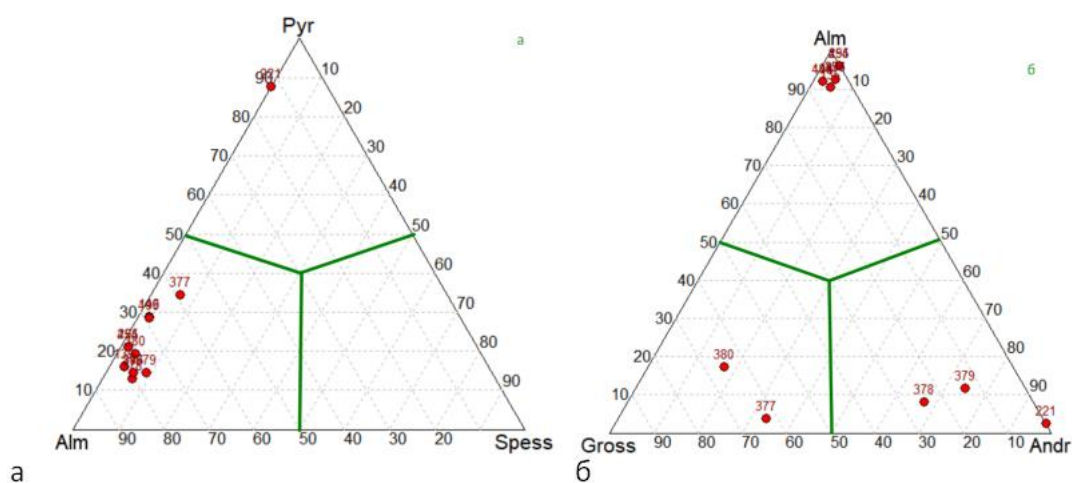
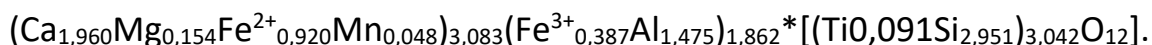
$$(\text{Ca}_{1,204}\text{Mg}_{0,403}\text{Fe}^{2+}_{1,329}\text{Mn}_{0,064})_{2,999}(\text{Fe}^{3+}_{0,491}\text{Al}_{1,485})_{1,976} * [(\text{Ti}_{0,016}\text{Si}_{2,981})_{2,997}\text{O}_{12}]$$


Рис. 4.3.2.7 Мінальний склад гранатів в метасоматитах. (а) - піроп-альмандин-спесартинова діаграма, (б) - альмандин-гросуляр-андрадитова діаграма.

### Роговики, піроксен-воласоніт-гранатові роговики

Дана група представляє собою роговики, однак звичайні роговики представлені альмандиновим складом, тоді як піроксен-воласоніт-гранатові роговики складені grosуляром (рис. 4.3.2.8).

Кристалохімічна формула:



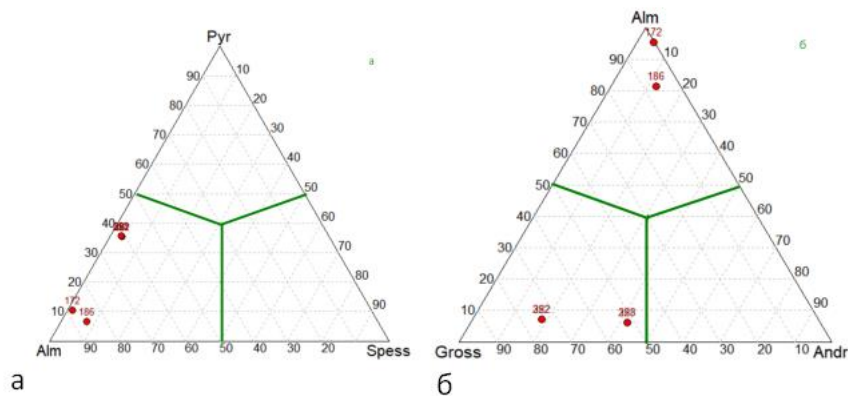


Рис. 4.3.2.8 Мінальний склад гранатів в роговиках (а) - піроп-альмандин-спесартинова діаграма, (б) - альмандин-гросуляр-андрадитова діаграма.

### Грануліти

Згідно трикутної діаграми (рис. 4.3.2.9) гранати гранулітах являють собою альмандини з середньою кристалохімічною формулою:  $(\text{Ca}_{0,146}\text{Mg}_{1,075}\text{Fe}^{2+}_{1,742}\text{Mn}_{0,030})_{2,994}(\text{Fe}^{3+}_{0,033}\text{Al}_{1,964})_{1,997} * [(\text{Ti}_{0,003}\text{Si}_{2,998})_{3,001}\text{O}_{12}]$

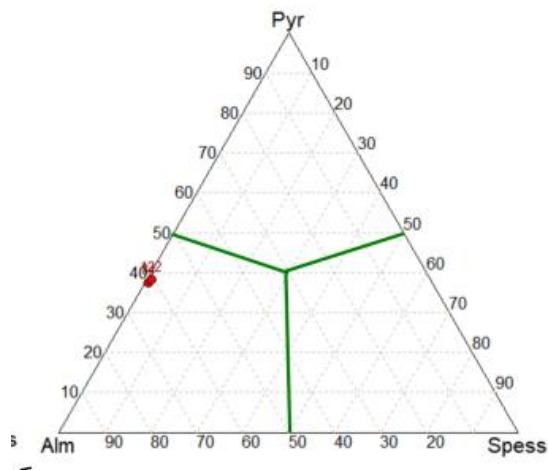


Рис. 4.3.2.9 Мінальний склад гранатів в грануліті..

Гранати, що входять до складу метаморфічних порід мають дещо інший склад у порівнянні з гранатами метаморфічних порід. Таким чином, головним переважаючим міналом все ще є альмандин, однак у порівнянні з

магматичними, де гранати уграндитового ряду представлені лише в сінітах (андрадит), тут виявлена більша кількість даних гранатів, зокрема додається й grosular для сланців, метасоматитів та скарнів, а спесартин відсутній.

## ЗАКЛЮЧЕННЯ І ВИСНОВКИ

Для виконання поставлених задач була створена достатньо велика база даних хімічних аналізів гранатів з різних джерел, яка налічує 509 зразків, де кожен зразок має прив'язку до конкретного родовища чи місця.

