МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА

НИКАНОРОВА ЮЛІЯ ЄВГЕНІЇВНА

УДК 551.1/.4+550.4

ГЕОЛОГІЧНІ УМОВИ ФОРМУВАННЯ ТА РЕЧОВИННІ ОСОБЛИВОСТІ ОРЕОЛІВ ФЕНІТИЗАЦІЇ

(на прикладі лінійного Чернігівського карбонатитового масиву Українського щита та його аналогів)

04.00.01 – загальна та регіональна геологія

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата геологічних наук

Київ – 2016

Дисертацією є рукопис

Робота виконана на кафедрі мінералогії, геохімії та петрографії Навчально-наукового інституту «Інститут геології» Київського національного університету імені Тараса Шевченка МОН України

Науковий керівник: доктор геологічних наук, доцент
Шнюков Сергій Євгенович,
Київський національний університет
імені Тараса Шевченка, ННІ «Інститут геології»,
завідувач кафедри мінералогії, геохімії та петрографії.

Офіційні опоненти: доктор геологічних наук, старший науковий співробітник
Сьомка Володимир Олексійович,
Інституту геохімії, мінералогії та рудоутворення
ім. М.П. Семененка НАН України,
завідувач відділу геології та геохімії рудних родовищ.

доктор геологічних наук, доцент
Ремезова Олена Олександрівна,
Інституту геологічних наук НАН України,
старший науковий співробітник
відділу геології родовищ корисних копалин.

Захист відбудеться « 8 » квітня 2016 р. о 14-00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.001.32 в Київському національному університеті імені Тараса Шевченка за адресою: 03022, м. Київ, вул. Васильківська, 90, ауд. 104.

З дисертацією можна ознайомитися у Науковій бібліотеці ім. М. Максимовича Київського національного університету імені Тараса Шевченка за адресою: 01003, м. Київ, вул. Володимирська, 58.

Автореферат розіслано « 1 » березня 2016 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради Д 26.001.32
кандидат геологічних наук М. М. Курило

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. У світі відомо сотні карбонатитових комплексів, які зустрічаються на всіх континентах. З ними пов'язані найкрупніші родовища флогопіту та вермикуліту, фосфору, ніобію, танталу, цирконію, рідкісних земель, міді, флюориту, заліза та деяких інших корисних компонентів. В умовах існуючої у світі тенденції до зростання видобутку і використання рідкісних металів для потреб виробництва сучасної техніки та розвитку нових технологій на сьогоднішній день набуває все більшої актуальності пошук та розвідка родовищ рідкісних та супутніх елементів. Більш того, поступове виснаження запасів давно відомих та легко доступних родовищ визначає потребу у: розширенні пошуків, спрямованих на виявлення нових потенційних проявів; підвищенні ефективності комплексу прогнозно-пошукових процедур, зокрема в умовах закритих територій; оптимізації підходів до видобутку сировини із вже менш доступних джерел.

При пошуках родовищ, пов'язаних із карбонатитовими масивами, у складі комплексу прогнозно-пошукових критеріїв існує потреба більш широкого використання ореолів фенітизації (метасоматичної переробки вміщуючих порід), які завжди супроводжують карбонатитові комплекси та за площею розвинення можуть перевищувати ареали поширення власне тіл карбонатитів та супутніх їм порід. Загалом проблема полягає в тому, що ідентифікація приналежності метасоматичних змін до фенітового типу переважно здійснюється за допомогою петрографічних засобів, що на практиці часто призводить до дискусійності висновків. Саме тому комплексне залучення даних щодо структурно-геологічних та композиційних особливостей фенітових ореолів дозволить значно збільшити розміри пошукової мішені. Не останню роль у вирішенні цієї проблеми можуть відігравати геохімічні методи, які до того ж дозволяють підвищити як технологічність комплексу прогнозно-пошукових процедур, так і достовірність висновків. Очевидною перевагою їх застосування є можливість однозначної фіксації пов'язаних з фенітовими ореолами геохімічних аномалій, які вказують на наявність карбонатитових масивів, навіть за умови використання розрідженої та нерегулярної мережі точок спостереження (відслонень, свердловин) у межах закритих територій, до яких належить й більша частина Українського щита.

Більшість класичних карбонатитових родовищ характеризуються хорошою відслоненістю, що дало можливість виявити їх, не приділяючи значної уваги дослідженню фенітових ореолів, які, до того ж, самі по собі не викликали особливого практичного інтересу дослідників через відсутність у них перспективних родовищ або значних рудопроявів. У силу цього на сьогоднішній день ступінь вивченості фенітових ореолів різко поступається власне породам карбонатитових масивів (карбонатитам та асоціюючим з ними лужним та лужно-ультраосновним породам). Так, на фоні досить повної петрографічної охарактеризованості ореолів фенітизації, існуючі дані щодо хімічного складу останніх характеризуються недостатньою повнотою, що інколи пов'язано також з використанням для їх одержання застарілих аналітичних методів.

Актуальність даної роботи зумовлена необхідністю виявлення важливого у пошуковому відношенні комплексу засобів ідентифікації метасоматично змінених

порід фенітового типу, що буде сприяти підвищенню ефективності прогнозно-пошукових робіт, особливо для комплексів лінійного структурно-морфологічного типу.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дослідження виконувались у період 2010-2015 рр. у рамках держбюджетних науково-дослідних тем геологічного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка: «Створення прототипу Геологічного Депозитарію території України та принципових засад його ефективного використання в якості державного надбання» (№ ДР 0111U006458) (2011-2013); «Створення геологічного депозитарію північно-західної та центральної частин Українського щита» (№ ДР 0114U003477) (2014-2015).

Мета дослідження. Встановлення структурно-морфологічних особливостей фенітових ореолів лінійних карбонатитових масивів та закономірностей зміни речовинного складу вміщуючих (вихідних) порід різноманітного складу у процесі фенітизації, а також розробка рекомендацій щодо вдосконалення існуючого комплексу критеріїв прогнозування і пошуків карбонатитових масивів та підвищення його ефективності.

Задачі. Для досягнення поставленої мети вирішувались наступні задачі:

- вибір об'єктів дослідження – типових карбонатитових комплексів лінійного структурно-морфологічного типу; підбір існуючих даних щодо комплексів центрального типу (як об'єктів порівняння);
- дослідження геолого-структурної позиції обраних об'єктів (карбонатитових масивів лінійного та центрального структурно-морфологічних типів), їх фенітових ореолів, а також морфології та речовинного складу останніх;
- виокремлення та детальне мінералого-петрографічне дослідження типових породних різновидів, які характеризують ступені перетворення провідних та контрастних за складом типів вихідних порід досліджених лінійних карбонатитових масивів;
- дослідження поведінки всіх петрогенних та широкої гами мікроелементів у процесі фенітизації порід рами досліджуваних карбонатитових масивів лінійного та центрального типів за власними та літературними даними, відповідно;
- зіставлення виявлених закономірностей зміни мінеральних асоціацій та поведінки хімічних елементів у процесі формування фенітових ореолів лінійних карбонатитових масивів між собою та з подібними утвореннями масивів центрального структурно-морфологічного типу;
- дослідження розподілу елементів-домішок у найбільш розповсюджених акцесорних мінералах з порід фенітових ореолів, які характеризують різні ступені перетворення провідних та контрастних за складом типів вихідних порід;
- розробка засобів, які можуть забезпечити підвищення ефективності прогнозно-пошукових робіт, спрямованих на відкриття нових карбонатитових комплексів у межах закритих територій, до яких належить більша частина Українського щита.

Об'єкт дослідження. Карбонатитові масиви лінійного структурно-морфологічного типу та їх фенітові ореоли.

Предмет дослідження. Структурно-морфологічні, мінералого-петрографічні, геохімічні та мінерало-геохімічні особливості фенітових ореолів карбонатитових масивів лінійного типу – Чернігівського (Український щит), Дубравинського (Воронезький кристалічний масив) та Пенченгінського (Єнісейський кряж), а також масивів центрального типу як об'єктів порівняння.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій забезпечуються значним обсягом використаного у роботі фактичного матеріалу, з якого сформовано комплексний геологічно-геохімічний банк даних: геологічні матеріали – карти, схеми, розрізи та плани ділянок, документація керну бурових свердловин; репрезентативна колекція зразків (~1000), петрографічних шліфів (~600), геохімічних (~600) та мінералогічних (60) проб; результати мінералогічного вивчення найбільш типових мінералогічних проб (55); результати аналітичних досліджень – кількісного визначення концентрацій всіх петрогенних (~180 аналізів) та широкої гами мікроелементів (~350 аналізів) у гірських породах, а також індикаторних елементів-домішок у наскрізних акцесорних мінералах (апатит, сфен, циркон), вилучених з досліджених мінералогічних проб (~120 аналізів).

