

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: «Хімічний склад і класифікація піроксенів Українського щита»**

Виконала

студентка 4-го курсу

кафедри мінералогії, геохімії

та петрографії

Боровська Є. С

Науковий керівник

доцент, доктор геологічних наук

Шнюков С. Є

Робота рекомендується до захисту (протокол №10 засідання кафедри Геохімії,  
мінералогії та петрографії від 18.06)

Київ – 2023

## РЕФЕРАТ

Бакалаврської кваліфікаційної роботи

Боровської Єлизавети Сергіївни

На тему «Хімічний склад і класифікація піроксенів Українського щита»

Спеціальність **103 Науки про Землю**

Робота на 48 аркушів складається з 6 розділів і містить 20 рисунків. При підготовці роботи використовувалися матеріали з 7 джерел.

### **Актуальність**

важливість піроксенів для геології і геологічної історії.

### **Мета**

дослідження хімічного складу та класифікації піроксенів Українського щита.

### **Розв'язувані в роботі задачі**

Класифікація піроксенів наданих зразків

### **Основний зміст**

Розрахунок міналів і побудова кристалохімічної формули.

### **Основні результати**

Класифікація піроксенів і побудова діаграми вмісту мінералів в породах

### **Оригінальність роботи**

### **Практичне значення**

Основа для систематизації і уточнення даних

### **Анотація**

Ця робота спрямована на класифікацію піроксенів, зокрема їхнього хімічного складу, структури та фізичних властивостей, що присутні в Українському щиті. Вона базується на аналізі геохімічних та петрографічних даних з різних досліджень, проведених на цій території.

### **Ключові слова**

Піроксени; класифікація; мінали.

Borovska Yelyzaveta

Chemical composition and classification of pyroxenes of the Ukrainian Shield

### **Abstract**

This work is aimed at the classification of pyroxenes, in particular their chemical composition, structure and physical properties, present in the Ukrainian Shield. It is based on the analysis of geochemical and petrographic data from various studies conducted in this area.

### **Key words**

Pyroxenes; classification; exchanged

# ЗМІСТ

## ВСТУП

### I. Огляд літератури

*Піроксени та їх значення*

*Походження та поширення піроксенів на території Українського щита*

*Хімічний склад піроксенів*

*Підгрупи піроксенів*

### II. Класифікація піроксенів

*Номенклатура*

*Класифікація*

### III. Методика обробки даних

*Розрахунок стехіометричних коефіцієнтів*

*Розрахунок атомів Алюмінію і співвідношення атомів*

*Розрахунок коефіцієнтів у кристалохімічній формулі*

*Розрахунок молекулярних відсотків мінералів.*

### IV. Одержані дані

### V. Обговорення

### VI. Висновки та рекомендації

## ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

## ВСТУП

Піроксени — важлива група мінералів, які зустрічаються майже у всіх різновидових породах магматичних порід, а також в породах самих різних композицій, утворених в умовах регіонального та контактного метаморфізму. Піроксени становлять значний науковий і практичний інтерес, адже відіграють важливу роль для багатьох типів гірських порід, включаючи вулканічні, плутонічні та метаморфічні породи. Класифікація піроксенів - це один із ключових аспектів їх вивчення, та базується на різних критеріях, таких як хімічний склад, кристалічна структура та фізичні властивості.

Для дипломної роботи буде зроблено огляд відповідної літератури, описано методологію дослідження, представлено та обговорено результати, сформульовано висновки та рекомендації для подальших досліджень. Результати дослідження матимуть важливе значення для геології та геологічних досліджень Українського щита.

Актуальність теми полягає в важливості піроксенів для геології. Це поширені мінерали, які зустрічаються в багатьох геологічних формаціях, а класифікація є важливою для розрізнення видів мінералу та їх хімічних властивостей. Класифіковані піроксени можуть допомогти в розумінні геологічних процесів, в магматичних, вулканічних та метаморфічних середовищах. Окрім наукової геології, піроксени мають практичне для промисловості значення, адже розуміння класифікації мінералів можуть бути використані для розпізнавання різних типів рудних формацій, корисних копалин. Наприклад, нікелеві руди чи залізні руди.

Також класифікація піроксенів має вирішальне значення для розуміння геологічної історії Українського щита.

Піроксен, як відомо, є поширеним мінералом Українського щита породах, і його хімічний склад широко варіюється залежно від геологічного середовища та умов формування.

Метою цієї наукової роботи є дослідження хімічного складу та класифікації піроксенів Українського щита.

Завдання дипломної роботи - класифікувати піроксени Українського щита, загалом опираючись на їх хімічний склад.

Об'єктом і предметом дослідження є піроксени, їх хімічний склад та класифікація.

## I. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

### *Піроксени та їх значення*

Піроксени - це група силікатних мінералів, є найбільш значущою і поширеною групою породоутворюючих залізомагнезіальних силікатів. Вони зустрічаються майже у всіх різновидах магматичних порід, а також у породах найрізноманітнішого складу, сформованих в умовах регіонального та контактового метаморфізму.

Назва піроксен походить від грецького *pyro*, що означає "вогонь", і *xenos*, що означає "чужий", і була дана Гаюї для зеленуватих кристалів, знайдених у багатьох лавах, які, на його думку, були випадково туди включені.

Піроксени є важливою групою мінералів у петрографії - науці про гірські породи, з точки зору їх мінерального, хімічного складу та геологічних особливостей.

Піроксен кристалізується як в орторомбічній, так і в моноклінній кристалічній системі. Два основних типи піроксенів - ортопіроксен і клінопіроксен. Ортопіроксен має моноклінну кристалічну структуру і багатий на магній та залізо, тоді як клінопіроксен має більш складну кристалічну структуру і багатий на кальцій, натрій та алюміній.

Зазвичай піроксен зустрічається у вигляді кострубатих призматичних кристалів. За кольором, блиском і твердістю, а також хімічно, вони подібні до амфіболів, але

мають дещо вищу густину та не мають гідроксидів. Піроксени мають дві характерні площини розщеплення з кутами перетину близько  $87^\circ$  і  $93^\circ$ . Перпендикулярно до площин розщеплення піроксен має майже квадратні поперечні перерізи, які разом з напрямками розщеплення є діагностичними властивостями.

Піроксени мають велике значення для петрографії, адже вони використовуються як індикатори походження та еволюції гірських порід.

Ми можемо визначити умови температури і тиску, за яких формувалася порода, а також її загальний хімічний склад та історію, лише аналізуючи хімічний склад і кристалічну структуру піроксенів у гірській породі.

Наприклад, наявність певних типів піроксенів у магматичній породі може вказувати на те, чи утворилася вона з магми, що походить з мантиї, чи з земної кори.

Або, хімічний склад піроксенів у метаморфічних породах може розкрити умови температури і тиску, яких зазнала порода під час метаморфізму.

Однією особливістю піроксенів являється те, що вони зустрічаються в метеоритах.

Наявність піроксена, з цього специфічними хімічними та мінералогічними характеристиками, в планетарному тілі може на багато що вказати. Наприклад, на тип материнського тіла, з якого утворився метеорит. Тобто піроксен надає додаткову важливу інформацію про склад та еволюцію не тільки магматичної породи, а й планетарних тіл.

Вище було вказано за петрографічне значення піроксенів, але окрім цього вони

мають важливе промислове застосування. Наприклад, використовуються як абразивні матеріали у виробництві ріжучих інструментів і шліфувальних кругів, а також як вогнетривкі матеріали у виробництві високотемпературної кераміки та футеровки печей.

Загалом, вивчення піроксенів та їх значення в петрографії є важливим для розуміння формування та еволюції гірських порід, а також для застосування в промисловості.

## *Походження та поширення піроксенів на території Українського щита*

Український щит (Український кристалічний масив) - геологічна структура, припіднята південно-західна частина фундаменту Східноєвропейської платформи, і складена різними типами гірських порід, включаючи габро, діорити і перидотити. Займає понад третину території України і місцями виходить на денну поверхню.

Це унікальна геологічна структура, великий кратонічний блок, давнє геологічне утворення, яке сформувалося у архейський період, від 1600 до 3000 млн. років тому. Український щит - один з найстаріших і найстабільніших регіонів на Землі зі складною геологічною історією, що охоплює мільярди років.

Український щит сформувався шляхом виверження порід, які потім кристалізувалися, а потім піддавалися метаморфізму. Так утворилися граніти, гнейси, залізисті і магнетитові кварцити, кристалічні сланці, базальти.

Також важливим компонентом гірських порід Українського щита являються піроксени.

Піроксени надають цінну інформацію про склад, структуру та історію гірських порід щита і можуть бути використані для реконструкції геологічних процесів, які формували регіон протягом тривалого часу.

Піроксени в Українському щиті зустрічаються в різних типах порід, включаючи габро, піроксеніт та амфіболіт. Ці породи, як правило, мають мафічний склад і, як вважають, утворилися в результаті поєднання магматичних і метаморфічних процесів.

Одне з найвидатніших покладів піроксену в Українському щиті знаходиться в Білоруському рухливому поясі, що знаходиться в північній частині щита. Тут були виявлені піроксеніти і піроксеновмісне габро, а також інші мафічні та ультрамафічні породи. Вважається, що ці породи утворилися в результаті проникнення магми в континентальну кору на ранніх етапах розвитку Українського щита.

Іншим важливим джерелом піроксену в Українському щиті є Дніпровсько-Донецька западина в південно-східній частині щита. Тут піроксен зустрічається в різних типах порід, включаючи габро, діорит і амфіболіт. Вважається, що ці породи утворилися в результаті поєднання магматичних і метаморфічних процесів. Про ці умови утворення, піроксени надають важливу інформацію.

Одним із застосувань піроксену Українського щита є вивчення мантийних процесів. Він поширений у верхній мантиї Землі, вважається основним носієм мікроелементів та ізотопів регіону. Вивчаючи склад і геохімію піроксену в породах Українського щита, дослідники можуть отримати уявлення про природу та історію мантийних процесів, що впливають на регіон.

Іншим не менш важливим застосуванням піроксенів Українського щита є вивчення метаморфічних процесів.

Піроксен поширений у багатьох типах метаморфічних порід, включаючи амфіболіти, і може надати важливу інформацію про умови, за яких утворилися ці породи.

Піроксени українського щита також використовується при вивченні корисних

копалин цього району. Багато піроксенових порід містять цінні мінерали, такі як елементи платинової групи, і представляють інтерес для гірничої промисловості. Тому розуміння розподілу та характеристик піроксенвмісних порід має велике значення для розвідки та розробки ресурсів.

Вивчення піроксенів є складною галуззю, багатою на дисципліни, та має важливе значення для багатьох застосувань, зокрема наукових чи практичних. Для поглибленого вивчення геологічної історії Українського щита допомагають поточні дослідження піроксену.