У роботі була висвітлена нова класифікація, однак всі розрахунки, описані першочергово А.Г. Булахом та потім більш конкретизовані В.А. Булановим, базувалися на старій, де поділено гранати на підгрупи піральспітів та уграндитів. Постає питання чи суттєвим є проведення розрахунків для подальшої класифікації, зважаючи на старий поділ. Так як розрахунки проведені безпосередньо на основі шести основних видів, які не змінюються у новій класифікації, то використовувати розрахунки, проведені у даній роботі є доцільним. Загалом, нова класифікація має більшу вагу для мінералів даної групи у випадках спірних мінералів, які не входили до неї раніше та мінералів, які були вилучені чи перенесені до інших виділених груп, як от шорломіт.

Для безпосереднього класифікування гранатів було виділено дві групи порід за їх походженням: магматичні та метаморфічні. До магматичних порід були віднесені за зменшенням кількості зразків у створеній базі даних граніти, пегматити, чарнокіти, сієніти, різні жили та метагабро, а до метаморфічних - сланці, гнейси, скарни, залізисті кварцити, мігматити, метасоматити, роговики та грануліти. Для кожного типу сформована середня кристалохімічна формула. Також було виявлено у базі даних поодинокі випадки різних гірських порід та хімічних аналізів, в яких не зазначено певної привязки до конкретної породи. У зв'язку з їх не інформативністю було вирішено не враховувати їх у безпосередній систематизації.

За результатами розрахунків було виявлено, що гранати в межах Українського щита є досить одноманітними за своїм мінальним складом,

домінуючими є лише п'ять з шести кінечних членів групи, що знову ж підтверджує можливість використання розрахунків на основі старої піральспіт-уградитової класифікації. Таким чином, всі магматичні породи мають переважаючий альмандиновий склад, а виключно альмандиновий склад має лише метагабро. Для гранітів, пегматитів та різних за складом жил домінантним є альмандиновий мінал з невеликою часткою спесартинового. Лише у сієнітах з'являється кальцієвий гранат - андрадит. Чарнокіти представлені зокрема альмандинами, однак у них міститься єдиний зразок, який визначено як піроп. Загалом, піроп не є властивим для гранатів Українського щита, зважаючи на аналізи і у чарнокітах це поодинокий випадок на всю базу даних, включно з метаморфічними породами.

Метаморфічні породи також представлені гранатами, у яких переважає альмандин, однак в них, на відміну від магматичних порід, присутня більша кількість кальцієвих гранатів. Так, гнейси, метасоматити та грануліти представлені виключно альмандинами, однак у сланцях, метасоматитах та скарнах наявні як і переважаючі альмандини, так і велика частка grosularів та андрадитів, у кварцитах зустрічаються альмандини та андрадити, а у роговиках мінальний склад переважно альмандиновий з великою часткою grosularів.

Отже, завдячуючи попереднім дослідникам, що провели аналізи хімічного складу гранатів, була сформована їх база даних, було визначено головні види гранатів, які входять до різних типів порід, тобто класифіковано всі гранати з даних зразків. У подальшому стоїть задача визначити безпосередні умови формування гранатів у виокремлених групах порід.

На жаль, частина зразків не є представницькою через недостатню кількість аналізів для певного типу породи чи не має достатньої інформації для безпосереднього аналізу, що було основною проблемою під час застосування класифікації. Дана проблема потребує подальшого вирішення.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Белевцев Р.Я. *Проблемы метаморфической зональности докембрия*. Издательство "Наукова Думка", Киев, 1975. - 212 с., УДК: 554
2. Булах А.Г. *Руководство и таблицы для расчёта формул минералов*. Москва: Недра, 1967. - 143 с.
3. Буланов В.А., Сизых А.И. *Кристаллохимизм породообразующих минералов*. Учеб. пос. – Иркутск: Иркут. Ун-т, 2005. – 220 с. УДК 549.01(08)
4. Есипчук К.Е., Шеремент Е.М., Зинченко О.В. и др. *Петрология, геохимия и рудоносность интрузивных гранитоидов Украинского щита*. АН УССР. Институт геохимии и физики минералов. Киев : Наук.думка, 1990. - 236 с.
5. Кононов Ю.В. *Метасоматиты центральной части Украинского щита*. Киев: Наукова думка, 1970. - 160 с.
6. Кривдик, Ткачук. *Петрология щелочных пород Украинского щита*. Киев: Наук.думка, 1990. - 408 с.
7. Лазаренко и др. *Минералогия Криворожского бассейна*. Киев: Наук.думка, 1977. - 545 с.
8. Лазаренко и др. *Минералогия Приазовья*. Киев: Наук.думка, 1981. - 432 с.
9. Сироштап Р. И., Половко Н. И., Бондарева Н. М. и др. *Минералы карбонатных пород Украинского щита*. Киев: Наукова думка, 1976. - 157 с.
10. Усенко И. С., Белевцев Р. Я., Щербакова Т. Г. и др. *Породообразующие гранаты Украинского щита*. Киев : Наук, думка, 1980.— 176 с.
11. Щербаков И.Б. *Петрология Украинского щита*. Львов : ЗУКЦ, 2005. - 366 с.
12. Edward S. Grew, Andrew J. Locock, Stuart J. Mills, Irina O. Galuskina, Evgeny V. Galuskin and Ulf Hålenius. *IMA Report. Nomenclature of the garnet supergroup*. *American Mineralogist*, Volume 98, pages 785–811, 2013.
13. <https://kristallov.net/granat.html>

14. [https://kristallov.net/podgruppa\\_piralspityi.html](https://kristallov.net/podgruppa_piralspityi.html)
15. [https://kristallov.net/podgruppa\\_ugrandityi.html](https://kristallov.net/podgruppa_ugrandityi.html)
16. <https://www.mindat.org/min-1651.html>

## ДОДАТКИ

## Додаток А

Табл. 1а. перерахунок вихідних даних компонентів від 1 до 45  
порядкового номеру.