Методи досліджень. До складу застосованого комплексу входили наступні методи: (1) геологічні та структурно-геологічні – аналіз різномасштабних карт, схем, розрізів, планів родовищ та їх ділянок, а також систематизація та аналіз наявної документації керну бурових свердловин; (2) петрографічні – макроскопічне (зразки) та мікроскопічне (прозорі шліфи та аншліфи) дослідження, в тому числі підтвердження діагностики породоутворюючих мінералів з використанням електронно-зондового мікроаналізу; (3) мінералогічні – дослідження найбільш типових мінералогічних проб, діагностика та вилучення з них зразків акцесорних мінералів для аналітичного дослідження; (4) аналітичні – визначення вмісту всіх петрогенних та широкого переліку мікроелементів у пробах гірських порід за допомогою методів титриметричного ("мокра хімія") та рентгено-флюоресцентного (енерго- та хвильоводисперсійний варіанти) аналізу, а також індикаторних елементів-домішок у зразках апатиту, сфену та циркону (енергодисперсійний рентгено-флюоресцентний метод).

Наукова новизна.

1. Встановлено, що фенітові ореоли лінійних карбонатитових масивів, на відміну від масивів центрального структурно-морфологічного типу, зазвичай характеризуються вираженою морфологічною асиметрією.
2. Підтверджено факт композиційної конвергенції (зближення мінерального та хімічного складів) контрастних за складом вихідних порід у процесі фенітизації на породному та мінеральному рівнях.
3. На породному та мінеральному рівнях виявлено геохімічну зональність фенітових ореолів, розвинених по контрастним за складом вихідним породам.
4. Підтверджено можливість встановлення приналежності метасоматичних змін до фенітового типу та ідентифікації типів вихідних порід за даними про розподіл елементів-домішок у найбільш розповсюджених акцесорних мінералах.

5. Вперше запропоновано мультиплікативний геохімічний показник зональності, спільний для досліджених лінійних карбонатитових масивів, який дозволяє уточнити положення зовнішньої границі фенітового ореолу та оцінити ступінь перетворення вміщуючих порід. Подібні коефіцієнти, за умови їх подальшого вдосконалення, можна розглядати як засіб підвищення ефективності прогнозно-пошукових робіт.

Практичне значення отриманих результатів.

Запропонований у роботі комплексний підхід дослідження фенітових ореолів з урахуванням структурно-морфологічних, мінералого-петрографічних, геохімічних та мінерало-геохімічних особливостей (асиметрія фенітових ореолів, конвергенція композицій, розподіл елементів-домішок у найбільш розповсюджених акцесорних мінералах, запропонований показник зональності ореолів) спрямований, у першу чергу, на підвищення ефективності геолого-пошукових робіт за рахунок збільшення розмірів пошукової мішені і достовірності ідентифікації фенітової природи метасоматичних проявів в умовах закритих територій, до яких належить більша частина Українського щита. Такий ефект, у разі його досягнення, повинен призвести до оптимізації собівартості геолого-розвідувальних робіт.

Положення, які захищаються.

1. Фенітові ореоли лінійних карбонатитових масивів, на відміну від масивів центрального структурно-морфологічного типу, зазвичай характеризуються нерівномірною потужністю (аж до фрагментарності проявлення) та морфологічною асиметрією, яка найкраще виражена у випадку пологого падіння порід комплексу.

2. Еволюція контрастних за складом вихідних порід спрямована до композиційної конвергенції, яка, очевидно, контролюється складом фенітизуючого флюїду.

3. Геохімічна зональність фенітових ореолів впевнено простежується на породному та мінеральному рівнях (акцесорні мінерали), що дозволяє: встановити приналежність метасоматитів до фенітової групи, ідентифікувати типи вихідних порід, оцінити ступінь їх перетворення та підвищити ефективність прогнозно-пошукових робіт за рахунок збільшення розмірів пошукової мішені.

Особистий внесок. Головні теоретичні положення та практичні результати досліджень отримано автором особисто під керівництвом наукового керівника д. геол. н. С.Є. Шнюкова. У опублікованих зі співавторами наукових працях автору належать: участь у формулюванні мети роботи, постановка задач дослідження [1, 3, 4, 5, 6]; обробка та інтерпретація аналітичних даних [1, 2, 3, 4, 6]; проведення основної частини мінералого-петрографічних досліджень [3, 4, 6]; проведення петрографічної та геохімічної типізації утворень фенітових ореолів за ступенем метасоматичного перетворення [3, 4, 6]; пошук репрезентативних даних (літературні джерела) щодо зональності та елементної композиції фенітових ореолів об’єктів порівняння – масивів центрального типу [1, 5]; зіставлення морфологічних [1, 5] та речовинних [1] особливостей ореолів фенітизації карбонатитових масивів контрастних структурно-морфологічних типів – лінійного та центрального; участь у дослідженні геохімічних особливостей акцесорних мінералів (циркон, апатит, сфен) із зональних фенітових ореолів масивів лінійного типу [5].

Апробація. Положення дисертаційної роботи доповідались на таких наукових конференція (у тому числі міжнародних та за кордоном): науковій конференції «Теоретические вопросы и практика исследования метасоматических пород и руд» інституту геохімії, мінералогії та рудоутворення імені Н.П. Семененка НАНУ (Київ, березень 2012 р.); X Міжнародній науковій конференції «Моніторинг геологічних процесів та екологічного стану середовища» геологічного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка (Київ, жовтень 2012 р.); 4-ій Міжнародній студентській геологічній конференції (Брно, Чеська Республіка, квітень 2013 р.); Всеросійській молодіжній науковій конференції «Уральская минералогическая школа – 2013» (Єкатеринбург, Росія, вересень 2013 р.); 5-ій Міжнародній студентській геологічній конференції (Будапешт, Угорщина, квітень 2014 р.); XII Міжнародній науково-практичній конференції «Новые идеи в науках о Земле» (Москва, Росія, квітень 2015 р.); Міжнародній науковій конференції «Природничі музеї та їх роль в освіті і науці» (Київ, ННІ «Інститут геології», жовтень 2015 р.).

Публікації. За темою дисертації опубліковано 6 статей у фахових наукових виданнях, з яких 5 – у вітчизняних та 1 – у зарубіжному. Опубліковано 8 тез та матеріалів виступів на наукових конференціях.

Структура та об'єм роботи. Дисертаційна робота складається із вступу, 8 розділів, висновків та списку використаних джерел загальним обсягом 136 сторінок друкованого тексту. Робота супроводжується 32 рисунками, 6 таблицями. Список літератури містить 176 найменувань.

Дисертаційна робота виконана на кафедрі мінералогії, геохімії та петрографії Навчально-наукового інституту «Інститут геології» Київського національного університету імені Тараса Шевченка під керівництвом завідувача кафедри, доктора геологічних наук, доцента С.Є. Шнюкова, якому висловлюється велика подяка за наданий для роботи фактичний матеріал, сприяння та постійну допомогу на всіх етапах проведення досліджень. Автор також щиро вдячний співробітникам кафедри мінералогії, геохімії та петрографії: кандидату геологічних наук, доценту І.І. Лазарєвій за постійну увагу та допомогу у виконанні роботи; доктору геологічних наук, професору О.В. Митрохину за консультативну допомогу у проведенні петрографічних досліджень; кандидату геолого-мінералогічних наук, старшому науковому співробітнику, доценту О.В. Андреєву за виконання значного об'єму аналітичних робіт.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність роботи, сформульовано мету та основні завдання досліджень, вказано наукову новизну отриманих результатів, їх практичну цінність та особистий внесок здобувача, наведено дані апробації основних положень дисертаційної роботи.

У **розділі 1 «Історія дослідження карбонатитових масивів та їх фенітових ореолів. Вибір об'єктів дослідження»** розглянуто історію відкриття та дослідження карбонатитових масивів, зокрема лінійного структурно-морфологічного типу, та

проаналізовано стан вивченості їх фенітових ореолів. Обґрунтовано вибір об'єктів дослідження.

Термін «карбонатит» введено норвезьким петрографом В.К. Бреггером у 1921 р. у роботі по дослідженню області Фен (Норвегія). У світі відомо сотні карбонатитових масивів, які зустрічаються на всіх континентах. Перші були відкриті ще на початку XX ст., проте до 50-х рр. вважалися надзвичайно рідкісними ендогенними утвореннями. У другій половині XX ст. численні масиви були виявлені у Африці, Північній та Південній Америці, на півночі Європи, у Північному та Східному Сибіру та в Індії. З багатьма пов'язані значні родовища та рудопрояви флогопіту, апатиту, залізних або мідних руд та рідкісних металів (Nb, Ta, REE, Zr).