У 2008 році дослідженням піроксену займався Бондаренко та ін., які вивчали мінералогію та геохімію мафічних порід Біломорського рухомого поясу. У 2002 році дослідженням піроксену займався Горшков, досліджуючи метаморфічну історію гірських порід Дніпровсько-Донецької западини. Інші цінні джерела даних щодо піроксенів Українського щита включають геологічні карти та звіти, отримані від державних установ, таких як Державна служба геології та надр України.

Загалом, вивчення піроксенів Українського щита дозволило отримати важливу інформацію про геологічну історію регіону, включаючи час і характер магматичних і метаморфічних подій, а також еволюцію континентальної кори

*(С. Г. Кривдік, Т. В. Гуравський, О. В. Дубина. ХІМІЗМ ПІРОКСЕНІВ З РУДОНОСНИХ ОСНОВНИХ ТА УЛЬТРАОСНОВНИХ ПОРІД УКРАЇНСЬКОГО ЩИТА. Геол. журнал 2009, №3)*

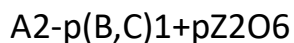
## *Хімічний склад піроксенів*

Піроксени складаються з силікатних мінералів і характеризуються ланцюжковою кристалічною структурою.

Ланцюжкова силікатна структура піроксенів забезпечує значну гнучкість у включенні різних катіонів, і назви піроксенових мінералів зазвичай описують за допомогою їхнього хімічного складу.

Піроксенові мінерали називаються відповідно до хімічних видів, що займають А (або М2), В (або М1) Катіони в В ділянці інтенсивно зв'язані з 6 оксигенами в октаедричній координації. Катіони в А (М2) можуть координуватися з 6-8 атомами кисню, залежно від довжини катіона.

Хімічний склад мінералів групи піроксенів можна виразити загальною формулою:



*де A = Ca, Na;*

*B = Mg, Fe<sup>2+</sup>, Mn, Ni, Li;*

*C = Al, Fe<sup>3+</sup>, іноді, Cr, Ti, V;*

*Z = Si, Al, рідко Ti, Fe<sup>3+</sup>;*

*p змінюється від 0 до 1.*

Спектр можливих хімічних заміщень у піроксені обмежений розмірами доступних ділянок у структурі та зарядом катіонів, що заміщують X-катіонних ділянок, як правило, більші за B-катіонні ділянки. Між ідеальними кінцевими членами відбувається інтенсивне заміщення атомів. Коли іони, що заміщують, відрізняються за зарядом, електрична нейтральність підтримується сполученими заміщеннями. Наприклад, пара, що складається з  $\text{Na}^+$  і  $\text{Al}^{3+}$ , заміщує 2  $\text{Mg}^{2+}$ .

Найпоширеніші піроксини можна представити як частину хімічної системи  $\text{CaSiO}_3$ ,  $\text{MgSiO}_3$  (енстатит) та  $\text{FeSiO}_3$  (феросиліт). Оскільки не існує справжніх піроксенів з більшим вмістом кальцію, ніж у діопсид-геденбергітовому з'єднанні. Залізо і магній вільно заміщують один одного, оскільки вони мають подібні іонні розміри та однакові заряди.

Щодо хімічних властивостей піроксенів, то, напевно, найважливішою можна вважати стійкість до хімічного вивітрювання. Це робить їх придатними для зберігання хімічних речовин, що, як ми вже знаємо, має важливе практичне значення. Піроксен має високу стійкість до хімічних реакцій навіть у суворих умовах, що робить його ідеальним для зберігання небезпечних хімічних речовин, які можуть вступати в реакцію з іншими речовинами. Окрім цього піроксени також стійкі до термічного впливу. Це робить їх ідеальними для зберігання хімічних речовин, які зберігаються при високих температурах.

Багато піроксенів мають температуру плавлення вище 1000 градусів за Цельсієм, хоча це і залежить від їх складу та структури.

Окрім хімічної стабільності та високої температури плавлення, піроксен також є інертним і нереакційноздатним матеріалом. Це означає, що вони не вступають в реакцію з хімічними речовинами, які вони зберігають, що важливо для підтримки чистоти і стабільності цих хімічних речовин протягом тривалого часу. Вони також непористі, що робить їх стійкими до вимивання та інших форм хімічної деградації.

Піроксени відомі своєю відмінною хімічною стабільністю, що робить їх ідеальними для використання в різних галузях промисловості, в тому числі як носії для зберігання небезпечних хімічних речовин.

Тобто, ця властивість є перспективним напрямком досліджень, який може мати важливе застосування в різних промислових і наукових галузях.

*(В.А.Буланов, А.И.Сизых, 2005 КРИСТАЛЛОХИМИЗМ ПОРОДООБРАЗУЮЩИХ МИНЕРАЛОВ. Учебное пособие)*

### *Підгрупи піроксенів*

Залежно від складу і ступеня впорядкованості, піроксени кристалізуються або в ромбічній, або в моноклінній сингоніях. Відповідно розрізняють дві підгрупи піроксенів - ромбічні (ортопіроксени) і моноклінні (клинопіроксени).

Ромбічні піроксени утворюють ізоморфну серію. До них входять:

*Енстантит -  $Mg_2[Si_2O_6]$*

*Феросіліт -  $Fe_2[Si_2O_6]$*

*Гіперстен -  $(Mg, Fe^{2+})_2[Si_2O_6]$*

*Донпикоріт -  $(Mn, Mg) Mg [Si_2O_6]$*

Ортопіроксени зустрічаються у вигляді суцільних кристалічних мас, волокнистих або пластинчастих, що мають різномітні розміри зерен. У вигляді фенокрістів, порфірбласт та неправильних проростань. Входять до складу різних метаморічних порід гранулітової фації. Якщо ортопіроксен зустрічається в амфіболітових фаціях, то це можна пояснити більш раннім метаморфізмом гранулітової фації. Також піроксени зустрічаються в магматичних породах.

Склад ортопіроксенів залежить від складу порід, в яких він зустрічається, і також їх приналежністю до певної генетичної групи.

Наприклад, в залізистих формаціях - феросиліти, у кристалічних сланях - гіперстіни, переважно, з вмістом феросилітового компоненту 30-60%. У специфічних комплексах магнезіального та глиноземистого складу, - бронзити з

залізистістю 20-60%.

Для вулканогенних та інтрузивних порід характерні малозалізисті ортопіроксенів. Високотемпературні ортопіроксени добре збагачені магнієм. Вміст кремнезему зазвичай мають широкі межі: 46-56%, і негативно корелює величиною залізистості, а також завжди вище в ортопіроксенах магматичних порід. У них практично відсутній кальцієвий компонент, дуже незначна і домішка марганцевого компонента. Також зв'язок складу ортопіроксенів магматичних порід можна прослідкувати з параметрами елементарної ячейки.

Параметр А в основному залежить від іонів  $Fe^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  та  $Si^{4+}$ ; на параметр В впливають  $Fe^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Al^{IV}$  та  $Al^{VI}$ ; на параметр С впливають  $Fe^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Al^{IV}$  та  $Al^{IV}$ ; іони  $Mn^{2+}$  та  $Fe^{2+}$  збільшують усі параметри. Домішні іони, такі як  $Ti^{4+}$ ,  $Fe^{3+}$ ,  $Na^{+}$  та  $K$ , присутні у невеликих кількостях, не мають істотного впливу на параметри решітки,

Однак присутність  $Ti^{4+}$  замість  $Al^{VI}$  та  $Ti^{4+}$  замість  $Fe^{3+}$  зменшує всі параметри, хоч і незначно.

Від ромбічних піроксенів, моноклінні не відрізняються по формі кристалів чи напрямку спайності, мають високий рельєф, але моноклінні піроксени мають більше високе двозаломлення, а також косо згасання.

Серед моноклінних піроксенів розрізняються кальцієві (діопсид-геденбергіт) та натрієві клинопіроксени (егірини, жадеїти, омфацити). Межі мінеральних видів у групі моноклінних піроксенів наведено на малюнку 1.1

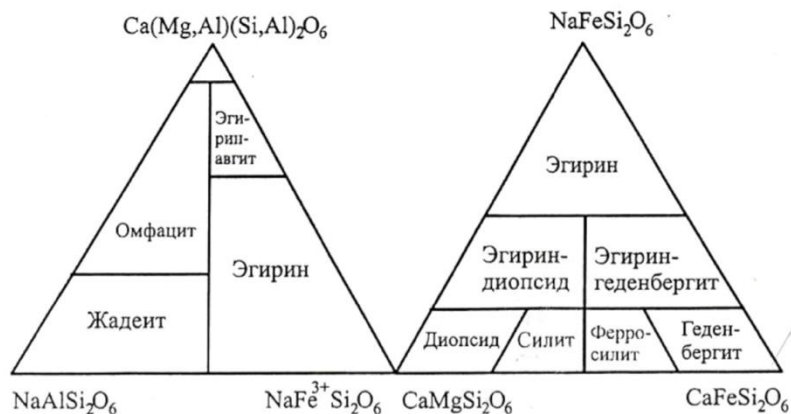


Рис. 1.1 – межі мінеральних видів моноклінних піроксенів

Клинопіроксени - це найбільш поширена група мінералів в магматичних і високотемпературних метаморфічних породах різноматнішого складу.

Для точної класифікації піроксенів на мінеральні види, необхідно враховувати наступні характеристики піроксенів.

По-перше, Mg-Fe піроксини та деякі Ca піроксини є найпоширенішими породоутворюючими піроксенами і утворюють широкі тверді розчини, тому ці піроксини краще розглядати разом як Ca-Mg-Fe або "чотиристоронні" піроксини. По-друге, Na-піроксен утворюють безперервні серії твердих розчинів з Ca-Mg-Fe-піроксенами, утворюючи Na-Ca-піроксен. По-третє, донпеакорит і каноїт (Mn-Mg піроксен), іогансеніт, петедуніт і ессеніт (Ca піроксен), а також сподумен є рідкісними за походженням і унікальними за хімічним складом. Для простоти вони розглядаються як інші піроксени.