ном. роб.	Major elements wt%											Total
	SiO2	TiO2	Al2O3	Fe2O3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	P2O5	
1	36,74	0,15	21,30	0,16	36,04	3,00	0,94	1,47	0,12	0,08	0,00	100,00
2	39,41	0,21	21,25	0,45	32,04	3,27	0,29	2,86	0,12	0,10	0,00	100,00
3	41,97	0,21	19,65	0,72	30,96	3,09	0,72	2,41	0,12	0,14	0,00	100,00
4	36,91	0,10	21,02	0,61	36,24	1,43	2,20	1,24	0,08	0,12	0,06	100,00
5	38,17	0,25	21,07	0,18	35,53	2,31	1,41	0,63	0,24	0,20	0,00	100,00
6	39,20	0,10	20,61	0,27	34,83	0,53	2,78	1,42	0,13	0,07	0,07	100,00
7	37,50	0,05	21,21	0,10	33,96	3,00	2,46	1,47	0,12	0,14	0,00	100,00
8	39,08	0,44	20,03	0,10	31,69	1,02	5,12	2,32	0,10	0,10	0,00	100,00
9	38,40	0,13	22,06	0,10	33,21	0,90	3,47	1,34	0,10	0,30	0,00	100,00
10	38,19	0,41	21,13	1,53	32,95	0,44	3,51	1,66	0,18	0,00	0,00	100,00
11	37,52	0,03	21,19	0,45	27,63	8,95	3,37	0,46	0,06	0,13	0,21	100,00
12	37,09	0,00	20,30	1,45	29,37	8,07	3,37	0,14	0,03	0,17	0,00	100,00
13	37,52	0,05	19,95	1,13	34,98	0,42	3,95	1,73	0,08	0,16	0,04	100,00
14	39,41	0,08	20,33	0,35	33,35	0,65	4,54	0,90	0,05	0,29	0,04	100,00
15	39,47	0,15	20,13	2,91	27,76	0,35	7,58	1,34	0,23	0,08	0,00	100,00
16	39,62	0,09	20,95	2,10	26,06	0,35	8,67	2,08	0,08	0,00	0,00	100,00
17	38,05	0,32	23,15	0,05	29,01	0,87	6,42	2,02	0,04	0,05	0,02	100,00
18	39,00	0,23	20,83	0,64	28,90	1,52	7,52	1,23	0,05	0,06	0,02	100,00
19	38,79	0,05	22,02	1,96	29,07	0,18	6,99	0,70	0,20	0,04	0,00	100,00
20	37,53	0,04	21,63	1,85	32,34	0,15	5,21	0,90	0,26	0,09	0,00	100,00
21	37,52	0,05	21,82	2,61	30,82	0,20	5,87	0,90	0,18	0,04	0,00	100,00
22	38,01	0,02	20,46	1,78	30,74	2,10	5,34	1,36	0,11	0,08	0,00	100,00
23	37,98	0,02	20,75	0,66	35,47	0,33	4,11	0,53	0,08	0,07	0,00	100,00
24	40,05	0,07	21,47	0,48	26,23	0,40	9,56	1,23	0,30	0,20	0,00	100,00
25	37,79	0,12	20,85	0,19	34,07	1,14	4,84	0,82	0,10	0,08	0,00	100,00
26	38,03	0,06	21,01	0,15	34,52	0,20	4,32	1,40	0,20	0,10	0,00	100,00
27	38,32	0,05	21,47	0,46	29,47	1,52	7,17	0,91	0,43	0,20	0,00	100,00
28	39,15	0,10	20,92	0,12	32,25	1,70	3,61	1,74	0,20	0,20	0,00	100,00
29	38,73	0,06	21,05	0,18	33,26	1,06	4,01	1,25	0,20	0,20	0,00	100,00
30	38,27	0,18	21,09	0,12	34,10	1,06	3,28	1,40	0,30	0,20	0,00	100,00
31	39,45	0,06	22,21	0,58	26,09	0,40	9,58	1,12	0,30	0,20	0,00	100,00
32	40,26	0,18	20,19	4,46	24,34	1,62	7,24	1,55	0,07	0,06	0,04	100,00
33	38,10	0,32	22,09	1,77	31,87	0,86	2,95	1,78	0,00	0,14	0,11	100,00
34	36,80	0,41	22,29	0,00	33,91	0,51	2,91	2,84	0,20	0,12	0,00	100,00
35	38,94	0,00	20,66	2,46	32,39	0,13	3,47	1,85	0,00	0,00	0,10	100,00
36	39,67	0,09	20,97	1,30	29,91	0,21	5,87	1,60	0,22	0,16	0,00	100,00
37	39,20	0,11	21,09	0,95	30,29	0,42	5,59	1,86	0,20	0,19	0,11	100,00
38	39,60	0,23	21,18	1,03	30,16	0,35	6,27	1,08	0,01	0,06	0,03	100,00
39	40,10	0,09	21,77	1,31	29,81	0,27	6,11	0,35	0,11	0,06	0,01	100,00
40	39,28	0,00	22,24	2,07	26,30	1,26	7,28	1,46	0,00	0,07	0,05	100,00
41	39,76	0,11	20,94	2,05	27,92	1,61	6,68	0,70	0,16	0,07	0,01	100,00
42	39,85	0,10	21,05	1,03	30,77	0,20	5,61	1,35	0,04	0,00	0,00	100,00
43	39,35	0,25	21,64	2,66	28,62	0,64	6,11	0,60	0,00	0,07	0,06	100,00
44	39,33	0,24	19,55	2,80	25,77	0,74	9,44	1,97	0,04	0,06	0,06	100,00
45	40,62	0,13	20,37	3,07	25,62	0,63	7,53	1,51	0,13	0,34	0,05	100,00

## Додаток А

Табл. 16. перерахунок вихідних даних компонентів від 46 до 90  
порядкового номеру.