Значний внесок у вивчення будови, речовинного складу та особливостей формування утворень виявлених масивів зроблено рядом вітчизняних та зарубіжних дослідників (А.І. Гінзбург, Є.М. Епштейн, Л.С. Бородін, О.О. Кухаренко, Ю.А. Багдасаров, Л.С. Єгоров, Л.К. Пожарицька, Ю.Л. Капустін, В.С. Самойлов, А.О. Фролов, В.Л. Бочаров, С.Г. Кривдік, О.М. Римська-Корсакова, І.Л. Недосєкова, Л.М. Когарко, Г. фон Еккерман, В.К. Бреггер, Дж. Гіттінс, О.Ф. Таттл, К. Белл, А.Р. Вуллі, М.Дж. Ле Бас, Б.А. К'ярсгаард та багато інших).

Лінійні карбонатитові масиви, які не є широко розповсюдженими утвореннями, у якості окремої субформації «лінійного або лінійно-тріщинного типу» були виділені у 70-х рр. XX ст. Ю.А. Багдасаровим. На сьогодні до числа карбонатитових масивів лінійного структурно-морфологічного типу відносять: Чернігівський (Приазов'я), Дубравинський (район Курської магнітної аномалії), Пенченгінський (Єнісейський кряж), Ільмено-Вишневогірський (Урал), Сіілін'ярві (Фінляндія) та декілька інших.

Феніти – екзоконтактові лужні метасоматити, утворення яких зазвичай супроводжує формування карбонатитових масивів. У наявній геологічній літературі термін «феніти» частіше використовується у його початковому значенні (за В.К. Бреггером), а саме як продукт метасоматичного перетворення гранітів, гнейсів, пісковиків та інших гірських порід лише «гранітоїдного» складу, і до продуктів перетворення основних або карбонатних вміщуючих порід не застосовується. Водночас, на думку багатьох дослідників (Б.В. Афанасьєв, В.В. Врублевський, С.Є. Шнюков та ін.), обмеження сфери дії терміну тільки продуктами перетворення гранітоїдів є не зовсім вдалим, оскільки процесами лужного метасоматозу можуть бути охоплені не лише гранітоїди, а й вміщуючі амфіболіти, метадіабази, карбонатні породи тощо. Незважаючи на різнорідний склад продуктів перетворення, причини метасоматичних змін порід рами є подібними, тому, з цієї точки зору, недоцільним є впровадження додаткових термінів. Останню думку підтримує і автор.

В якості головних об'єктів дослідження обрані масиви лінійного структурно-морфологічного типу (Чернігівський, Дубравинський, Пенченгінський, відповідно – ЧКМ, ДКМ, ПКМ), що відповідають наступним критеріям: (1) типовість; (2) охарактеризованість морфології фенітових ореолів; (3) охарактеризованість фенітових ореолів репрезентативними зразками та відповідними аналітичними даними; (4) зіставність існуючих даних. Головним об'єктом порівняння слугує масив центрального типу Альньо (відповідає всім переліченим критеріям). Для

характеристики морфологічних особливостей фенітових ореолів, крім головних об'єктів, додатково залучені типові карбонатитові масиви лінійного (Сіілін'ярві) та центрального (Араша, Нгуала і Тур'єго мису) типів, які відповідають тільки критеріям (1), (2) і (4) (відсутні комплементарні дані щодо композиції порід).

У **розділі 2 «Методика досліджень»** наведено основні методи дослідження та охарактеризовано використаний первинний фактичний матеріал. Останній було надано науковим керівником д. геол. н. С.Є. Шнюковим. Автором ці матеріали були проаналізовані, узагальнені, доповнені за рахунок власних петрографічних та аналітичних досліджень, а також аналізу численних публікацій. Методика проведених досліджень включала послідовне виконання наступних процедур:

1. Аналіз наявного геологічного матеріалу:
   – ЧКМ, ПКМ, ДКМ – аналіз карт, схем, розрізів, планів ділянок родовищ, що досліджувались (власні дані) та геоблоків, які їх вміщують (літературні дані); систематизація та аналіз наявної документації керну, узгодження з колекцією зразків (проб), вибір з неї найбільш типових для подальшого вивчення;
   – Альньо, Араша, Нгуала, Турій мис, Сіілін'ярві – аналіз графічних матеріалів за літературними джерелами.
2. Петрографічне дослідження (макро- та мікроскопічне) типових породних різновидів ЧКМ, ПКМ, ДКМ (~1000 зразків; ~600 прозорих шліфів).
3. Мінералогічні дослідження найбільш типових мінералогічних проб (55).
4. Аналітичні дослідження з визначенням вмісту всіх петрогенних (~180 аналізів) та широкого переліку мікроелементів (~350 аналізів) у пробах гірських порід ЧКМ, ПКМ, ДКМ за допомогою методів титриметричного ("мокра хімія") та рентгено-флюоресцентного (енерго- та хвильводисперсійний варіанти) аналізу, а також індикаторних елементів-домішок у зразках апатиту (ЧКМ, ПКМ), сфену (ЧКМ) та циркону (ЧКМ) енергодисперсійним рентгено-флюоресцентним методом.
5. Обробка та інтерпретація власних (ЧКМ, ПКМ, ДКМ) та майже комплементарних літературних (Альньо) аналітичних даних.

У **розділі 3 «Геологічна позиція Чернігівського та інших досліджених карбонатитових масивів лінійного і центрального структурно-морфологічних типів та морфологія їх фенітових ореолів»** проаналізовано структурно-тектонічну приуроченість, вміщуючі породи, склад, форму тіл, ізотопний вік, особливості мінералізації, морфологію фенітових ореолів обраних для дослідження масивів та наведено узагальнену геологічну характеристику за переліченими ознаками (табл. 1, 2).

Наявність екзоконтактових ореолів метасоматичного перетворення вміщуючих порід (фенітових ореолів) – характерна ознака карбонатитових масивів як лінійного, так і центрального структурно-морфологічних типів. Однак морфологічні особливості ореолів масивів кожного з типів суттєво відрізняються. У сучасному ерозійному зрізі обриси карбонатитових масивів центрального типу, при усій складності контуру їх контактів з вміщуючими породами, наближені до ізометричних або еліпсовидних. Для порід, якими складені масиви, у більшості випадків характерне зонально-кільцеве розташування та специфічна форма тіл – кільцеві дайки, трубки, штоки. Падіння тіл лужних порід та карбонатитів

наближується до вертикального, що простежуються за геофізичними даними на значну глибину (кілька кілометрів). Фенітові ореоли таких масивів, відповідно, мають ізометричні обриси та досить витриману потужність, що простежується на прикладі типових масивів центрального типу (рис. 1).

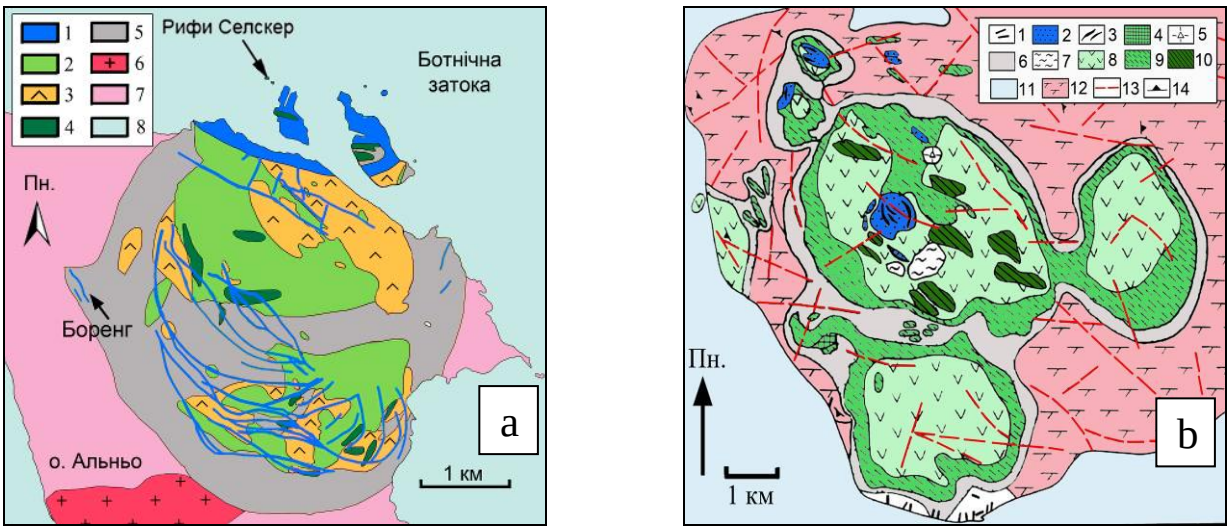

Рис. 1. Схема геологічної будови масивів центрального структурно-морфологічного типу – Альньо (a) та Тур'єго мису (b). Альньо: 1 – карбонатити; 2 – ійоліти; 3 – нефелінові сієніти; 4 – піроксеніти; 5 – феніти; 6 – граніти; 7 – мігматити; 8 – Ботнічна затока. Турій мис: 1 – олівінові меланефелініти, меланефелініти, нефелініти і мелілітити; 2 – карбонатити; 3 – фоскорити; 4 – олівін-мельтейгітові порфіри; 5 – еруптивна брекчія; 6 – феніти; 7 – гранат-діопсидові везувіаніти та діопсид-гастингситові скарни; 8 – мелілітові породи; 9 – ійоліт-мельтейгіти; 10 – піроксеніти та нефелінові піроксеніти; 11 – Біле море; 12 – вміщуючі породи; 13 – розломи; 14 – падіння та простягання шаруватості.