Таким чином, всі піроксини поділяються на хімічні групи з метою широкої

класифікації:

**Ca - клинопіроксени**

Ессенеїт  $\text{CaFe}_3+[\text{AlSiO}_6]$

Фасаїт -  $\text{Ca}(\text{Mg,Fe,Al})[(\text{Si,Al})_2\text{O}_6]$

Діопсид -  $\text{CaMg}[\text{Si}_2\text{O}_6]$

**Ca-Mg-Fe-клинопіроксени**

Геденбергїт -  $\text{CaFe} [\text{Si}_2\text{O}_6]$

Піжонїт -  $(\text{Mg, Fe, Ca}) (\text{Mg, Fe}) [\text{Si}_2\text{O}_6]$

Йохансенїт -  $\text{CaMn} [\text{Si}_2\text{O}_6]$

**Na - клинопіроксени**

Егірін (акміт)-  $\text{NaFe} [\text{Si}_2\text{O}_6]$

**Ca-Na клинопіроксени**

Жадеїт -  $\text{NaAl}[\text{Si}_2\text{O}_6]$

Авгїт -  $(\text{Ca,Na})(\text{Mg,Fe,Al,Ti})[(\text{Si,Al})_2\text{O}_6]$

Космохлор -  $\text{NaCr}[\text{Si}_2\text{O}_6]$

**Fe-Mg-Mn - клинопіроксени**

Каноїт  $(\text{Mn,Mg})_2[\text{Si}_2\text{O}_6]$

Кліноенстантит -  $\text{Mg}_2[\text{Si}_2\text{O}_6]$

*Кліноферосиліт -  $(Fe^{2+}, Mg)_2[Si_2O_6]$*

### ***Лі-клинопіроксен***

*Сподумен -  $LiAl[Si_2O_6]$*

Назви піроксенів можуть бути доповнені одним або кількома прикметниковими модифікаторами згідно з певними правилами, щоб вказати на важливі (хоча й відносно незначні) відхилення від діапазонів складу. Якщо діапазон складу мінеральних видів великий, як у випадку з авгітом, для більш чіткого визначення складу використовують один або декілька прикметникових модифікаторів

Склад клинопіроксенів в певних комплексах порід відносно стійкий, тобто визначається складом породи в якій утворився клинопіроксен, а також умовами кристалізації. Наприклад, для скарнових формацій типові для твердих розчинів серії геденбергіт-діопсид-іохансеніт.

У магматичних породах, іноді метаморфічних, клинопіроксени представлені діопсидами, салітами, піжонітами, авгітами. Діопсид - це типовий мінерал метаморфізованих крем'янистих доломітів, може асоціюватися з форстеритом. Лужні породи мають широкий розкид клинопіроксенів - від діопсиду до омфацитів.

В залежності від вмісту натрія, омфацити розділяються на власне омфацити, які мають менше  $Na < 0.5$ , та омфацити-жадеїти, які мають  $Na > 0.5$ . Інші клинопіроксени називаються найтрійвмісні, якщо мають натрію більше ніж 0.15.

Як і у ортопіроксенів, клинопіроксени мають широкий діапазон вмісту

кремнезему: від 44.5 до 55%. Найбільш високий вміст у клінопіроксенів основних магматичних порід, а низький вміст - породи залізистого складу.

Загалом кремнезем ( $\text{SiO}_2$ ) - складова частина всіх породоутворюючих силікатів та алюмосилікатів. Його зміст збільшується від остівних силікатів до каркасних

Як і у випадку з плагіоклазом, вміст глинозему в плагіоклазі є важлива генетична ознака, що визначає належність мінералу до певної генетичної групи.

У природних метаморфічних та магматичних породах діопсид-геденбергітової серії вміст глинозему часто становить 1-3%. Більш високий вміст алюмінію характерний для омфацитів із еклогітів, що піддавалися високотемпературному діафорезу та мигматизації

Високі концентрації глинозему характерні для клінопіроксену магнезіальних скарнів, представленим залізо-алюмінієвим авгітом, який характеризується також високим вмістом кальцію і високим відношенням окисного заліза до закисного, що можна спостерігати в клінопіроксенах магнезіальних скарнів.

У високоалюмінієвому діопсиді глинозем негативно корелює з кремнеземом.

Клінопіроксени гранулітової та амфіболітової фаз не відрізняються один від одного за вмістом алюмінію.

*(В.А.Буланов, А.И.Сизых, 2005 КРИСТАЛЛОХИМИЗМ ПОРОДООБРАЗУЮЩИХ МИНЕРАЛОВ. Учебное пособие)*

## II. КЛАСИФІКАЦІЯ ПІРОКСЕНІВ

Після ретельної оцінки групи піроксенів підкомітету з піроксенів, у 1987 році, Комісією з нових мінералів і їх назв, було схвалено рекомендації щодо нової класифікації та номенклатури піроксенів.

Номенклатра і класифікація мінералів значною мірою базується на їх кристалохімії. Також важливою складовою класифікації є розрахування хімічного вмісту піроксенів на шість атомів кисню та чотири катіони. Для моноклінних піроксенів ця формульна одиниця відповідає одній чверті елементарної комірки, а для ромбічних піроксенів - одній восьмій.

### *Номенклатура піроксенів*

Позначення основних стехіометрій загально визнаними назвами з прикметниковими модифікаторами, які вказують на наявність істотних замін, але які не істотні складові, - це принцип який дотримувався, наскільки було можливо, у номенклатурі піроксена, і позичений у номенклатурі амфіболів. Запропонована номенклатура не включає жодних нових назв. З іншого боку, використовується поєднання нових і традиційних методів для визначення прийнятих і широко використовуваних назв. Це робиться, щоб максимально відповідати поточному використанню.

У номенклатурі є два різновиди модифікаторів прикметників. Перший для визначення частини діапазону складу, показаного мінералом, який творить широкі тверді розчини. «Багатий магнієм (або Mg-) авгіт» і «багатий залізом (або Fe-) авгіт» — це терміни, які описують різні види мінералів. Другий для елементних замінів, які не є основними компонентами (наприклад, титановий авгіт), можна визначити за допомогою іншого типу модифікатора.

Комісія з нових мінералів, номенклатури та класифікації (CNMMN) офіційно дискредитувала 105 назв піроксену, які раніше використовувалися. У більшості випадків ці назви були синонімами, застарілими, рідко використовуваними або рекомендованими до відмови. Для того щоб впоратися із проблемою номенклатури піроксенів, їх ряди твердих розчинів розділяють на діапазони із заданим складом і назвами. Коли ж існує повний ряд твердих розчинів між двома кінцевими елементами, то, зазвичай, використовують лише дві назви. Проте не завжди такий спосіб є вірним чи можливим. Саме тому, незважаючи на правило, описане вище, було прийнято 20 мінеральних назв піроксенів, які найбільш широко поширені та відомі.

Mineral names	Composition as end member	Main composition as solid solution	Space group	
A. Mg-Fe pyroxenes				
1. <b>enstatite (En)</b>	Mg <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	} (Mg,Fe) <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	<i>Pbca</i>	
2. <b>ferrosilite (Fs)</b>	Fe <sup>2+</sup> Si <sub>2</sub> O <sub>6</sub>		(Mg,Fe) <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	<i>P2<sub>1</sub>/c</i>
3. clinoenstatite			(Mg,Fe,Ca) <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	<i>P2<sub>1</sub>/c</i>
4. clinoferrosilite				
5. pigeonite				
B. Mn-Mg pyroxenes				
6. donpeacorite		(Mn,Mg)MgSi <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	<i>Pbca</i>	
7. <b>kanoite (Ka)</b>	MnMgSi <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	(Mn,Mg)MgSi <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	<i>P2<sub>1</sub>/c</i>	
C. Ca pyroxenes				
8. <b>diopside (Di)</b>	CaMgSi <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	} Ca(Mg,Fe)Si <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	<i>C2/c</i>	
9. <b>hedenbergite (Hd)</b>	CaFe <sup>2+</sup> Si <sub>2</sub> O <sub>6</sub>		(Ca,Mg,Fe) <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	<i>C2/c</i>
10. augite				<i>C2/c</i>
11. <b>johannsenite (Jo)</b>	CaMnSi <sub>2</sub> O <sub>6</sub>			<i>C2/c</i>
12. <b>petedunnite (Pe)*</b>	CaZnSi <sub>2</sub> O <sub>6</sub>			<i>C2/c</i>
13. <b>esseneite (Es)**</b>	CaFe <sup>2+</sup> AlSiO <sub>6</sub>		<i>C2/c</i>	
D. Ca-Na pyroxenes				
14. omphacite		(Ca,Na)(R <sup>2+</sup> ,Al)Si <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	<i>C2/c, P2<sub>1</sub>/n</i>	
15. aegirine-augite		(Ca,Na)(R <sup>2+</sup> ,Fe <sup>2+</sup> )Si <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	<i>C2/c</i>	
E. Na pyroxenes				
16. <b>jadeite (Jd)</b>	NaAlSi <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	} Na(Al,Fe <sup>2+</sup> )Si <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	<i>C2/c</i>	
17. <b>aegirine (Ae)</b>	NaFe <sup>2+</sup> Si <sub>2</sub> O <sub>6</sub>			<i>C2/c</i>
18. <b>kosmochlor (Ko)</b>	NaCr <sup>3+</sup> Si <sub>2</sub> O <sub>6</sub>			<i>C2/c</i>
19. <b>jervisite (Je)†</b>	NaSc <sup>3+</sup> Si <sub>2</sub> O <sub>6</sub>			<i>C2/c</i>
F. Li pyroxene				
20. <b>spodumene (Sp)</b>	LiAlSi <sub>2</sub> O <sub>6</sub>		<i>C2/c</i>	

Рис. 2.1 - Прийняті назви та хімічні підрозділи піроксенів.

Але для того щоб точно класифікувати піроксени на 20 мінеральних видів, необхідно пам'ятати за кілька важливих характеристик.

По-перше, найпоширенішими породоутворюючими піроксенами є MgFe і деякі Ca, які утворюють широкі тверді розчини. Вони покривають піроксеновий чотирикутник потрійної діаграми. Тому доцільніше групувати ці піроксени разом як Ca-Mg-Fe або «чотирикутні» піроксени.

По-друге, піроксени Na утворюють безперервний ряд твердих розчинів з піроксенами Ca-Mg-Fe, в результаті чого утворюються піроксени Na-Ca.

По-третє, є рідкісні та унікальні за хімічним складом піроксени, такі як донпеакорит і каноїт у піроксенах Mn-Mg, йогансеніт, петедуніт і есеніт у піроксенах Ca, а також сподумен. Щоб спростити їхню класифікацію, ці піроксени згруповані разом як «інші» піроксени через їх незвичайне виникнення та відмінний

хімічний склад.

Узагальнюючи, всі піроксени розподіляються на чотири хімічні групи: Ca-Mg-Fe-піроксени; Na-Ca-піроксени; Na-піроксени; інші.

Піроксени - силікатні мінерали, що складаються із з'єднаних ланцюгів тетраедрів SiO зі простою кількістю заміщення Si на Al та інші другорядні катіони. Блок повторення вздовж ланцюга (вісь c) складається з двох тетраедрів і має довжину близько 0,52 нм. Усі піроксени мають загальну формулу  $M_2MI_2O_6$ , де M2 - катіон із спотвореною октаедричною координацією, M1 - катіон із нормальною октаедричною координацією, а T - катіон із тетраедричною координацією.