46	38,81	0,40	21,59	1,04	28,88	0,52	6,77	1,83	0,04	0,00	0,11	100,00
47	39,62	0,00	22,59	1,65	29,01	0,23	5,80	1,05	0,00	0,00	0,04	100,00
48	40,03	0,36	19,74	2,26	26,22	0,96	10,28	0,00	0,08	0,05	0,00	100,00
49	41,00	0,13	22,92	0,27	24,57	0,83	9,11	1,05	0,05	0,05	0,03	100,00
50	41,55	0,14	19,94	1,88	25,05	1,23	7,79	2,31	0,08	0,03	0,01	100,00
51	39,11	0,06	22,10	2,12	29,41	0,26	6,30	0,40	0,12	0,10	0,02	100,00
52	39,50	0,00	21,88	0,69	28,14	1,13	7,01	1,50	0,03	0,12	0,00	100,00
53	39,09	0,15	20,45	4,96	27,68	1,33	6,15	0,00	0,14	0,05	0,00	100,00
54	38,91	0,10	21,32	0,03	30,24	0,34	7,39	1,26	0,28	0,13	0,00	100,00
55	38,98	0,50	19,82	0,52	33,55	0,55	4,35	1,40	0,22	0,10	0,00	100,00
56	38,43	0,19	20,57	0,16	33,14	0,46	5,02	1,72	0,08	0,16	0,07	100,00
57	38,15	0,11	21,87	0,02	33,47	0,31	5,07	0,81	0,06	0,12	0,00	100,00
58	39,65	0,23	21,58	1,58	27,90	0,30	6,80	1,74	0,01	0,00	0,22	100,00
59	39,09	0,00	20,68	0,50	31,20	1,90	4,29	2,08	0,16	0,10	0,00	100,00
60	38,53	0,05	22,33	1,78	26,59	0,60	8,55	1,35	0,18	0,04	0,00	100,00
61	38,09	0,05	22,25	0,51	30,41	1,77	5,39	1,09	0,36	0,08	0,00	100,00
62	38,55	0,04	22,10	0,10	30,75	0,96	6,34	0,78	0,30	0,08	0,00	100,00
63	36,83	0,00	21,82	0,58	32,94	0,98	4,88	1,26	0,50	0,20	0,00	100,00
64	39,99	0,02	21,05	1,83	27,28	0,45	8,66	0,53	0,02	0,04	0,13	100,00
65	38,33	0,05	21,09	0,04	34,06	0,70	4,62	0,84	0,16	0,10	0,00	100,00
66	37,94	0,10	20,87	0,44	34,34	0,62	4,55	0,89	0,13	0,12	0,00	100,00
67	38,41	0,05	20,81	0,02	33,52	0,48	4,78	1,51	0,22	0,20	0,00	100,00
68	39,08	0,05	21,58	0,82	27,05	0,41	9,25	1,12	0,45	0,17	0,00	100,00
69	38,39	0,00	21,13	2,05	27,95	0,42	7,82	1,74	0,20	0,30	0,00	100,00
70	37,92	0,02	21,62	0,03	31,79	0,67	6,57	0,91	0,17	0,30	0,00	100,00
71	39,86	0,09	20,71	1,51	26,28	0,70	9,22	1,13	0,15	0,06	0,28	100,00
72	38,59	0,05	21,23	1,40	29,68	0,80	6,81	1,06	0,09	0,07	0,23	100,00
73	38,78	0,12	21,55	0,00	32,46	0,50	5,45	0,78	0,16	0,20	0,00	100,00
74	39,33	0,14	22,03	1,44	25,56	1,98	8,36	0,71	0,18	0,18	0,09	100,00
75	38,51	0,10	21,11	2,49	29,12	1,12	5,92	1,26	0,08	0,20	0,08	100,00
76	40,14	0,00	20,58	0,72	27,89	0,42	8,49	1,55	0,07	0,13	0,00	100,00
77	39,52	0,08	21,43	0,08	28,86	0,69	8,09	1,05	0,10	0,10	0,00	100,00
78	37,40	0,07	20,70	0,25	34,45	2,19	3,41	1,12	0,30	0,11	0,00	100,00
79	37,90	0,07	21,47	0,70	32,06	1,49	5,05	1,00	0,10	0,16	0,00	100,00
80	38,15	0,07	21,07	0,65	32,02	2,41	4,50	0,86	0,10	0,16	0,00	100,00
81	37,85	0,00	21,88	3,10	28,55	0,32	7,02	1,06	0,10	0,00	0,12	100,00
82	37,66	0,02	20,14	2,24	30,99	2,30	5,24	1,06	0,13	0,05	0,17	100,00
83	39,18	0,00	21,23	2,63	25,44	0,77	8,45	1,76	0,30	0,24	0,00	100,00
84	38,96	0,00	21,93	0,34	27,47	0,42	9,35	1,53	0,00	0,00	0,00	100,00
85	40,65	0,00	18,99	2,24	30,57	2,40	4,82	0,11	0,06	0,12	0,03	100,00
86	39,86	0,10	20,94	0,80	30,43	1,27	6,27	0,14	0,04	0,13	0,02	100,00
87	39,03	0,11	21,41	0,80	26,46	0,51	9,42	2,03	0,21	0,02	0,00	100,00
88	37,74	0,42	21,29	0,21	31,38	0,58	6,72	1,34	0,22	0,10	0,00	100,00
89	39,86	0,18	21,90	0,11	27,98	0,98	7,11	0,88	0,40	0,40	0,20	100,00
90	38,57	0,10	20,84	1,07	29,93	1,40	6,31	1,61	0,10	0,05	0,01	100,00

## Додаток Б

Табл 16 розрахунок M2, M3, M4, M5 для 1-9 зразків.