Деяку локальну асиметричність ореолів зазвичай пов'язують, перш за все, з особливостями будови головної інтрузії, тіло якої може супроводжуватися апофізами або сателітами, розташованими на певній відстані від центру та оточеними власними ореолами фенітизації (наприклад, інтрузія Боренг масиву Альньо (рис. 1a) або ряд сателітів, пов'язаних з масивами Тур'єго мису (рис. 1b)), однак загальна ізометричність фенітових ореолів при цьому не порушується.

На відміну від масивів центрального типу, лінійні карбонатитові масиви характеризуються значною видовженістю, при незначній їх потужності (рис. 2). Тіла порід представлені дайками, жилами, пластоподібними утвореннями, орієнтованими вздовж осі масиву, яка співпадає з простяганням контролюючої його розташування розломної зони. Особливості тектонічних умов формування лінійних масивів загалом та специфічність будови кожного з них зокрема зумовлює певну неоднорідність розвитку їх фенітових ореолів. Так, у структурі Чернігівського масиву виділяються два окремі блоки (північний – Новополтавський та південний – Бегім-Чокракський), які, у свою чергу, можуть бути розділені на ряд дрібніших ділянок (рис. 2a). Між північним та південним блоками масиву виділяється перехідна зона. Максимальна ширина смуги, яка складена утвореннями масиву спостерігається у північному блоці і сягає 1 км, поступово зменшуючись у північному та південному напрямках. Відповідним чином тут змінюється і

потужність фенітового ореолу – максимальна (перші сотні метрів) характерна для центральної частини комплексу, а у напрямку на північ та південь поступово знижується до 100-50 м і менше.

Таблиця 1

Геологічна характеристика масивів центрального типу

Ознака	Масиви центрального структурно-морфологічного типу			
	Альньо (Андерсон,2013; Мороган, 1989)	**Турій мис** (Фролов та ін., 2003; Когарко та ін., 1995)	**Нгуала** (Белл, 1989)	**Араша** (Фільхо та ін., 1984)
Структурно-тектонічна приуроченість	Рифтова зона Свекофенського сегменту Балтійського щита	Підняття у межах Кандалакшського грабену Балтійського щита	Рухомий пояс Убендіан, (обмежує Танзанійський кратон)	Глибинні розломи, прогин Алто Паранаїба, периферія Бразильського щита
Вміщуючі породи	Палеопротерозойські мігматизовані орто- та парагнейси	Протерозойські гранітоїди, рифейські пісковики	Протерозойські метаріоліти-метадацити	Докембрійські кварцити та слюдяні сланці
Склад масиву	Піроксеніти, ійоліт-мельтейгіт-уртити, нефелінові сієніти, карбонатити, альньоїти, кімберлітові альньоїти	Піроксеніти, ійоліт-мельтейгіти, мелілітові породи, камафорити, карбонатити. Лужні та сублужні лампрофіри, олівінові мельтейгіт-порфіри	Карбонатити: сьовіти, магнезіокарбонатити, ферокарбонатити	Карбонатити (бефорсити, сьовіти), глімерити, фоскорити, лампрофіри, силексити
Форма тіл	Штоки, кільцеві дайки, пластові інтрузії, дрібні тіла різної морфології	Штоки, дайки, жили	Штоки	Штоки, кільцеві дайки
Ізотопний вік	584 ± 13 млн. р.	355-360 млн. р.	1040 ± 40 млн. р.	91 млн. р.
Мінералізація	LREE	Fe, P, Nb, Ta	P, REE, Y, Nb, Ta	Nb, P, Ba, REE, U
Потужність фенітового ореолу	500-600 м	200-500 м	500-1000 м	1500 – 2500 м.

Крім того, варіації потужності зони фенітизованих порід (аж до фрагментарності її розвитку) спостерігаються у межах окремих ділянок (рис. 2а). Падіння порід ЧКМ змінюється від західного (на півночі) до вертикального (у центрі) та східного (на півдні), що, можливо, пов’язано із субзгідним заляганням утворень масиву відносно крил антиклінальної складки. Кути падіння тіл варіюють від 60-90° (на півночі та у центрі) до 45° (на півдні), причому простежена у розрізі асиметрія розвитку фенітового ореолу проявлена у зростанні його потужності у висячому боці тіл, особливо у випадку більш пологого їх падіння (рис. 2а).

Породи Дубравинського масиву (рис. 2с) приурочені до перетину зон крупних глибинних розломів північно-західного та субмеридіонального простягань. Падіння порід південно-східне, у північній частині масиву – круте (75-80º), у західній –

більш пологе (до 50-60º). Як і у випадку ЧКМ, ореол фенітизації ДКМ характеризується перемінною потужністю (від 80 до 200 м) та невитриманістю у плані, а у розрізі більша потужність ореолу спостерігається у висячому боці тіл (рис. 2c).

Утворення Пенченгінського масиву мають субвертикальне східне падіння. На відміну від ЧКМ та ДКМ, потужність фенітового ореолу ПКМ у плані на даному рівні ерозійного зрізу можна вважати витриманою (рис. 2b), але недоступність розрізів та очевидні проблем з картуванням зовнішньої границі фенітового ореолу, що має місце для всіх розглянутих масивів, примушують вважати цей висновок умовним.

Таблиця 2

Геологічна характеристика масивів лінійного типу

	Масиви лінійного структурно-морфологічного типу			
	Чернігівський (Глеваський, Кривдік, 1981; Шнюков, 1988)	**Дубравинський** (Бочаров, Фролов, 1992; Дунаєв, 2006)	**Пенченгінський** (Врублевський та ін., 2003; Лапін та ін., 1987)	**Сіілін'ярві** (Летінен та ін., 2005; Пуустінен, 1971)
Структурно-тектонічна приуроченість	Чернігівський глибинний розлом, Приазовський мегаблок Українського щита	Зона перетину глибинних розломів, мегаблок КМА Воронезького кристалічного масиву	Татарський глибинний розлом, Центрально-Ангарський терейн Єнісейського кряжу	Глибинний розлом, що простягається від Ладозького озера до центра Ботнічної затоки, Балтійський щит
Вміщуючі породи	Мігматизовані архейські метаморфіти (субстрат – амфіболіти, кристалосланці, гнейси; жильна фаза – граніт-апліти, аплітo-пегматоїдні граніти)	Мігматизовані архейські плагіоклаз-калішпатові гнейси; гранітоїди	Середньопротерозойські кварц-слюдяні сланці, амфіболіти, кальцитові і доломітові мармури	Докембрійські граніто-гнейси
Склад масиву	Карбонатити (сьовіти, альньоїти, бефорсити), нефелінові сієніти, лужні піроксеніти. Фрагменти ійоліт-мельтейгітів у карбонатитах	Лужні піроксеніти, карбонатити, лужні граніти та сієніти	Карбонатити (кальцит-доломітові, доломітові)	Карбонатити, глімерити, меласієніти
Форма тіл	Дайкоподібні тіла, жили	Жило- та лінзоподібні тіла	Дайки, крутопадаючі тіла різноманітної морфології	Дайки
Ізотопний вік	2090 ± 15 млн. р.	1990–2190 млн. р.	672 ± 93 млн. р.	2609 ± 6 млн. р.
Мінералізація	P, Nb	P, Fe	P, Nb	P
Потужність фенітового ореолу	Невитримана – від 20 м до перших сотень метрів	Невитримана – від 80 до 200 м	До 200 м	Невитримана – від 0 до 500 м)

Таким чином, порівняння структурно-морфологічних особливостей фенітових ореолів масивів обох типів підтверджує, що у лінійних карбонатитових масивах, на відміну від масивів центрального типу, ореоли фенітизації зазвичай характеризуються нерівномірною потужністю (аж до фрагментарності їх проявлення) та морфологічною асиметрією, яка найкраще виражена у випадку пологого падіння порід комплексу.