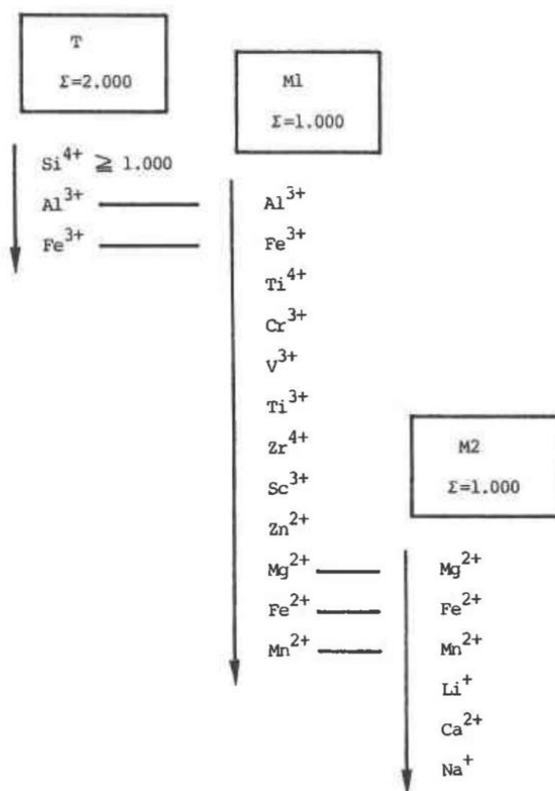


Рис. 2.2 Схематичне зображення розподілу основних катіонів у піроксенів.

## Класифікація піроксенів

Перед тим як класифікувати піроксени, рекомендується розділити їх на чотири хімічні групи, згадані вище. Піроксени класифікуються за допомогою зазначеної кількості катіонів на основі шести атомів кисню.

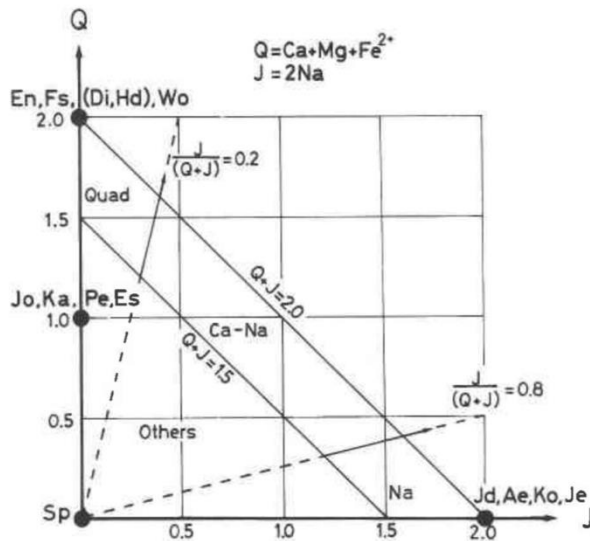


Рис. 2.3 діаграма Q-J.

Для поділу діаграми використовуються наступні рівняння:

(1)  $Q + J = 2.0$

(2)  $Q + J = 1.5$

(3)  $J/(Q + J) = 0,2$  (4)

(4)  $J/(Q + J) = 0,8$

На цій діаграмі J означає загальну кількість Na і  $R^{3+}$ , зазвичай Al,  $Fe^{3+}$ ,  $Cr^{3+}$  і  $Sc^{3+}$ , які поєднуються з Na. Коли зв'язане заміщення в піроксені відноситься не до першого типу, а до другого чи третього, значення J, очевидно, не представляє дійсні числа Na і  $R^{3+}$  у M ячейці. Проте ефекти заміщень мають особливість компенсувати один одного в області Na-піроксенів.

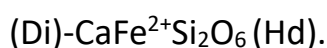
Границя  $Q+J=2.0$  представляє верхню межу Q+J в M точках.

Межа  $Q+J=1.5$  представляє межу, нижче якої більше половини ділянок M1 або M2 можуть бути зайняті іонами, відмінними від іонів Q та J. У цьому випадку піроксен вважається іншим, до яких відносяться Mn-Mg і Li піроксени.

Третє і четверте рівняння представляють лінії, що розділяють область, обмежену двома вищезгаданими лініями Q+J, на Ca+Mg+Fe, Ca-Na і Na піроксенів.

### **Піроксени Ca-Mg-Fe**

Піроксени Ca-Mg-Fe, які зазвичай зустрічаються в гірських породах, демонструють широкий діапазон твердих розчинів у піроксеновому чотирикутнику системи  $Mg_2Si_2O_6$  (En)- $Fe^{2+}_2Si_2O_6$



У піроксенах Ca-Mg-Fe є різновиди, що володіють орторомбічною симетрією. Ці ортопіроксени мають простий хімічний ряд, представлений як  $(Mg,Fe)_2Si_2O_6$ , на відміну від клінопіроксенів Ca-Mg-Fe, які демонструють ширший діапазон хімічних

складів.

У результаті класифікація піроксенів Ca-Mg-Fe базується на симетрії та відносних частках  $\text{Ca}_2\text{Si}_2\text{O}_6$  (Wo),  $\text{Mg}_2\text{Si}_2\text{O}_6$  (En) і  $\text{Fe}+\text{Si}_2\text{O}_6$  (Fs).

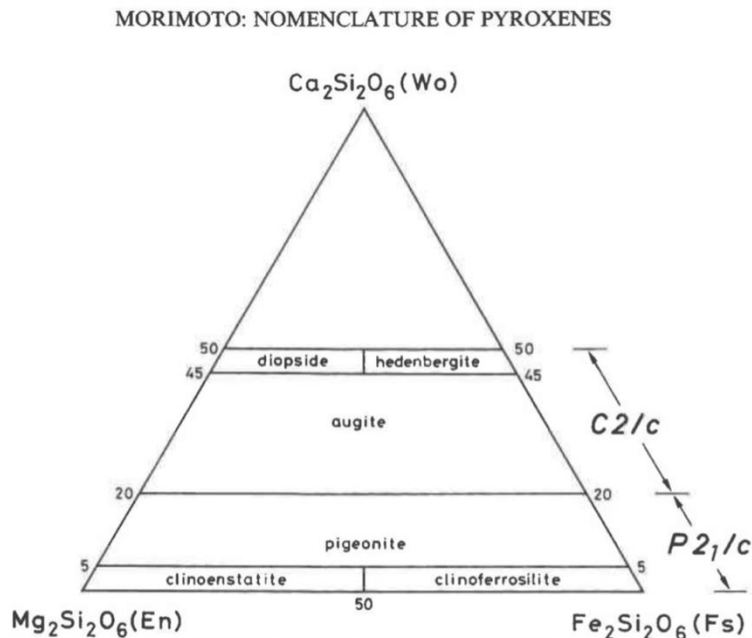


Рис. 2.4 Діапазони складу Ca-Mg-Fe піроксенів

Різниця між авгітом і піжонітом у Ca-Mg-Fe піроксенах є насамперед структурною, їхні просторові групи -  $C2/c$  і  $P21/c$ , відповідно. Між авгітом і піжонітом існує проміжок змішуваності, і багато піроксенів з 15-25% Wo виявилися їхніми сумішами. Авгіт з вмістом менше 25% Wo часто називають субкальцієвим авгітом. При нагріванні піжоніт зазнає швидкого розпадного перетворення на структуру  $C2/c$ , яка не піддається загартуванню. Авгіт не зазнає такого перетворення.

Найбільш багатий на кальцій ортопіроксен містить приблизно 5% Wo

### Na та Ca-Na піроксени

Na-піроксен, жадеїт і егірин, зазвичай містять понад 90% компонента  $\text{NaAlSi}_2\text{O}_6$  або  $\text{NaFe}^{3+}\text{Si}_2\text{O}_6$ , відповідно, але не містять ні Ко, ні Je. Оскільки космохлор є рідкісним супутнім компонентом деяких залізних метеоритів, а для космохлору і джервізиту відомо лише по одному земному місцезнаходженню, ці два різновиди розглядаються окремо в класифікації Na-піроксенів. Однак, як жадеїт, так і егірин демонструють значну кількість твердих розчинів з Ca-Mg-Fe піроксенами, особливо з діопсид-геденбергітовою серією та авгітом, що призводить до утворення Ca-Na піроксенів.

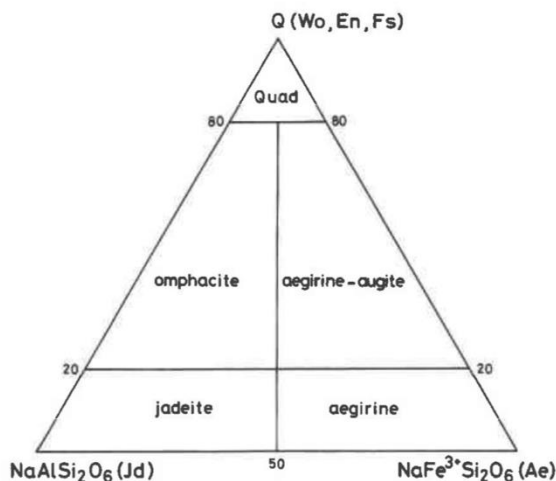


Рис. 2.5 Діаграма класифікації Na та Ca-Na піроксенів

Окремо, омфацит має два підвиди, оскільки має унікальну кристалічну структуру, на відміну від жадеїту та авгіту. Егірин-аугіт також прийнято вважати самостійним видом.

### Інші піроксени

Більшість природних інших піроксенів - це іогансеніт ( $\text{CaMnSi}_2\text{O}_6$ ), петедуніт

(CaZnSi<sub>2</sub>O<sub>6</sub>) і сподумен (LiAlSi<sub>2</sub>O<sub>6</sub>).

### **Незвичайні піроксени**

Кілька піроксенів з незвичайним хімічним складом (табл. 3) з'являються за межами області між лініями  $Q+J = 2.0$  і  $Q+J = 1.5$  на діаграмі Q-J, хоча вони не належать до "інших" піроксенів, згаданих вище. Вони містять велику кількість хімічних компонентів заміщень. Ці піроксени розділяють багаті на Ca-компонент і багаті на Na-компонент.

*(N.Morimoto Chairman, 1988. Nomenclature of pyroxenes)*

### III. МЕТОДИКА ОБРОБКИ ДАНИХ

Головною характеристикою для мінералу - є його хімічна формула, яка визначає кристалохімічну структуру. Вона і визначає природу мінералу, а також приналежність до певного мінерального ввиду і хімічний склад. Тип мінеральної формули залишається постійним, на відміну варіацій у ваговому відсотковому складі. Для кожного зразка формула має різний елементний склад, але її тип не змінюється і по суті є результатом кількісного хімічного аналізу, вираженого не в вагових, а в атомних відношеннях. Хімічний склад мінералів вивчається з використанням традиційних хімічних методів, і різноманітних методик визначення елементів. Результати цих аналізів подаються у вигляді вагових відсотків оксидів, що входять до складу мінералу. Проте, один елемент у мінералі може замінюватись іншим, утворюючи безперервну зміну складу, яка поступово переходить від одного крайнього члена до іншого. Зокрема, у породоутворюючих мінералах, де широко поширене ізоморфне заміщення, вагові співвідношення оксидів можуть змінюватись у широких межах і не можуть бути чіткою характеристикою специфікації мінералу.