ном. роб		SiO2	TiO2	Al2O3	Fe2O3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	P2O5	Total
1	wt%	36,737	0,150	21,301	0,160	36,036	3,003	0,941	1,471	0,120	0,080	0,000	100,00
	M1	<b>60,00</b>	<b>79,90</b>	<b>101,80</b>	<b>159,60</b>	<b>71,80</b>	<b>70,90</b>	<b>40,30</b>	<b>56,00</b>	<b>61,80</b>	<b>94,00</b>	<b>141,80</b>	
	M3	0,612	0,002	0,209	0,001	0,502	0,042	0,023	0,026	0,002	0,001	0,000	
	M4	0,612	0,002	0,419	0,002	0,502	0,042	0,023	0,026	0,004	0,002	0,000	
	M5	1,225	0,004	0,628	0,003	0,502	0,042	0,023	0,026	0,002	0,001	0,000	2,46
2	wt%	39,413	0,210	21,255	0,451	32,037	3,267	0,291	2,856	0,120	0,100	0,000	100,00
	M1	<b>60,00</b>	<b>79,90</b>	<b>101,80</b>	<b>159,60</b>	<b>71,80</b>	<b>70,90</b>	<b>40,30</b>	<b>56,00</b>	<b>61,80</b>	<b>94,00</b>	<b>141,80</b>	
	M3	0,657	0,003	0,209	0,003	0,446	0,046	0,007	0,051	0,002	0,001	0,000	
	M4	0,657	0,003	0,418	0,006	0,446	0,046	0,007	0,051	0,004	0,002	0,000	
	M5	1,314	0,005	0,626	0,008	0,446	0,046	0,007	0,051	0,002	0,001	0,000	2,51
3	wt%	41,975	0,211	19,646	0,723	30,956	3,094	0,723	2,411	0,121	0,141	0,000	100,00
	M1	<b>60,00</b>	<b>79,90</b>	<b>101,80</b>	<b>159,60</b>	<b>71,80</b>	<b>70,90</b>	<b>40,30</b>	<b>56,00</b>	<b>61,80</b>	<b>94,00</b>	<b>141,80</b>	
	M3	0,700	0,003	0,193	0,005	0,431	0,044	0,018	0,043	0,002	0,001	0,000	
	M4	0,700	0,003	0,386	0,009	0,431	0,044	0,018	0,043	0,004	0,003	0,000	
	M5	1,399	0,005	0,579	0,014	0,431	0,044	0,018	0,043	0,002	0,001	0,000	2,54
4	wt%	36,91	0,10	21,02	0,61	36,24	1,43	2,20	1,24	0,08	0,12	0,06	100,00
	M1	<b>60,00</b>	<b>79,90</b>	<b>101,80</b>	<b>159,60</b>	<b>71,80</b>	<b>70,90</b>	<b>40,30</b>	<b>56,00</b>	<b>61,80</b>	<b>94,00</b>	<b>141,80</b>	
	M3	0,615	0,001	0,206	0,004	0,505	0,020	0,055	0,022	0,001	0,001	0,000	
	M4	0,615	0,001	0,413	0,008	0,505	0,020	0,055	0,022	0,003	0,003	0,001	
	M5	1,231	0,002	0,619	0,011	0,505	0,020	0,055	0,022	0,001	0,001	0,002	2,47
5	wt%	38,17	0,25	21,07	0,18	35,53	2,31	1,41	0,63	0,24	0,20	0,00	100,00
	M1	<b>60,00</b>	<b>79,90</b>	<b>101,80</b>	<b>159,60</b>	<b>71,80</b>	<b>70,90</b>	<b>40,30</b>	<b>56,00</b>	<b>61,80</b>	<b>94,00</b>	<b>141,80</b>	
	M3	0,636	0,003	0,207	0,001	0,495	0,033	0,035	0,011	0,004	0,002	0,000	
	M4	0,636	0,003	0,414	0,002	0,495	0,033	0,035	0,011	0,008	0,004	0,000	
	M5	1,272	0,006	0,621	0,003	0,495	0,033	0,035	0,011	0,004	0,002	0,000	2,48
6	wt%	39,20	0,10	20,61	0,27	34,83	0,53	2,78	1,42	0,13	0,07	0,07	100,00
	M1	<b>60,00</b>	<b>79,90</b>	<b>101,80</b>	<b>159,60</b>	<b>71,80</b>	<b>70,90</b>	<b>40,30</b>	<b>56,00</b>	<b>61,80</b>	<b>94,00</b>	<b>141,80</b>	
	M3	0,653	0,001	0,202	0,002	0,485	0,008	0,069	0,025	0,002	0,001	0,000	
	M4	0,653	0,001	0,405	0,003	0,485	0,008	0,069	0,025	0,004	0,001	0,001	
	M5	1,307	0,003	0,607	0,005	0,485	0,008	0,069	0,025	0,002	0,001	0,002	2,51
7	wt%	37,50	0,05	21,21	0,10	33,96	3,00	2,46	1,47	0,12	0,14	0,00	100,00
	M1	<b>60,00</b>	<b>79,90</b>	<b>101,80</b>	<b>159,60</b>	<b>71,80</b>	<b>70,90</b>	<b>40,30</b>	<b>56,00</b>	<b>61,80</b>	<b>94,00</b>	<b>141,80</b>	
	M3	0,625	0,001	0,208	0,001	0,473	0,042	0,061	0,026	0,002	0,001	0,000	
	M4	0,625	0,001	0,417	0,001	0,473	0,042	0,061	0,026	0,004	0,003	0,000	
	M5	1,250	0,001	0,625	0,002	0,473	0,042	0,061	0,026	0,002	0,001	0,000	2,48
8	wt%	39,08	0,44	20,03	0,10	31,69	1,02	5,12	2,32	0,10	0,10	0,00	100,00
	M1	<b>60,00</b>	<b>79,90</b>	<b>101,80</b>	<b>159,60</b>	<b>71,80</b>	<b>70,90</b>	<b>40,30</b>	<b>56,00</b>	<b>61,80</b>	<b>94,00</b>	<b>141,80</b>	
	M3	0,651	0,006	0,197	0,001	0,441	0,014	0,127	0,041	0,002	0,001	0,000	
	M4	0,651	0,006	0,394	0,001	0,441	0,014	0,127	0,041	0,003	0,002	0,000	
	M5	1,303	0,011	0,590	0,002	0,441	0,014	0,127	0,041	0,002	0,001	0,000	2,53
9	wt%	38,40	0,13	22,06	0,10	33,21	0,90	3,47	1,34	0,10	0,30	0,00	100,00
	M1	<b>60,00</b>	<b>79,90</b>	<b>101,80</b>	<b>159,60</b>	<b>71,80</b>	<b>70,90</b>	<b>40,30</b>	<b>56,00</b>	<b>61,80</b>	<b>94,00</b>	<b>141,80</b>	
	M3	0,640	0,002	0,217	0,001	0,463	0,013	0,086	0,024	0,002	0,003	0,000	
	M4	0,640	0,002	0,433	0,001	0,463	0,013	0,086	0,024	0,003	0,006	0,000	
	M5	1,280	0,003	0,650	0,002	0,463	0,013	0,086	0,024	0,002	0,003	0,000	2,53

## Додаток В

Табл. За. розрахунок стехіометричних коефіцієнтів для зразків 1-45.