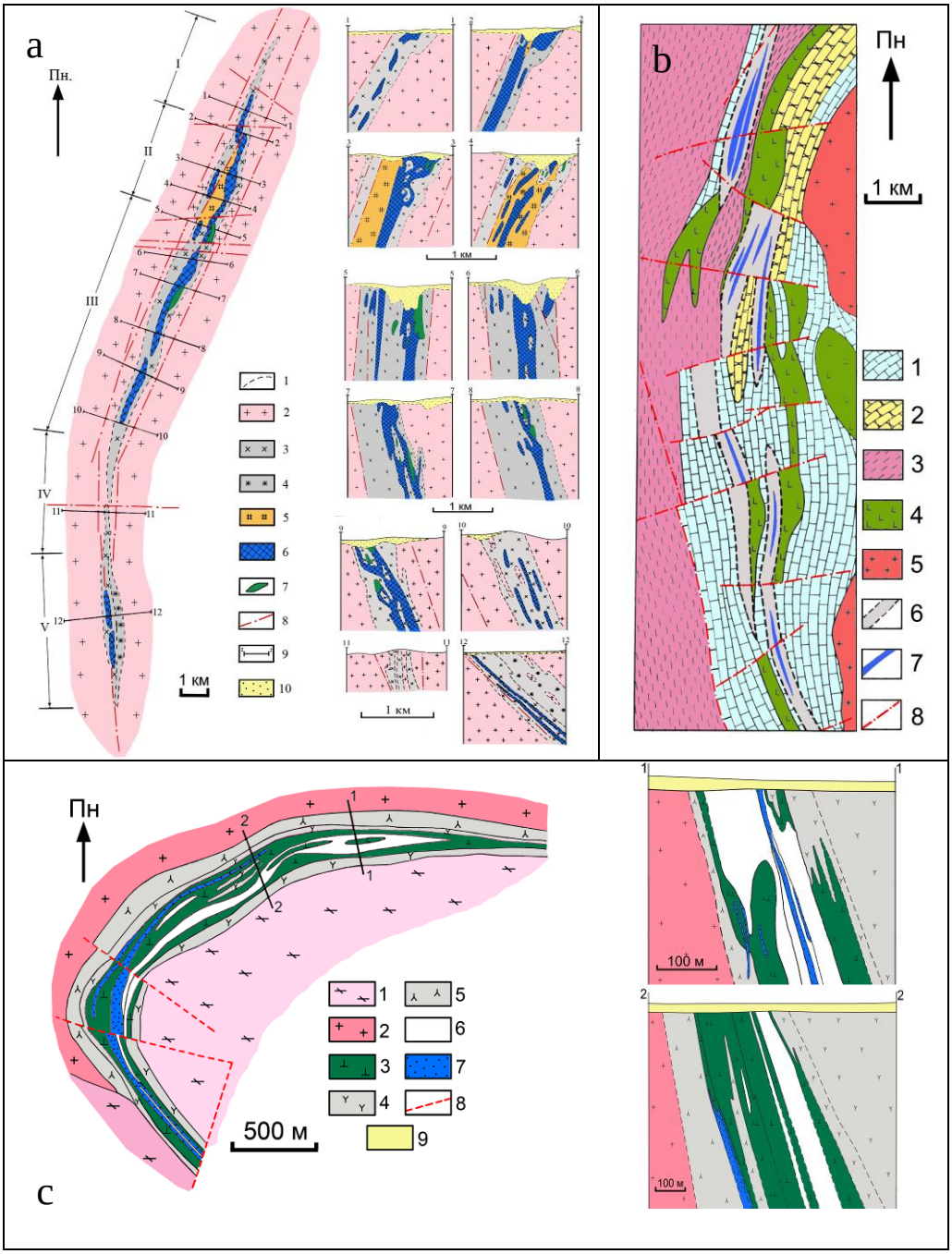

Рис. 2. Схема геологічної будови масивів лінійного структурно-морфологічного типу (a – ЧКМ, b – ПКМ, c – ДКМ) та їх схематичні геологічні розрізи (a, c). *ЧКМ (Шнюков, 1988)*: 1 – границі геологічних тіл; 2 – вміщуючі породи; 3 – фенітизовані вміщуючі породи та сієніт-феніти; 4 – діафторит-феніти; 5 – нефелінові сієніти; 6 – карбонатити; 7 – меланократові породи (піроксеніти); 8 – розривні порушення; 9 – лінії геологічних розрізів та їх номери; 10 – кора вивітрювання. *ПКМ (Лапін та ін. 1987)*: 1-5 – вміщуючі породи (1 – мармури, 2 – кварцитовидні пісковики, 3 – слюдяні сланці; 4 – амфіболіти, 5 – граніти); 6 – лужні метасоматити (феніти); 7 – карбонатити; 8 – розривні порушення. *ДКМ (Дунаев, 2006 з доповненням)*: 1 – вміщуючі гнейси; 2 – граніти; 3 – лужні піроксеніти; 4, 5 – феніти (4 – апогнейсові, 5 – апогранітові); 6 – апатит-карбонатно-силікатні породи; 7 – карбонатити; 8 – розривні порушення; 9 – осадовий чохол. 1-1 та 2-2 – лінії геологічних розрізів.

У **розділі 4 «Мінералого-петрографічна характеристика фенітових ореолів Чернігівського та інших досліджених карбонатитових масивів лінійного структурно-морфологічного типу»** розглянуто особливості зміни мінерального

складу у процесі формування фенітових ореолів Чернігівського, Дубравинського та Пенченгінського лінійних карбонатитових масивів.

Фенітовий ореол ЧКМ розвивається по контрастних за складом (основні, середні, кислі) вихідних породах рами, які представлені: амфіболітами, піроксен-амфіболовими кристалосланцями, плагіо- та плагіоклаз-калішпатовими гнейсами, а також граніт-аплітами та апліто-пегматоїдними гранітами. Процес фенітизації перелічених типів порід подібний і полягає у: повному зникненні кварцу та майже повному рогової обманки і середніх плагіоклазів, підвищенні вмісту егіринового міналу у клінопіроксені, появі новоутворених мінералів: альбіту, мікрокліну, лужного піроксену (егірин-авгіту, егірин-саліту), амфіболів (рихтериту, еденіту, гастингситу) та карбонатів. Для новоутвореного парагенезису акцесорних мінералів характерними є: сфен, апатит, ортит і магнетит.

Напрямок перетворення мінеральних парагенезисів вихідних порід ПКМ (як силікатних, так і карбонатних) полягає у зникненні реліктових парагенезисів сланців та амфіболітів (кварц, середні та основні плагіоклази, біотит, рогова обманка), зменшенні вмісту породоутворюючих карбонатів мармурів та появі новоутворених мінералів: альбіт, лужні амфіболи (арфведсоніт, рихтерит), флогопіт, кальцит. Асоціація акцесорних мінералів змінюється у напрямку підвищення вмісту апатиту та піротину, а також появі пірохлору, сфену, титаномагнетиту, ільменіту або ільменорутилу (Лапін, 1987).

Процес фенітизації вихідних гнейсів та гранітів ДКМ принципово подібний до двох охарактеризованих вище масивів. Супроводжується зникненням реліктового олігоклазу, зменшенням вмісту реліктового кварцу (аж до зникнення), підвищенням вмісту егіринового міналу у клінопіроксені, значним підвищенням вмісту мікрокліну, появою альбіту, лужного піроксену (егірин-авгіту, егірину? (Дунаев, 2006)), лужного амфіболу (арфведсоніту) та кальциту. Суттєво зростає вміст акцесорних апатиту та сфену, а також магнетиту. З'являється гранат (шорломіт), що не характерно для Чернігівського та Пенченгінського масивів.

Загальною тенденцією процесу перетворення контрастних типів вихідних порід у трьох масивах є конвергенція мінеральних композицій новоутворених фенітів.

У **розділі 5 «Геохімічні особливості фенітових ореолів Чернігівського та інших досліджених карбонатитових масивів лінійного і центрального структурно-морфологічних типів»** висвітлено результати дослідження поведінки петрогенних та мікроелементів у процесі формування ореолів фенітизації.