Саме тому, хімічна формула - головна характеристика мінералу. Однією із задач є виведення хімічної формули із отриманих даних аналізу. Основна ідея всіх формул, отриманих безпосередньо з хімічного аналізу, полягає у перетворенні чисельного значення складу мінералу у вагових відсотках у нову відносну величину на єдиній шкалі, яка є кількістю найпростіших частинок, що становлять кристалічну решітку

мінералу. Ця відносна кількість є атомною вагою.

Набільш широко відомий, за використанням в мінералогічних дослідженнях розрахунків формул, є метод розрахунку за кислородом.

#### *Розрахунок стехіометричних коефіцієнтів*

При розрахунку формули мінералу за методом розрахунку за кислородом, всі обчислення виконуються в визначеному порядку.

1. Знаходяться молекулярні кількості кожного компонента за формулою - масовий відсоток, поділений на молекулярну вагу.

Для уникнення дробових величин ці числа нерідко множаться на 10000 чи 1000.

2. Розраховуються атомні кількості катіонів множенням молекулярної кількості компонентів на число атомів кисню у його теоретичній формулі.

3. Підраховуються атомні кількості кисню у кожному оксиді множенням молекулярних кількостей компонентів число атомів кисню у тому формулах.

4. Підраховується сума атомних кількостей кисню.

5. Обчислюється загальний дільник (розрахунковий фактор) як приватний від поділу суми всіх атомних кількостей кисню на число атомів у теоретичній формулі мінералу.

6. Знаходяться числа кожного катіону у формулі мінералу поділом відповідного йому атомної кількості розрахунковий чинник. Число атомів кисню, згідно з

основною умовою всіх розрахунків, прирівнюється до теоретичного.

7. Проводиться перевірка точності арифметичних обчислень за сумою позитивних та негативних зарядів. Зважаючи на немінучість невеликих похибок у обчисленнях, через округлення різних величин у більшу чи меншу сторону, допустимо незначне відхилення кількості позитивних набоїв від суми негативних.

комплекс	порода/ мінерал			SiO2	TiO2	Al2O3	Fe2O3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	P2O5
из габбро-норита	диопсид	1	Молекулярна вага	51.68	0.17	2.12	2.01	6.94	0.19	13.49	22.33	0.78	0.21	0.07
			Молекулярна кількість	60.00	79.90	101.80	159.60	71.80	70.90	40.30	56.00	61.80	94.00	141.80
			Атомні кількості катіону	0.86	0.00	0.02	0.01	0.10	0.00	0.33	0.40	0.01	0.00	0.00
			Атомні кількості катіону	0.86	0.00	0.04	0.03	0.10	0.00	0.33	0.40	0.03	0.00	0.00
			Атомні кількості аніону	1.72	0.00	0.06	0.04	0.10	0.00	0.33	0.40	0.01	0.00	0.00
из двупироксен- плагиоклазового кристаллического сланца	диопсид	2	Молекулярна вага	51.71	0.00	2.34	4.90	4.49	0.07	13.48	21.70	1.21	0.10	0.00
			Молекулярна кількість	60.00	79.90	101.80	159.60	71.80	70.90	40.30	56.00	61.80	94.00	141.80
			Атомні кількості катіону	0.86	0.00	0.02	0.03	0.06	0.00	0.33	0.39	0.02	0.00	0.00
			Атомні кількості катіону	0.86	0.00	0.05	0.06	0.06	0.00	0.33	0.39	0.04	0.00	0.00
			Атомні кількості аніону	1.72	0.00	0.07	0.09	0.06	0.00	0.33	0.39	0.02	0.00	0.00
из основного кристаллосланца	салит	3	Молекулярна вага	51.85	0.05	1.40	1.58	9.98	0.16	13.15	21.36	0.42	0.04	0.00
			Молекулярна кількість	60.00	79.90	101.80	159.60	71.80	70.90	40.30	56.00	61.80	94.00	141.80
			Атомні кількості катіону	0.86	0.00	0.01	0.01	0.14	0.00	0.33	0.38	0.01	0.00	0.00
			Атомні кількості катіону	0.86	0.00	0.03	0.02	0.14	0.00	0.33	0.38	0.01	0.00	0.00
			Атомні кількості аніону	1.73	0.00	0.04	0.03	0.14	0.00	0.33	0.38	0.01	0.00	0.00
из основного кристаллосланца	салит	4	Молекулярна вага	51.66	0.00	1.06	3.42	9.13	0.28	13.31	20.32	0.65	0.15	0.02
			Молекулярна кількість	60.00	79.90	101.80	159.60	71.80	70.90	40.30	56.00	61.80	94.00	141.80
			Атомні кількості катіону	0.86	0.00	0.01	0.02	0.13	0.00	0.33	0.36	0.01	0.00	0.00
			Атомні кількості катіону	0.86	0.00	0.02	0.04	0.13	0.00	0.33	0.36	0.02	0.00	0.00
			Атомні кількості аніону	1.72	0.00	0.03	0.06	0.13	0.00	0.33	0.36	0.01	0.00	0.00
из пироксенового кристаллического сланца	салит	5	Молекулярна вага	50.57	0.11	2.81	1.61	11.62	0.36	12.00	20.35	0.46	0.10	0.00
			Молекулярна кількість	60.00	79.90	101.80	159.60	71.80	70.90	40.30	56.00	61.80	94.00	141.80
			Атомні кількості катіону	0.84	0.00	0.03	0.01	0.16	0.01	0.30	0.36	0.01	0.00	0.00
			Атомні кількості катіону	0.84	0.00	0.06	0.02	0.16	0.01	0.30	0.36	0.02	0.00	0.00
			Атомні кількості аніону	1.69	0.00	0.08	0.03	0.16	0.01	0.30	0.36	0.01	0.00	0.00

Рис. 3.1 – розрахунок стехіометричних коефіцієнтів.

*Розрахунок атомів Алюмінію і співвідношення атомів*

При перерахунку піроксенів обчислюємо:

а) кількість атомів Al<sup>IV</sup> у четвертій координації:  $Al^{IV}=2-Si$

б) кількість атомів Al<sup>VI</sup> у шестерній координації:  $Al^{VI} = Al - Al^{IV}$

в) співвідношення атомів:  $Fe^{2+}=100*Fe^{2+}/T$ ;  $Mg'=100*Mg/T$ ;  $Ca'=100*Ca/T$ ;

$Na'=100*Na/T$ ;  $K'=100*K/T$ , де  $T=Fe^{2+}+Mg+Ca+Na+K$

г) залізистість - f та магнезіальність - X:

$f=(Fe^{3+}+Fe^{2+})/(Fe^{3+}+Fe^{2+}+Mn+Mg)$ ;  $X=Mg/(Fe^{3+}+Fe^{2+}+Mn+Mg)$ .

*Розрахунок коефіцієнтів у кристалохімічній формулі*

Щоб дізнатися реальний вміст атомів кисню у формульній одиниці елементарного осередку, тобто коефіцієнт кисню у формулі мінералу, атомне відношення кисню помножують на множник K.

Додаючи атомні відношення катіонів і повноживши їх на множник K, можна дізнатися реальний вміст всіх катіонів у формульній одиниці елементарного осередку, а для того щоб дізнатися реальний вміст іонів кожної рівнорадіусної групи - додаємо атомні відношення по рівнорадіусним групам.

Загалом, власне для піроксенів K - кількість аніонів кислород - дорівнює 6.

Для того щоб розрахувати коефіцієнти в кристалохімічній формулі, ми проводимо обчислення у визначеному порядку:

1. Розраховуємо коефіцієнти елемента у позиції Z.

$$(Si+Al) > 2: Al^{IV} = 2 - Si, Ti^{IV} = 0, Fe^{3+} = 0;$$

$$(Si+Al) < 2, a(Si+Al+Ti) > 2: Al^{IV} = Al, Ti^{IV} = 2 - (Si+Al);$$

$$(Si+Al+Ti) < 2: Al^{IV} = Al, Ti^{IV} = Ti, Fe^{3+}.$$

$$Z = 2 - (Si+Al+Ti);$$

2. Розраховуємо коефіцієнти елементів у позиції (B+C):

$$Al^V_C = Al - Al^{IV}_Z,$$

$$Ti_C = Ti - Ti^{IV}_Z,$$

$$Fe_C = Fe^{3+} - Fe^{3+}_Z,$$

$$Cr_C = Cr,$$

$$Mg_B = Mg,$$

3. Розраховуємо коефіцієнти елементів у позиції A.

$$Ca_A = Ca,$$

$$Na_A = Na,$$

$$K_A = K;$$

4. Розраховуємо коефіцієнти в основних структурних групах піроксену:

$$A = (Ca_A + Na_A + K_A);$$

$$B = (Fe^{2+} + Mg + Mn);$$

$$C = (Al_C + Fe_C + Cr_C + Ti_C);$$

$$Z = 2.0.$$

*Розрахунок молекулярних відсотків мінералів.*

Після того, як була зіставлена кристалохімічна формула, з якою визначається кінцевий склад мінералів, ми перераховуємо власне мінеральний склад піроксенів.

Способи перерахунку залежать від підвиду піроксенів. Наприклад, ромбічні піроксени перераховуються на два мінерали - енстатит і феросиліт. Тоді сума магнія і двухвалентного заліза прирівнюється до 100% і вираховується процентна кількість магній-ортопіроксена (енстатит) і ферум-ортопіроксена (феросиліт). Для того щоб дізнатися ромбічний це піроксен чи моноклінний, ми дивимося на суму коефіцієнтів елементів, що займають структурні позицію Ca і Na. Якщо вона менше 0.5, то це ромбічний піроксен. В іншому випадку - моноклінний піроксен.

У випадку моноклінних піроксенів, ми також маємо два варіанти перерахунку, які залежать від співвідношення Ca до суми Mg, Fe<sup>2+</sup> і Mn. При першому варіанті весь Ca витрачається на спільні з Mg, Fe<sup>2+</sup> і Mn мінерали, а Mg, Fe<sup>2+</sup>, які залишаються, утворюють кліноенстатит і кліноферосиліт. У цьому випадку сума Ca, Na і Mg і Fe<sup>2+</sup>, що залишилися, відповідає 100%. Відсоткова сума складає 100% від суми мінералу

кальцію, мінералу натрію, магнію, що залишився, і мінералу двовалентного заліза. Потім, своєю чергою, розділивши суму коефіцієнтів  $Mg \cdot Fe^{2+}$  ділять на суму коефіцієнтів  $Mn$  і множать на відсотковий вміст мінералів кальцію, щоб отримати молекулярну вагу кожного компонента діопсиду, геденберга та йохансеніту. Молекулярна маса компонентів егірину та жадеїту виходить шляхом розподілу коефіцієнта тривалентного заліза та алюмінію на суму їх коефіцієнтів та множення на частку мінералів натрію. Нарешті, молекулярна частка компонентів клиностену і клиноферосиліту виходить шляхом розподілу кількості магнію і двовалентного заліза, що залишилася, на суму їх часток і множення на частку клиноферосиліту.