N sample	Si	Ti	Al	Fe3+	Fe2+	Mn	Mg	Ca	Na	K	P	K
1	2,992	0,009	2,045	0,010	2,452	0,207	0,114	0,128	0,019	0,008	0,000	0,205
2	3,144	0,013	1,998	0,027	2,135	0,221	0,035	0,244	0,019	0,010	0,000	0,209
3	3,310	0,012	1,826	0,043	2,040	0,206	0,085	0,204	0,018	0,014	0,000	0,211
4	2,989	0,006	2,006	0,037	2,452	0,098	0,265	0,107	0,013	0,012	0,004	0,206
5	3,075	0,015	2,000	0,011	2,392	0,157	0,170	0,055	0,038	0,021	0,000	0,207
6	3,119	0,006	1,933	0,016	2,316	0,036	0,329	0,121	0,020	0,007	0,005	0,209
7	3,019	0,003	2,013	0,006	2,285	0,204	0,295	0,127	0,019	0,014	0,000	0,207
8	3,086	0,026	1,865	0,006	2,091	0,068	0,602	0,196	0,015	0,010	0,000	0,211
9	3,042	0,008	2,059	0,006	2,198	0,060	0,409	0,113	0,015	0,030	0,000	0,210
10	3,032	0,025	1,977	0,091	2,185	0,030	0,415	0,141	0,028	0,000	0,000	0,210
11	3,005	0,002	2,001	0,027	1,849	0,607	0,402	0,039	0,009	0,013	0,014	0,208
12	2,999	0,000	1,935	0,088	1,985	0,552	0,406	0,012	0,005	0,018	0,000	0,206
13	3,017	0,003	1,891	0,068	2,350	0,028	0,472	0,149	0,012	0,016	0,003	0,207
14	3,117	0,005	1,895	0,021	2,204	0,044	0,534	0,077	0,008	0,029	0,003	0,211
15	3,065	0,009	1,843	0,170	1,801	0,023	0,876	0,112	0,034	0,008	0,000	0,215
16	3,046	0,005	1,898	0,122	1,674	0,023	0,992	0,172	0,012	0,000	0,000	0,217
17	2,957	0,019	2,121	0,003	1,884	0,057	0,743	0,169	0,006	0,005	0,001	0,214
18	3,039	0,013	1,914	0,038	1,882	0,100	0,873	0,103	0,008	0,006	0,001	0,214
19	3,011	0,003	2,014	0,114	1,885	0,012	0,808	0,058	0,030	0,004	0,000	0,215
20	2,970	0,002	2,018	0,110	2,139	0,010	0,614	0,076	0,040	0,009	0,000	0,211
21	2,953	0,003	2,024	0,154	2,027	0,013	0,688	0,076	0,027	0,004	0,000	0,212
22	3,015	0,001	1,914	0,106	2,038	0,141	0,631	0,116	0,017	0,008	0,000	0,210
23	3,035	0,001	1,955	0,040	2,368	0,022	0,489	0,045	0,012	0,007	0,000	0,209
24	3,062	0,004	1,935	0,028	1,676	0,026	1,089	0,101	0,045	0,020	0,000	0,218
25	3,013	0,007	1,960	0,011	2,270	0,077	0,574	0,070	0,016	0,008	0,000	0,209
26	3,028	0,004	1,973	0,009	2,297	0,013	0,513	0,120	0,031	0,010	0,000	0,209
27	2,999	0,003	1,981	0,027	1,928	0,101	0,836	0,076	0,065	0,020	0,000	0,213
28	3,100	0,006	1,953	0,007	2,134	0,114	0,426	0,148	0,031	0,020	0,000	0,210
29	3,072	0,004	1,968	0,011	2,205	0,071	0,473	0,106	0,031	0,020	0,000	0,210
30	3,053	0,011	1,983	0,007	2,273	0,072	0,390	0,120	0,046	0,020	0,000	0,209
31	3,017	0,003	2,001	0,033	1,667	0,026	1,091	0,092	0,045	0,020	0,000	0,218
32	3,100	0,010	1,832	0,258	1,566	0,105	0,829	0,128	0,010	0,006	0,003	0,216
33	3,013	0,019	2,059	0,105	2,106	0,058	0,347	0,151	0,000	0,014	0,007	0,211
34	2,943	0,024	2,101	0,000	2,266	0,034	0,347	0,244	0,032	0,012	0,000	0,208
35	3,080	0,000	1,926	0,146	2,141	0,009	0,409	0,156	0,000	0,000	0,007	0,211
36	3,092	0,005	1,927	0,076	1,948	0,014	0,681	0,133	0,033	0,016	0,000	0,214
37	3,065	0,006	1,944	0,056	1,980	0,028	0,651	0,156	0,030	0,019	0,007	0,213
38	3,081	0,013	1,942	0,060	1,960	0,023	0,726	0,090	0,002	0,006	0,002	0,214
39	3,103	0,005	1,985	0,076	1,928	0,018	0,704	0,029	0,017	0,006	0,001	0,215
40	3,025	0,000	2,019	0,120	1,693	0,082	0,834	0,121	0,000	0,007	0,003	0,216
41	3,086	0,006	1,915	0,120	1,811	0,105	0,772	0,058	0,024	0,007	0,001	0,215
42	3,106	0,006	1,934	0,060	2,004	0,013	0,651	0,113	0,006	0,000	0,000	0,214
43	3,052	0,015	1,978	0,155	1,855	0,042	0,706	0,050	0,000	0,007	0,004	0,215
44	3,039	0,014	1,781	0,163	1,664	0,048	1,086	0,163	0,006	0,006	0,004	0,216
45	3,122	0,008	1,846	0,178	1,645	0,041	0,862	0,124	0,019	0,033	0,003	0,217

## Додаток В

Табл. 3б. розрахунок стехіометричних коефіцієнтів для зразків 46-90.