За особливостями розподілу кремнезему та лугів серед вміщуючих порід масивів виділяються контрастні типи (основні, середні та кислі для ЧКМ; середні та кислі для ДКМ; карбонатні та середні силікатні для ПКМ; середні для Альньо) і відповідні ряди їх перетворення (рис. 3). Характер поведінки петрогенних та мікроелементів у виділених рядах дає можливість виокремити у кожному масиві групи елементів перерозподілу, привнесення та виносу (табл. 3).

Головною тенденцією процесу фенітизації виділених контрастних типів порід є закономірне зближення композицій новоутворених фенітів – їх конвергенція, що підтверджує петрографічні дані. Встановлена конвергенція у перспективі може бути використана для оцінки ідеалізованої композиції фенітів максимального ступеня

перетворення, рівноважної щодо фенітизуючого флюїду. Це, в свою чергу, може надати додаткові можливості типізації виявлених карбонатитових масивів за рудним навантаженням та джерелом речовини.

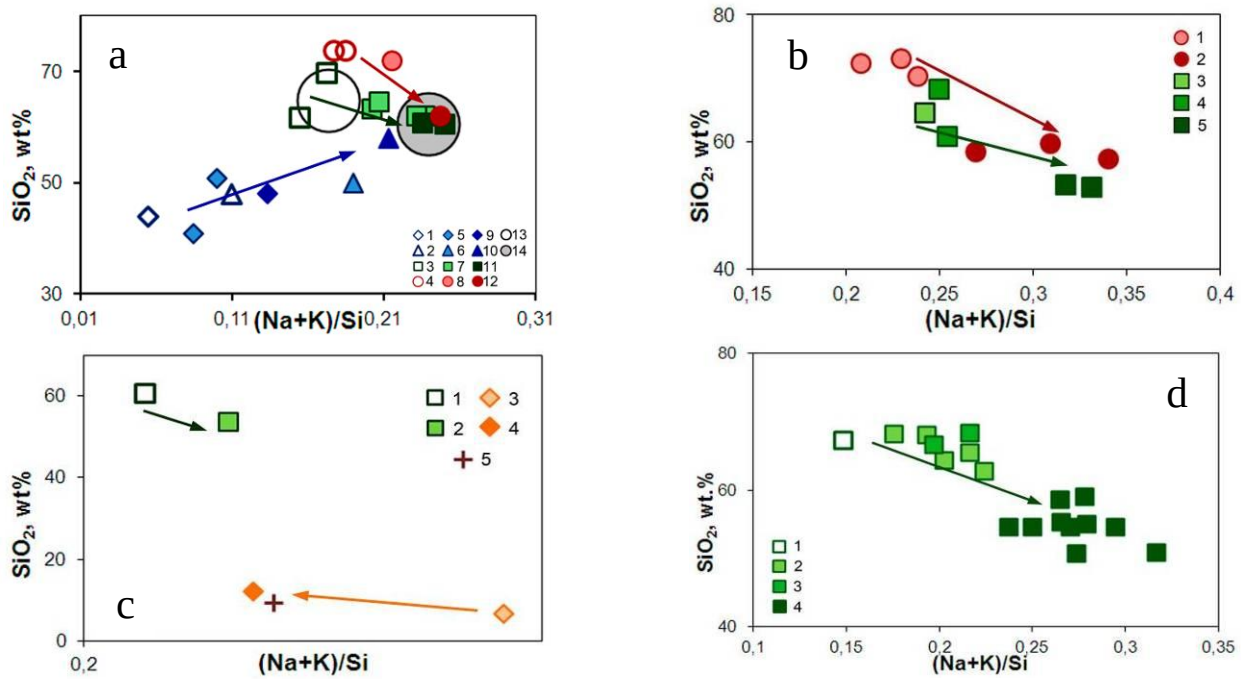

Рис. 3. Поведінка кремнезему у процесі фенітизації вміщуючих порід масивів Чернігівського (*a*), Дубравинського (*b*), Пенченгінського (*c*) та Альньо (*d*). *a*: 1-4 – незмінені, 5-8 – фенітизовані (1, 5 – кристалосланці; 2, 6 – амфіболіти; 3, 7 – гнейси; 4, 8 – граніт-апліти); 9-12 – феніти (9 – апокристалосланцеві, 10 – апоамфіболітові, 11 – апогнейсові, 12 – апогранітні). 13, 14 (Шнюков, 1988) – середній склад незмінених вміщуючих порід (13) та розвинутих по ним фенітів (14), розрахований з урахуванням співвідношень головних типів вміщуючих порід та фенітів (метаультрабазити(?) : амфіболіти : плагіогнейси піроксенвміщуючі : плагіоклаз-калішпатові гнейси піроксенвміщуючі : граніт-апліти/апліто-пегматоїдні граніти = 2 : 8 : 30 : 30 : 30; апометаультрабазитові(?) піроксеніт-феніти : апоамфіболітові меланосієніт-феніти : апоплагіогнейсові сієніт-феніти : апогнейсові сієніт-феніти : апогранітні сієніт-феніти : суттєво піроксенові жили та тіла серед фенітів = 2 : 30 : 29 : 30 : 1). *b*: 1, 3 – слабко фенітизовані вміщуючі (1 – граніти, 3 – гнейси); 4 – фенітизовані гнейси; 2, 5 – феніти (2 – апогранітні; 5 – апогнейсові). *c*: 1, 2 – кристалосланці (1 – незмінені, 2 – фенітизовані); 3, 4 – мармури (3 – незмінені, 4 – фенітизовані); 5 – карбонатити; для всіх типів порід приведені усереднені значення. *d*: 1 – незмінені гнейси; 2 – слабко фенітизовані гнейси; 3 – фенітизовані гнейси; 4 – апогнейсові феніти. Стрілки вказують напрямок фенітизації порід.

Таблиця 3

Групи елементів з різною поведінкою

	Перерозподіл	Привнесення	Винос
Чернігівський	Si*, Al*, Ti*, Ca**, Mg**, Fe**, Mn**, K*, Zr*, Mo**, Pb**, Cu**, Cr*	Na, P, La, Ce, Sr, Ba, Nb, Zn	V(?)
Дубравинський	Na, Fe, Mn, Zr, Cr, Cu, Rb, Nb, Th, Ga	Ca, Mg, P, K, La, Ce, Sr, Ba, Zn, Mo, Ti	Si, Pb, Al
Пенченгінський	Si, Al, Ca, Mn, Ba, Zn, Cu, Zr, Ga	Na, Fe, Mg, P, La, Ce, Sr, Nb	K, Ti
Альньо	Fe, Mg, Na, Ti, Rb	Ca, K, P, Mn, Sr, Ba, LREE	Si, Al(?), HREE

Примітка. * – на фоні загального виносу, ** – на фоні загального привнесення (рис. 3).

У **розділі 6 «Чернігівський карбонатитовий масив Українського щита у зіставленні з типовими карбонатитовими масивами лінійного і центрального типів»** проведено порівняльний аналіз структурно-морфологічних та речовинних особливостей досліджених лінійних карбонатитових масивів між собою та лінійного Чернігівського з центральним масивом Альньо.

Проведене зіставлення показало:

• Чернігівський, Пенченгінський та Дубравинський карбонатитові масиви є представниками лінійного структурно-морфологічного типу. Розташовані в межах консолідованих ділянок земної кори, приурочені до зон глибинних розломів і залягають у вигляді серій крутопадаючих тіл різної морфології. На відміну від ЧКМ і ПКМ, лінійно витягнутих у плані, ДКМ має серпоподібну форму (рис. 2);

• особливості зміни мінеральних асоціацій при фенітизації вихідних порід подібні в кожному з досліджених масивів (ЧКМ, ПКМ, ДКМ та Альньо) та полягають у: зникненні реліктових мінералів (кварцу, середніх плагіоклазів, рогової обманки); підвищенні вмісту егіринового міналу в клінопіроксенах; появі новоутвореного парагенезису: альбіт, мікроклін, лужні піроксени та амфіболи, флогопіт, кальцит; підвищенні вмісту апатиту (аж до рудних концентрацій) та сфену; в цілому близький набір акцесоріїв;

• основні риси поведінки петрогенних та мікроелементів у процесі фенітизації вихідних порід рами масивів Чернігівського, Дубравинського, Пенченгінського та Альньо дозволяють виділити групи елементів з різним типом поведінки (перерозподіл, привнесення, винос) (табл. 3), які ілюструють відмінності в геохімічній спеціалізації масивів та знаходять своє відображення у мінеральній композиції новоутворених фенітів;

• у трьох досліджених лінійних масивах (ЧКМ, ДКМ та ПКМ) основним напрямком зміни контрастних типів вихідних порід у ході фенітизації є конвергенція мінеральних і хімічних композицій новоутворених фенітів, що підтверджується як для петрогенних, так і для мікроелементів.