Всі обчислення при першому варіанті можна описати у визначеному порядку:

1. Визначаємо співвідношення  $Ca$  до суми  $Mg+Fe^{2+}+Mn$ . Так як  $Ca$  витрачається без залишку, маємо перший варіант перерахунку.
2. Визначаємо відсотков частку кальєєвих, натрієвих і магній-залізистих мінералів, що залишаються.
3. Визначаємо молекулярні відсотки діопсидової, гедендергітової та охансенітової складових.
4. Визначаємо молекулярні відсотки кліноенстатитової та клиноферосилітової складових.

При другому варіанту, при утворенні спільних  $Ca-Mg$ ,  $Ca-Fe^{2+}$  і  $Ca-Mn$  мінералів вся кількість  $Mg$ ,  $Fe^{2+}$  і  $Mn$  витрачається,  $Ca$ , що залишилася, йде на утворення

воластоніту. У цьому випадку сума коефіцієнтів Mg, Fe<sup>2+</sup>, Mn, Na та залишкового Ca встановлюється рівною 100%, і розраховується співвідношення компонентів мінералів Mg, Fe<sup>2+</sup> та Mn ( $A = (Mg + Fe + Mn)/(Ca + Na)$ ), мінералів Na ( $B = Na / (Ca + Na)$ ), воластоніта  $Vol = (Ca - (Mg + Fe^2 + Mn) / (Ca + Na))$ . Потім кількості Mg, Fe<sup>2+</sup> та Mn послідовно діляться на їхню суму і множаться на відсоток, щоб отримати молекулярні відсотки компонентів діопсиду, геденбергу та йохансеніту.

Розподіл кількості Fe<sup>3+</sup> та Al<sup>VI</sup> на суму та помноживши на проценту кількість натрієвих мінералів, отримуємо молекулярні відсотки компонентів егірину та жадеїту.

Послідовність дій повинна бути такою:

1. Визначаємо співвідношення Ca та суми Fe<sup>2+</sup>+Mg+Mn. Якщо  $Ca > (Fe^{2+} + Mg + Mn)$  маємо другий варіант перерахунку.

2. Визначаємо відсоткову частку залізо-магній-марганцевих, натрієвих мінералів та воластоніту.

3. Визначаємо молекулярні відсотки діопсидової, геденбергітової та йохансенітової складових.

4. Визначаємо молекулярні відсотки егіринової та жадеїтової складових.

*(В.А.Буланов, А.И.Сизых, 2005 КРИСТАЛЛОХИМИЗМ ПОРОДООБРАЗУЮЩИХ МИНЕРАЛОВ. Учебное пособие)*

#### IV. Одержані дані

Грунтуючись на методику обробки даних, отримано такі дані.