46	3,015	0,023	1,977	0,061	1,875	0,034	0,783	0,152	0,006	0,000	0,007	0,215
47	3,061	0,000	2,057	0,096	1,873	0,015	0,667	0,087	0,000	0,000	0,003	0,216
48	3,075	0,021	1,788	0,131	1,683	0,063	1,176	0,000	0,012	0,005	0,000	0,217
49	3,093	0,007	2,038	0,015	1,548	0,053	1,023	0,085	0,007	0,005	0,002	0,221
50	3,179	0,008	1,799	0,108	1,601	0,079	0,887	0,189	0,012	0,003	0,001	0,218
51	3,036	0,004	2,022	0,123	1,908	0,017	0,727	0,034	0,018	0,010	0,001	0,215
52	3,057	0,000	1,996	0,040	1,819	0,074	0,807	0,124	0,005	0,012	0,000	0,215
53	3,051	0,009	1,882	0,291	1,806	0,088	0,714	0,000	0,021	0,005	0,000	0,214
54	3,032	0,006	1,959	0,002	1,969	0,022	0,857	0,105	0,042	0,013	0,000	0,214
55	3,096	0,030	1,855	0,031	2,226	0,037	0,514	0,119	0,034	0,010	0,000	0,210
56	3,045	0,011	1,922	0,010	2,194	0,031	0,593	0,146	0,012	0,016	0,005	0,210
57	3,013	0,007	2,036	0,001	2,209	0,021	0,596	0,069	0,009	0,012	0,000	0,211
58	3,058	0,013	1,961	0,092	1,798	0,019	0,781	0,144	0,001	0,000	0,014	0,216
59	3,090	0,000	1,926	0,030	2,061	0,127	0,505	0,176	0,025	0,010	0,000	0,211
60	2,969	0,003	2,028	0,103	1,712	0,039	0,980	0,111	0,027	0,004	0,000	0,216
61	2,994	0,003	2,062	0,030	1,997	0,118	0,631	0,092	0,055	0,008	0,000	0,212
62	3,014	0,002	2,037	0,006	2,009	0,064	0,738	0,065	0,046	0,008	0,000	0,213
63	2,937	0,000	2,051	0,035	2,195	0,066	0,580	0,108	0,078	0,020	0,000	0,209
64	3,071	0,001	1,906	0,106	1,750	0,029	0,991	0,043	0,003	0,004	0,008	0,217
65	3,044	0,003	1,974	0,002	2,260	0,047	0,547	0,072	0,025	0,010	0,000	0,210
66	3,024	0,006	1,960	0,027	2,287	0,042	0,540	0,076	0,020	0,012	0,000	0,209
67	3,049	0,003	1,947	0,001	2,223	0,032	0,565	0,128	0,034	0,020	0,000	0,210
68	3,010	0,003	1,959	0,048	1,741	0,027	1,061	0,093	0,068	0,017	0,000	0,216
69	2,991	0,000	1,940	0,120	1,820	0,028	0,907	0,145	0,030	0,030	0,000	0,214
70	2,986	0,001	2,007	0,002	2,092	0,045	0,770	0,077	0,026	0,030	0,000	0,212
71	3,057	0,005	1,872	0,087	1,684	0,046	1,053	0,093	0,022	0,006	0,018	0,217
72	3,012	0,003	1,953	0,082	1,936	0,053	0,792	0,088	0,014	0,007	0,015	0,214
73	3,049	0,007	1,997	0,000	2,133	0,033	0,638	0,066	0,024	0,020	0,000	0,212
74	3,022	0,008	1,996	0,083	1,641	0,129	0,956	0,058	0,027	0,018	0,006	0,217
75	3,017	0,006	1,950	0,147	1,907	0,074	0,691	0,106	0,012	0,020	0,005	0,213
76	3,096	0,000	1,871	0,042	1,797	0,028	0,975	0,128	0,011	0,013	0,000	0,216
77	3,056	0,005	1,954	0,005	1,865	0,045	0,931	0,087	0,015	0,010	0,000	0,216
78	3,010	0,004	1,965	0,015	2,318	0,149	0,409	0,096	0,047	0,011	0,000	0,207
79	3,002	0,004	2,005	0,042	2,122	0,100	0,596	0,085	0,015	0,016	0,000	0,210
80	3,031	0,004	1,974	0,039	2,126	0,162	0,533	0,073	0,015	0,016	0,000	0,210
81	2,950	0,000	2,011	0,182	1,859	0,021	0,814	0,088	0,015	0,000	0,008	0,214
82	2,997	0,001	1,889	0,134	2,061	0,155	0,621	0,090	0,020	0,005	0,012	0,209
83	3,020	0,000	1,929	0,153	1,638	0,050	0,969	0,145	0,045	0,024	0,000	0,216
84	2,998	0,000	1,989	0,020	1,766	0,027	1,072	0,126	0,000	0,000	0,000	0,217
85	3,199	0,000	1,762	0,133	2,010	0,160	0,565	0,009	0,009	0,012	0,002	0,212
86	3,107	0,006	1,924	0,047	1,982	0,084	0,728	0,012	0,006	0,013	0,001	0,214
87	3,003	0,006	1,942	0,046	1,701	0,034	1,079	0,167	0,032	0,002	0,000	0,217
88	2,971	0,025	1,975	0,012	2,065	0,039	0,788	0,113	0,034	0,010	0,000	0,212
89	3,073	0,010	1,990	0,006	1,803	0,064	0,816	0,073	0,060	0,039	0,013	0,216
90	3,028	0,006	1,929	0,063	1,964	0,093	0,738	0,136	0,015	0,005	0,001	0,212

## Додаток Г

Табл 4. розрахунок мінального складу для зразків 1-45.