У **розділі 7 «Акцесорні мінерали фенітів Чернігівського карбонатитового масиву як індикатори зональності його фенітового ореолу»** наведено результати дослідження розподілу елементів-домішок у найбільш розповсюджених акцесорних мінералах (циркон, апатит, сфен) з порід фенітових ореолів.

Циркон. Циркон є одним з найбільш розповсюджених акцесорних мінералів ендогенних гірських порід різноманітного складу, зокрема метасоматитів різних типів. Застосування запропонованої (Шнюков, 1985; Шнюков, Лазарєва, 2003) індикаторної пари (Hf – Y) ілюструє особливості домішкового складу цирконів, дозволяючи диференціювати їх на окремі групи, що відповідають вміщуючим циркони породам. Це дає можливість чітко відрізняти феніти (принаймні Чернігівського карбонатитового масиву) від деяких інших метасоматичних утворень з типових районів їх локалізації у межах Українського щита, зокрема від уранових альбітитів і метасоматитів, подібних до розвинених у межах Сущано-Пержанської зони (СПЗ) (рис. 4). Виявлені особливості можна розглядати як потенційно надійний мінерало-геохімічний критерій відмінності метасоматитів різної формаційної належності та рудної спеціалізації.

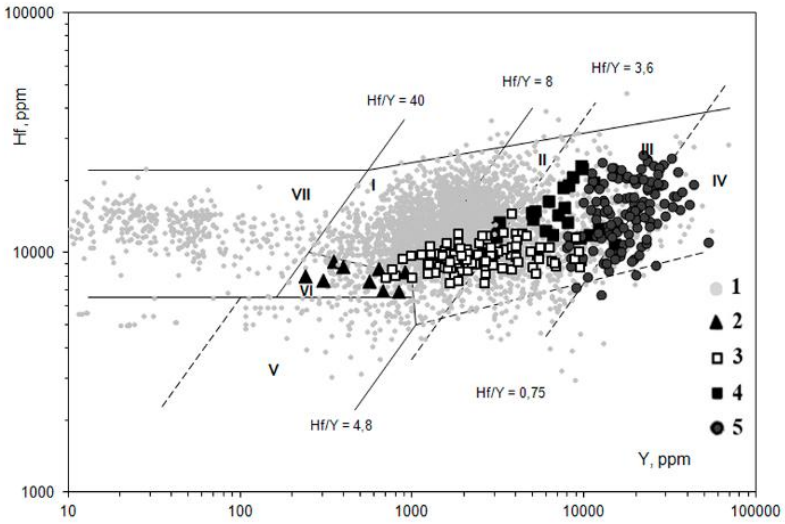

Рис. 4. Зіставлення домішкового складу акцесорних цирконів з метасоматитів різної формаційної приналежності і вміщуючих їх порід (Шнюков, 2003; Лазарєва, 2006). 1 – репрезентативні композиції цирконів з різноманітних магматичних і метаморфічних утворень; 2 – цирконі з типових фенітів ЧКМ; 3 – цирконі з гранітоїдів Коростенського плутону; 4 – цирконі з альбітитів центральної частини УЩ; 5 – цирконі з метасоматитів СПЗ. Римськими цифрами на дискримінантній діаграмі Hf–Y вказані поля складу цирконів з: I – ультраосновних, основних і безкварцевих середніх порід; II – кварцвміщуючих порід середнього і помірно кремнекислого складу; III – гранітів підвищеної кремнекислотності та їх гідротермально змінених різновидів; IV – грейзенів; V – карбонатитів; VI – лужних порід, фенітів і карбонатитів деяких типів; VII – кімберлітів.

Апатит та сфен. Варіації складу акцесорних апатиту (ЧКМ, ПКМ) та сфену (ЧКМ) з вміщуючих порід та порід фенітового ореолу добре ілюструються за запропонованою (Шнюков, 1985; Шнюков, Лазарєва, 2003) індикаторною парою Sr – Y (провідні елементи-домішки цих мінералів) (рис. 5).

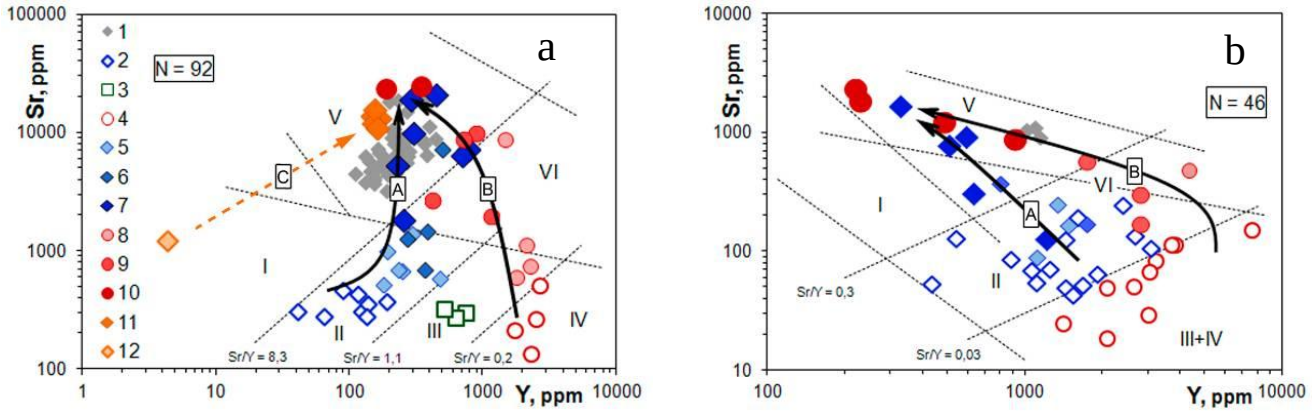

Рис. 5. Варіації складу акцесорних апатитів (a) та сфенів (b) у зональному фенітовому ореолі ЧКМ (a, b) та ПКМ (a) (*N* – кількість зразків) (Шнюков, 2003 з доповненням автора). 1 – карбонатити ЧКМ; 2-4 – породи вміщуючої ЧКМ гнейсово-мігматитової товщі "базитового" (амфіболіти, кристалосланці, піроксенвміщуючі гнейси) (2) і "гранітоїдного" (біотитові гнейси і аплітопегматоїдні граніти, 3 і 4, відповідно) складу; 5-10 – продукти їх метасоматичного перетворення (5-7 – слабко-, сильнофенітизовані "базити" і апобазитові феніти; 8-10 – слабко-, сильнофенітизовані "гранітоїди" і апогранітоїдні феніти, відповідно). Стрілки – напрямок зміни складу мінералів в апобазитовій (*A*) і апогранітоїдній (*B*) метасоматичних колонках ЧКМ та передбачуваний напрямок зміни в апокарбонатній ПКМ (*C*); 11 і 12 – склад апатитів з карбонатитів та мармурів ПКМ, відповідно. Римськими цифрами на дискримінантній діаграмі Sr–Y позначено статистично обґрунтовані поля складу апатитів з: *I* – метаморфічних карбонатних і силікатно-карбонатних порід; *II* – порід вапняно-лужного ряду ультраосновного, основного и середнього складу; *III* – те ж помірно кремнекислі; *IV* – гранітів підвищеної кремнекислотності; *V* – карбонатитів, лужних порід і асоціюючих з ними метасоматитів (а також лерцолітів мантійних ксенолітів); *VI* – лужних метасоматитів (включаючи феніти).

Як для апатиту, так і для сфену з контрастних за складом вихідних порід та порід фенітових ореолів спостерігається геохімічна зональність мінерального рівня, виражена у поступовій зміні мікроелементного складу їх новоутворених різновидів згідно зон метасоматичної колонки. Існуючі дискримінантні діаграми (Шнюков, 1985) дозволяють ідентифікувати типи контрастних за складом вихідних порід та оцінити ступінь їх перетворення. При цьому чітко спостерігається конвергенція композицій новоутворених акцесорних апатитів та сфенів.