#### Метаморфічні породи

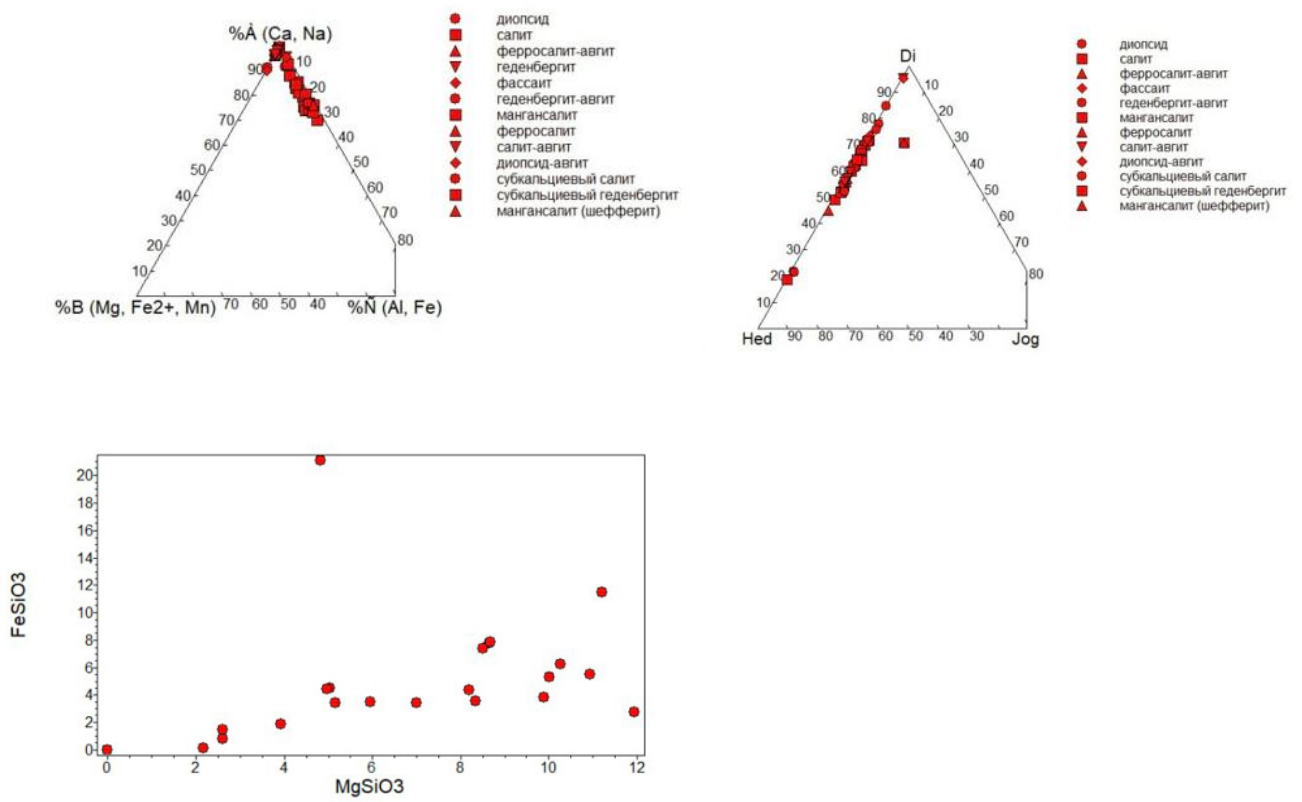


Рис. 4.1 - вміст піроксенів в сланцях

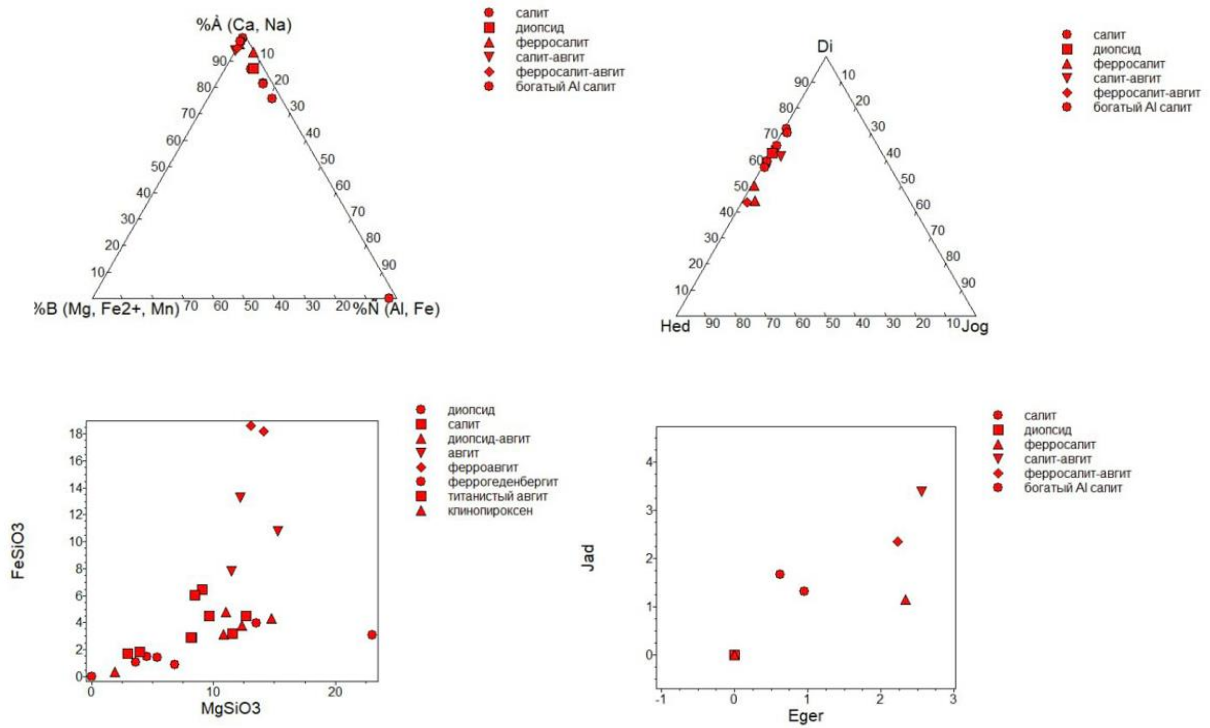


Рис. 4.2 - вміст піроксенів в гнейсах

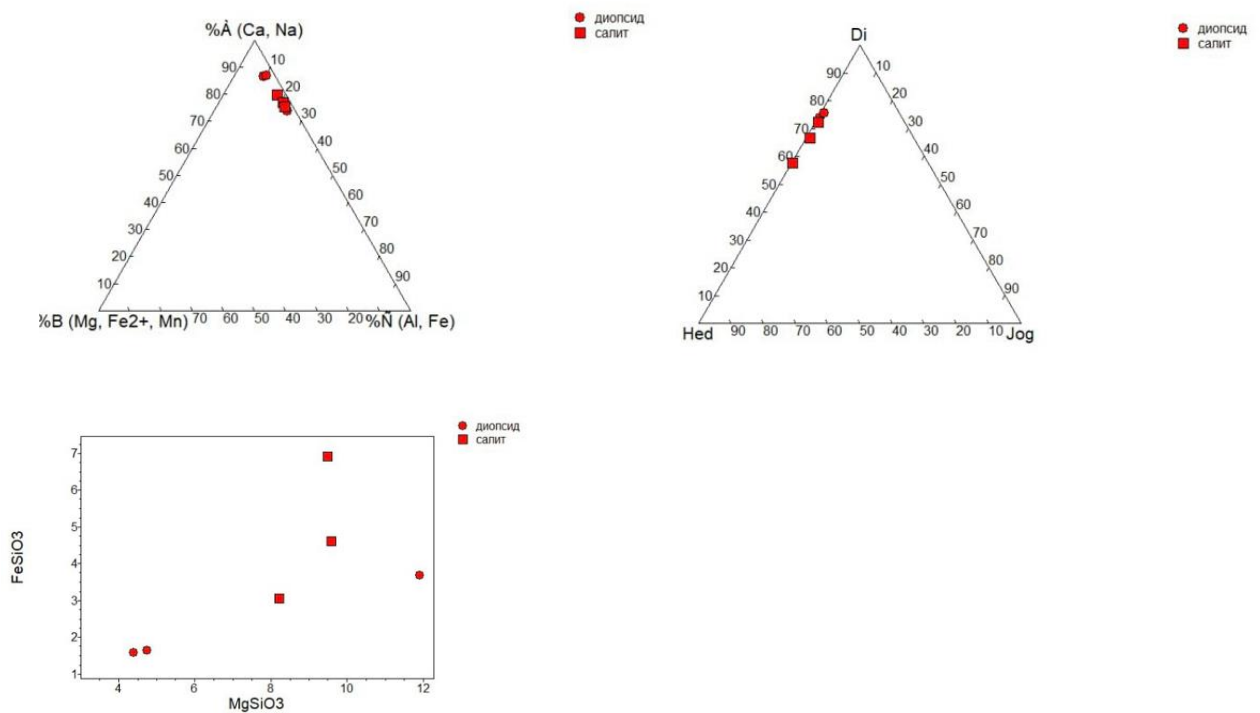


Рис. 4.3 - вміст піроксенів в метаефзитах

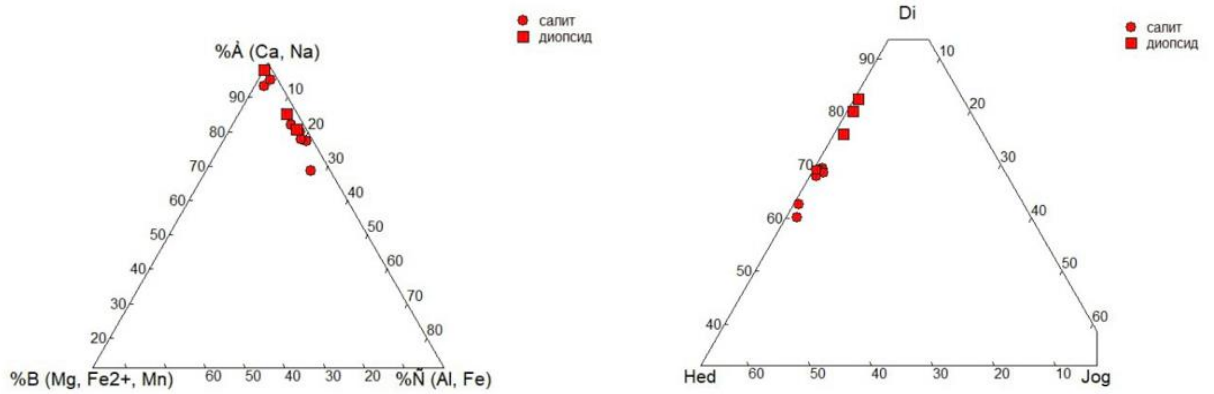


Рис. 4.4 - вміст піроксенів в амфіболітах

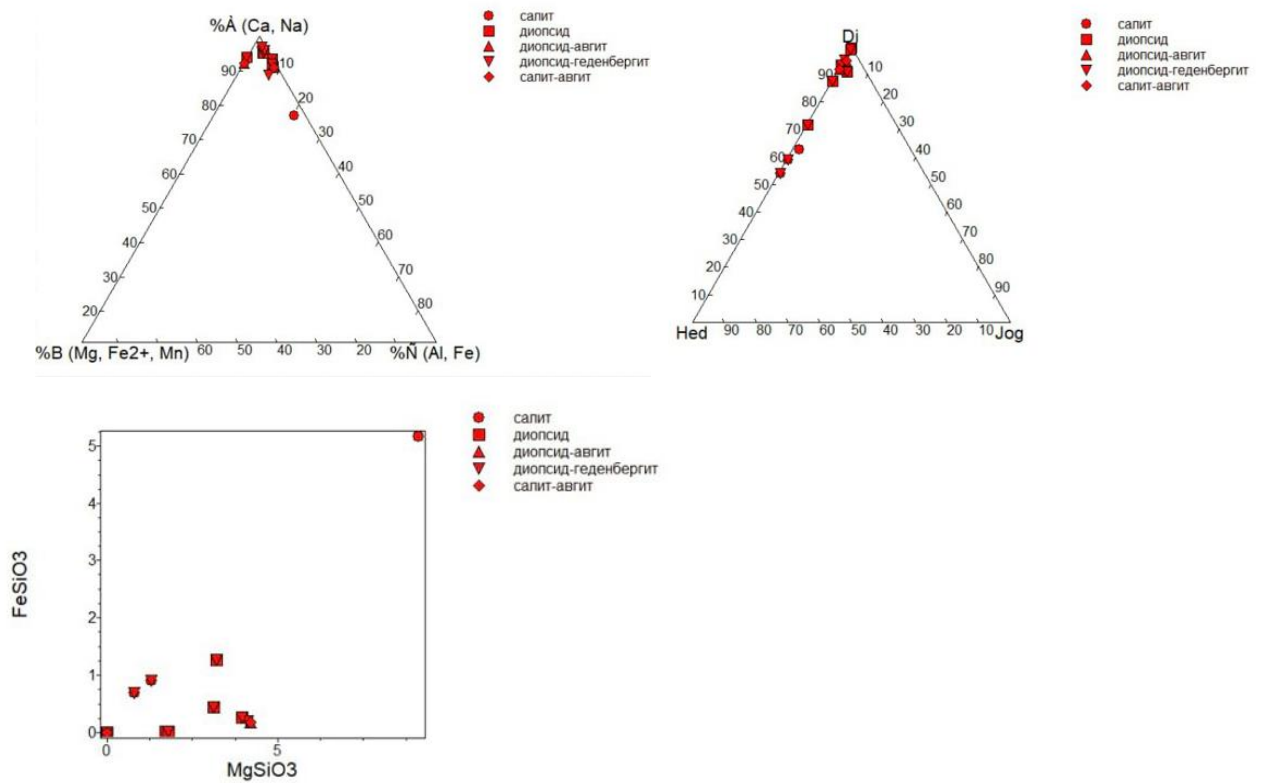


Рис. 4.5 - вміст піроксенів в кальцифірах

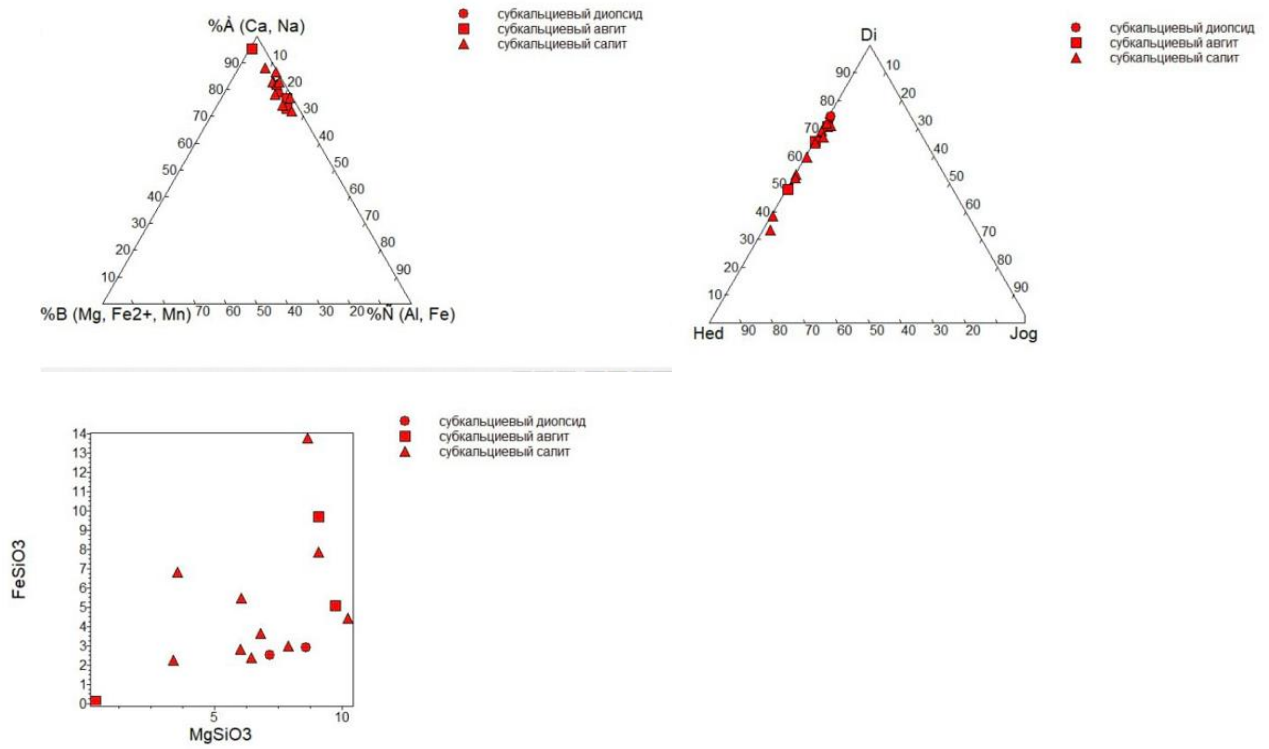


Рис. 4.6 - вміст піроксенів в кварцитах

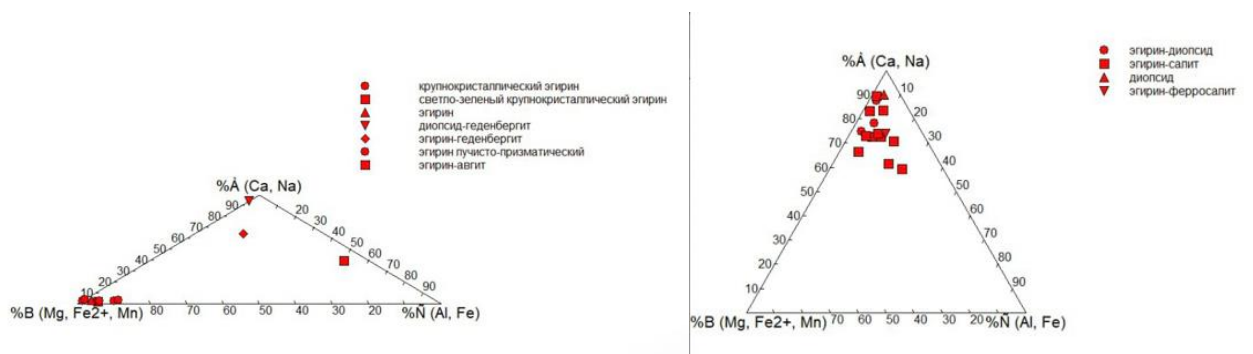


Рис. 4.7 - вміст піроксенів в роговиках і фенітах

## Магматичні породи.

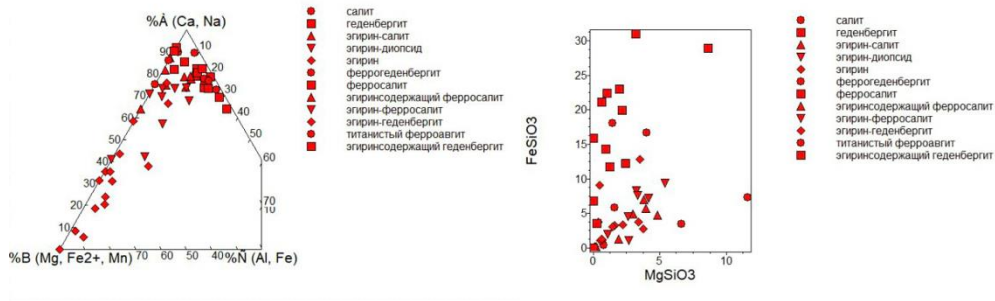


Рис. 4.8 - вміст піроксенів в сінітах

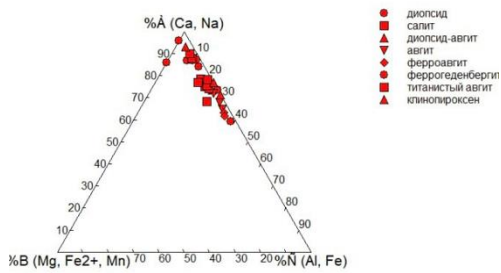


Рис. 4.9 - вміст піроксенів в габбро

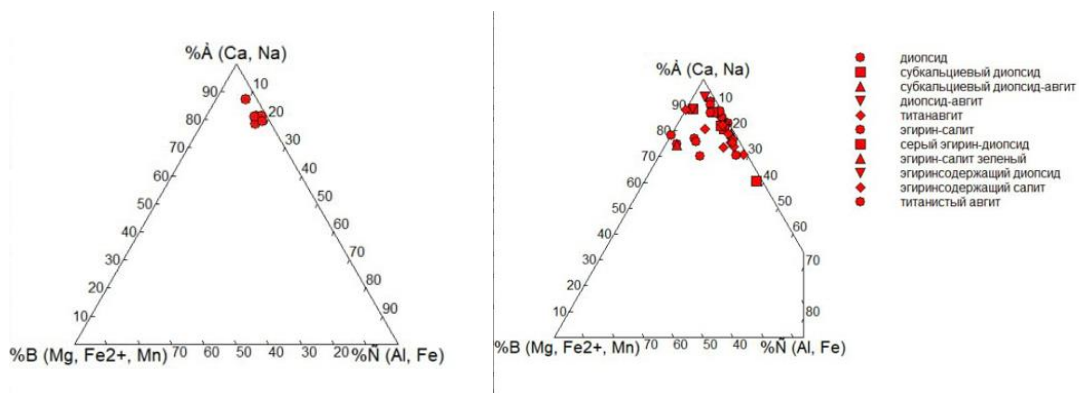


Рис. 4.10 - вміст піроксена в чарнокітах і піроксенітах

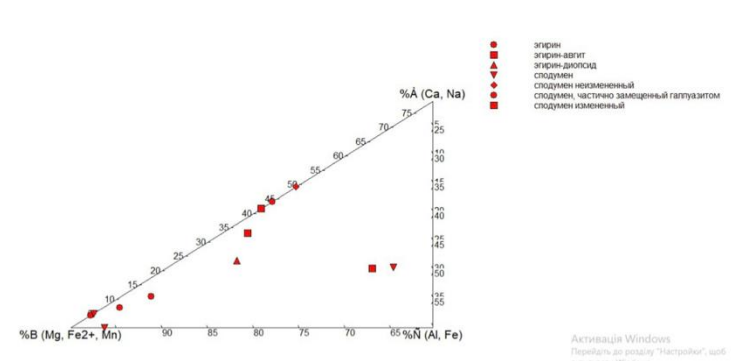


Рис. 4.11 - вміст піроксена в пегматитах

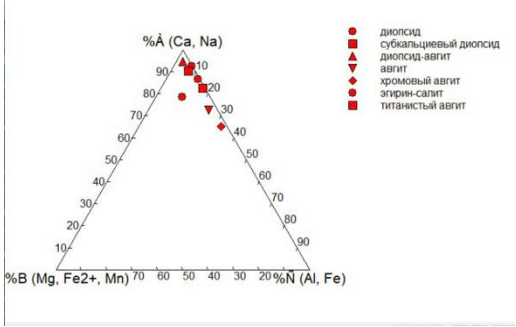
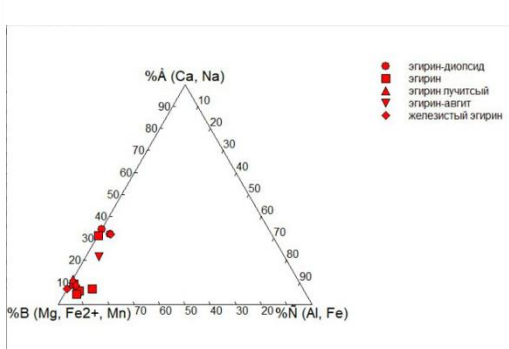
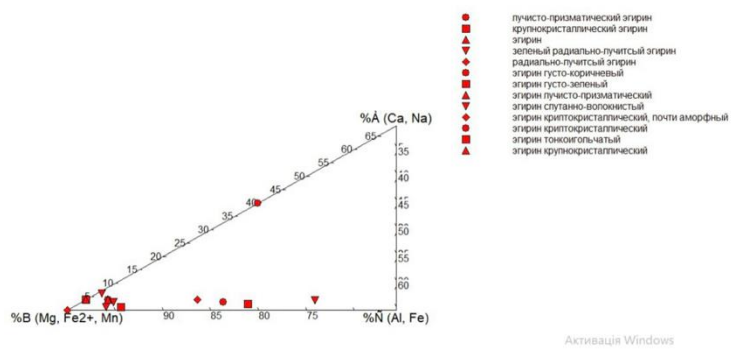


Рис. 4. 12 - вміст піроксена в перидотиті

**Інші породи**



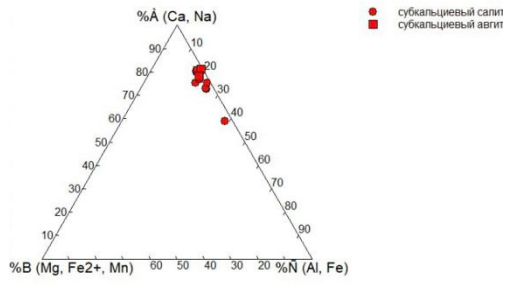


Рис. 4.13 - вміст піроксенів в егірині, маріуполіті та ітабірті.

## V. Обговорення

Піроксени - досить поширені, а також відомі мінерали, які складовими багатьох гірських порід. Зокрема таких як, метаморфічні та магматичні, з яких і було взято зразки для дипломної роботи.

Класифікація піроксенів базується на хімічному складі та структурі мінералів. За допомогою класифікації, можна встановити зв'язок між хімічними і фізичними властивостями, такими як кристалічна структура, спектральні характеристики, оптичні властивості. Особливості піроксенів, такі як склад, форма, внутрішня будова і властивості мають зв'язок з утворенням мінералів та особливостей утворення. Тобто, за допомогою класифікації піроксенів, можна витягти генетичну інформацію, що передує новим дослідженням геології.

Всі розрахунки проведені під час виконання робіт - були у визначенні мінального складу піроксенів. Результати досліджень дипломної роботи складаються в розрахуванні елементів наданих зразків мінералів і поданні їх в кристалічній формулі з співвідношенням міналів.

Після розрахунку міналів, було проведено класифікації піроксенів за породою утворення, розділивши їх на магматичні, метаморфічні та інші. Під іншими мається на увазі те, їх виділення було недоцільним, зважаючи що до них відносяться одна чи дві породи.