N sample	Alm	Spess	Pyt	Gross	Andr	summ	A	перевірка	Al'	Al'+F e3+
1	84,512	7,132	3,932	4,214	0,211	100,000	4,425	4,425	0,196	0,206
2	81,055	8,370	1,310	8,684	0,580	100,000	9,265	9,265	0,405	0,432
3	80,472	8,144	3,349	6,941	1,094	100,000	8,035	8,035	0,272	0,315
4	83,912	3,349	9,063	2,860	0,817	100,000	3,676	3,676	0,130	0,167
5	86,245	5,671	6,117	1,859	0,108	100,000	1,967	1,967	0,188	0,199
6	82,659	1,279	11,756	3,874	0,432	100,000	4,306	4,306	0,145	0,162
7	78,502	7,019	10,125	4,193	0,162	100,000	4,354	4,354	0,157	0,163
8	70,695	2,311	20,368	5,300	1,326	100,000	6,626	6,626	0,024	0,030
9	79,052	2,162	14,710	3,992	0,084	100,000	4,076	4,076	0,281	0,287
10	78,867	1,070	14,980	3,614	1,468	100,000	5,082	5,082	0,224	0,315
11	63,831	20,947	13,861	1,062	0,300	100,000	1,362	1,362	0,096	0,123
12	67,162	18,680	13,742	-0,183	0,600	100,000	0,417	0,417	-0,027	0,061
13	78,328	0,949	15,744	-0,837	5,815	100,000	4,978	4,978	-0,010	0,058
14	77,114	1,527	18,682	1,767	0,910	100,000	2,677	2,677	0,041	0,061
15	64,056	0,813	31,158	0,793	3,180	100,000	3,973	3,973	0,042	0,213
16	58,521	0,793	34,689	2,787	3,210	100,000	5,997	5,997	0,106	0,227
17	66,043	2,008	26,038	5,859	0,052	100,000	5,911	5,911	0,332	0,335
18	63,620	3,391	29,515	0,747	2,727	100,000	3,474	3,474	0,010	0,048
19	68,222	0,430	29,232	1,372	0,743	100,000	2,116	2,116	0,211	0,325
20	75,338	0,353	21,625	1,652	1,031	100,000	2,683	2,683	0,176	0,286
21	72,289	0,473	24,544	1,539	1,156	100,000	2,694	2,694	0,205	0,360
22	69,673	4,819	21,557	1,096	2,855	100,000	3,951	3,951	0,041	0,147
23	80,963	0,762	16,727	0,726	0,823	100,000	1,548	1,548	0,035	0,075
24	57,969	0,896	37,646	2,545	0,944	100,000	3,489	3,489	0,074	0,102
25	75,901	2,569	19,199	1,201	1,130	100,000	2,331	2,331	0,012	0,024
26	78,064	0,458	17,416	3,694	0,367	100,000	4,062	4,062	0,090	0,099
27	65,552	3,423	28,425	1,889	0,711	100,000	2,600	2,600	0,071	0,098
28	75,629	4,047	15,079	5,033	0,211	100,000	5,245	5,245	0,170	0,178
29	77,225	2,485	16,574	3,442	0,274	100,000	3,716	3,716	0,136	0,146
30	79,645	2,508	13,653	4,013	0,181	100,000	4,194	4,194	0,160	0,167
31	57,963	0,903	37,932	2,603	0,598	100,000	3,201	3,201	0,146	0,179
32	59,582	4,008	31,555	1,894	2,961	100,000	4,855	4,855	0,165	0,423
33	79,116	2,165	13,042	4,457	1,220	100,000	5,677	5,677	0,385	0,491
34	78,391	1,188	11,998	8,423	0,000	100,000	8,423	8,423	0,336	0,336
35	78,851	0,320	15,066	3,469	2,295	100,000	5,764	5,764	0,221	0,367
36	70,177	0,498	24,523	3,287	1,515	100,000	4,802	4,802	0,165	0,241
37	70,357	0,986	23,129	4,176	1,353	100,000	5,528	5,528	0,172	0,228
38	70,032	0,823	25,931	2,228	0,986	100,000	3,214	3,214	0,136	0,196
39	71,974	0,662	26,277	0,806	0,281	100,000	1,087	1,087	0,219	0,296
40	62,012	3,008	30,563	3,094	1,323	100,000	4,417	4,417	0,280	0,399
41	65,929	3,840	28,117	1,071	1,043	100,000	2,114	2,114	0,123	0,243
42	72,061	0,475	23,404	2,924	1,136	100,000	4,060	4,060	0,156	0,216
43	69,921	1,585	26,614	1,147	0,734	100,000	1,881	1,881	0,243	0,398
44	56,193	1,628	36,663	-5,943	11,459	100,000	5,516	5,516	-0,084	0,078
45	61,568	1,540	32,250	2,103	2,538	100,000	4,642	4,642	0,147	0,325

Табл 5. перерахунок мінального складу для зразків 1-45.

N sample	Alm	Spess	Pyr	Gross	Andr	summ
1	84,512	7,132	3,932	4,214	0,211	100,000
2	81,055	8,370	1,310	8,684	0,580	100,000
3	80,472	8,144	3,349	6,941	1,094	100,000
4	83,912	3,349	9,063	2,860	0,817	100,000
5	86,245	5,671	6,117	1,859	0,108	100,000
6	82,659	1,279	11,756	3,874	0,432	100,000
7	78,502	7,019	10,125	4,193	0,162	100,000
8	70,695	2,311	20,368	5,300	1,326	100,000
9	79,052	2,162	14,710	3,992	0,084	100,000
10	78,867	1,070	14,980	3,614	1,468	100,000
11	63,831	20,947	13,861	1,062	0,300	100,000
12	67,162	18,680	13,742	0,000	0,417	100,000
13	78,328	0,949	15,744	0,000	4,978	100,000
14	77,114	1,527	18,682	1,767	0,910	100,000
15	64,056	0,813	31,158	0,793	3,180	100,000
16	58,521	0,793	34,689	2,787	3,210	100,000
17	66,043	2,008	26,038	5,859	0,052	100,000
18	63,620	3,391	29,515	0,747	2,727	100,000
19	68,222	0,430	29,232	1,372	0,743	100,000
20	75,338	0,353	21,625	1,652	1,031	100,000
21	72,289	0,473	24,544	1,539	1,156	100,000
22	69,673	4,819	21,557	1,096	2,855	100,000
23	80,963	0,762	16,727	0,726	0,823	100,000
24	57,969	0,896	37,646	2,545	0,944	100,000
25	75,901	2,569	19,199	1,201	1,130	100,000
26	78,064	0,458	17,416	3,694	0,367	100,000
27	65,552	3,423	28,425	1,889	0,711	100,000
28	75,629	4,047	15,079	5,033	0,211	100,000
29	77,225	2,485	16,574	3,442	0,274	100,000
30	79,645	2,508	13,653	4,013	0,181	100,000
31	57,963	0,903	37,932	2,603	0,598	100,000
32	59,582	4,008	31,555	1,894	2,961	100,000
33	79,116	2,165	13,042	4,457	1,220	100,000
34	78,391	1,188	11,998	8,423	0,000	100,000
35	78,851	0,320	15,066	3,469	2,295	100,000
36	70,177	0,498	24,523	3,287	1,515	100,000
37	70,357	0,986	23,129	4,176	1,353	100,000
38	70,032	0,823	25,931	2,228	0,986	100,000
39	71,974	0,662	26,277	0,806	0,281	100,000
40	62,012	3,008	30,563	3,094	1,323	100,000
41	65,929	3,840	28,117	1,071	1,043	100,000
42	72,061	0,475	23,404	2,924	1,136	100,000
43	69,921	1,585	26,614	1,147	0,734	100,000
44	56,193	1,628	36,663	0,000	5,516	100,000
45	61,568	1,540	32,250	2,103	2,538	100,000