Для більш видового опису зібраних даних, вміст піроксенів в тій чи іншій породі показано в діаграмах, де точкам було призначено мінальний склад зразків та наочно показує на першість тих чи інших елементів. Загалом, можна виділити, високий вміст кремнезему в клинопіроксенах і ортопіроксенах.

Дана класифікація піроксенів не має якихось глобальних внесків в наукову діяльність, проте є сходом до більш вагових геологічних досліджень. Класифікація може служити основою для класифікації гірських порід з високим вмістом піроксенів. Або ж допоможе систематизувати і уточнити наявні дані про піроксени.

## VI. Висновки та рекомендації

Для геології і дослідницької роботи, піроксени відіграють важливу роль.

Піроксени зустрічаються в багатьох геологічних формаціях, а тобто є поширеними у природі мінералами. Зокрема вони поширені в Українському щиті, породи якого були досліджені у цій роботі.

Базуючись на аналізі геохімічних даних, проведених розрахунків кристалохімічної формули, розрахунку вмісту мінерального складу, було отримано дані для класифікації піроксенів. Результати досліджень допоможуть в основі систематизації та уточнення наявних даних про піроксени, або послужать основою для нової класифікації.

Отже, було проведено дослідження хімічного складу та класифікації піроксенів Українського щита, а також класифіковано їх за породою утворення. Саме ці дані послужили для побудови діаграм вмісту піроксенів в породах.

Отримані дані можуть бути використаними для подальших геологічних досліджень, включаючи вивчення Українського щита, або реконструкції геологічної історії, бо, як ми пам'ятаємо, піроксени мають важливе значення в генетичній інформації щита.

## ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

### ЛІТЕРАТУРА / REFERENCES

Відповідно до вимог ВАК згідно з ДСТУ 8302:2015 та Відповідно до міжнародного стандарту з переліку міжнародних стилів оформлення публікацій APA (American Psychological Association (APA) Style)

### КНИГИ

Шаблон оформлення за стилем APA:

Автор. (Рік публікації). Назва книги. Місто (повністю): Видавництво.

### Один автор або декілька авторів

В.А.Буланов, А.И.Сизых (2005) КРИСТАЛЛОХИМИЗМ ПОРОДООБРАЗУЮЩИХ МИНЕРАЛОВ. Иркутск: ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ ИРКУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

С. Г. Кривдік, Т. В. Гуравський, О. В. Дубина. (2009) ХІМІЗМ ПІРОКСЕНІВ З РУДОНОСНИХ ОСНОВНИХ ТА УЛЬТРАОСНОВНИХ ПОРІД УКРАЇНСЬКОГО ЩИТА. Геол. журнал 2009, №3

N.Morimoto Chairman, (1988) Nomenclature of pyroxenes. American Mineralogist

### ЕЛЕКТРОННІ РЕСУРСИ

<https://www.britannica.com/science/pyroxene>

<https://sites.google.com/site/sajtgalimskaalina/moie-druzi>

<https://geology.com/minerals/pyroxene.shtml>

<https://geografiamozil2.jimdofree.com/головна/геологічна-будова/>