У **розділі 8 «Прогнозно-пошукове значення одержаних результатів»** на основі простежених особливостей розподілу хімічних елементів у породах перелічених карбонатитових масивів та подібності набору елементів груп привнесення (табл. 3) запропоновано мультиплікативні геохімічні показники зональності ореолів фенітизації:

– спільний для масивів лінійного типу: $K_{univ1} = La \times Ce \times Sr;$
– спільний для лінійного Чернігівського масиву та центрального масиву Альньо: $K_{univ2} = Sr \times Ba.$

Обидва показники: (1) об'єктивно відображають зростання рівня перетворення вміщуючих порід; (2) дозволяють прослідкувати зміну концентрацій головних корисних компонентів – P (рис. 6, 7), Nb, LREE у процесі фенітизації вміщуючих порід; та, як наслідок, (3) значно розширюють розміри пошукової мішені, які фіксуються прямими петрографічними дослідженнями, що може сприяти підвищенню ефективності прогнозно-пошукових робіт.

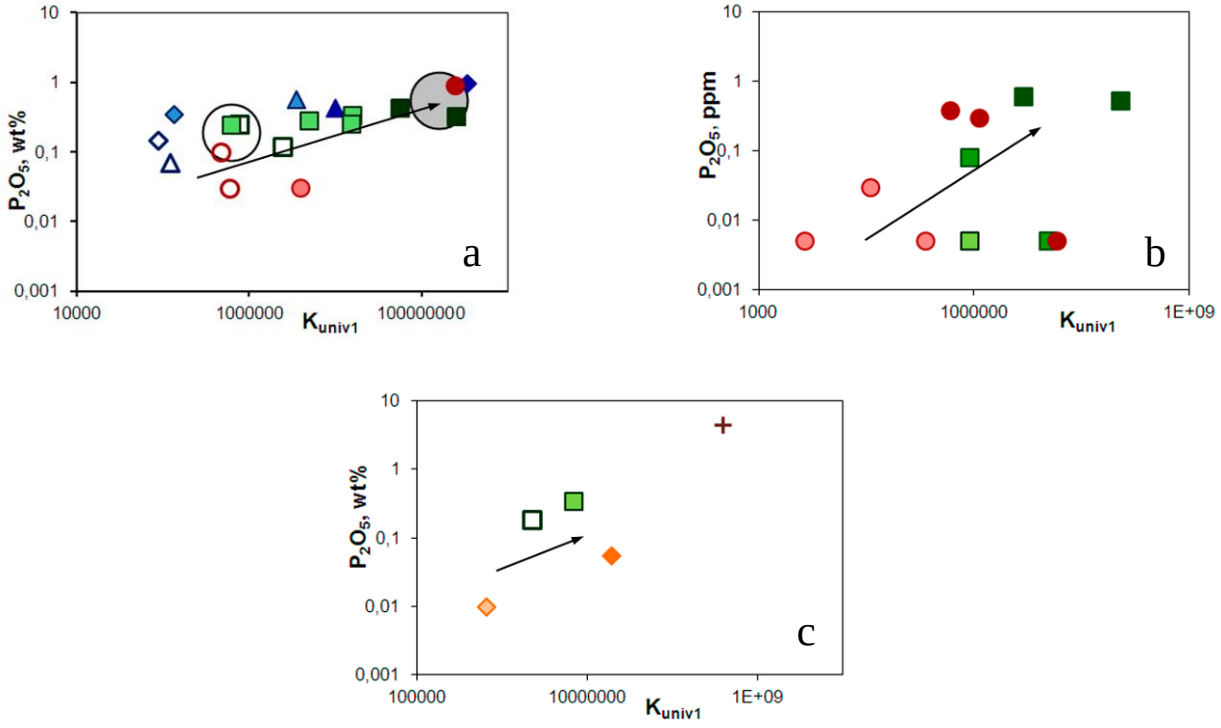

Рис. 6. Поведінка P_2O_5 в залежності від геохімічного показника зональності фенітових ореолів Чернігівського (a), Дубравинського (b) та Пенченгінського (c) масивів. Умовні позначення див. на рис. 3.

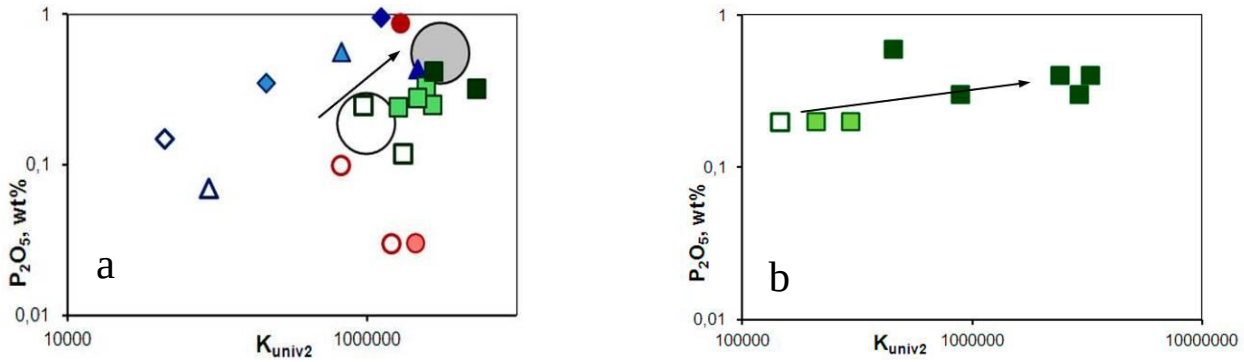

Рис. 7. Поведінка P_2O_5 в залежності від геохімічного показника зональності фенітових ореолів масивів Чернігівського (a) та Альньо (b). Умовні позначення див. на рис. 3.

ВИСНОВКИ

Робота була присвячена комплексному дослідженню морфології, речовинного складу та геохімії процесу утворення фенітових ореолів карбонатитових масивів лінійного структурно-морфологічного типу, а також порівнянню їх з фенітовими ореолами карбонатитових масивів центрального типу.

Отримані автором результати проведеного дослідження можуть бути зведені у наступні висновки:

1. Фенітові ореоли карбонатитових масивів двох відмінних структурно-морфологічних типів, лінійного та центрального, характеризуються різною морфологією, що пов’язано з особливостями будови масивів та їх тектонічної позиції. Так, на відміну від переважно ізометричних фенітових ореолів, що оточують масиви центрального типу, ореоли лінійних масивів зазвичай характеризуються нерівномірною потужністю (аж до фрагментарності проявлення) та морфологічною асиметрією, яка найкраще виражена у випадку пологого падіння порід комплексу.

2. Простежені закономірності зміни речовинного складу типових породних різновидів, які характеризують ступені перетворення провідних та контрастних за складом вихідних порід досліджених лінійних карбонатитових масивів (Чернігівського, Дубравинського, Пенченгінського), та особливості зміни домішкового складу найбільш розповсюджених акцесорних мінералів (апатиту, сфену) з порід фенітових ореолів названих масивів підтверджують факт композиційної конвергенції контрастних вихідних порід у процесі фенітизації на породному та мінеральному рівнях, відповідно. Така конвергенція у перспективі може бути використана для оцінки ідеалізованої композиції фенітів максимального ступеня перетворення, рівноважної щодо фенітизуючого флюїду, що, в свою чергу, може надати додаткові можливості типізації карбонатитових масивів за рудним навантаженням та джерелом речовини.

3. Геохімічна зональність фенітових ореолів, розвинених по контрастним за складом вихідним породам, простежується на породному та мінеральному (акцесорні мінерали) рівнях. Так, за особливостями розподілу у породах кремнезему та сумарного вмісту лугів серед вихідних порід рами досліджених масивів виділяються контрастні типи (основні, середні та кислі для Чернігівського масиву; середні та кислі для Дубравинського; карбонатні та силікатні для Пенченгінського;

середні для Альньо) та відповідні ряди їх фенітизації, в яких добре простежується ступінь інтенсивності метасоматичного перетворення. Подібна картина встановлюється і за закономірностями розподілу елементів-домішок у найбільш розповсюджених акцесорних мінералах (апатит, сфен), що також дає змогу ідентифікувати типи вихідних порід рами карбонатитових масивів та прослідкувати геохімічну зональність фенітового ореолу. Крім того, за особливостями варіації домішкового складу акцесорних цирконів з порід зональних фенітових ореолів з використанням існуючих дискримінантних діаграм можливим є встановлення приналежності метасоматичних змін до фенітового типу.

4. Встановлені закономірності поведінки петрогенних і мікроелементів у процесі фенітизації різноманітних за складом порід рами лінійних Чернігівського, Дубравинського та Пенченгінського масивів, а також масиву центрального типу Альньо відображають особливості процесу метасоматичного перетворення вміщуючих порід та відмінності в геохімічній спеціалізації масивів. Для кожного масиву можливе виділення груп елементів з різним типом поведінки: перерозподіл, привнесення, винос. Подібність набору елементів груп привнесення дозволяє запропонувати мультиплікативні геохімічні показники зональності ореолів фенітизації

- спільний для масивів лінійного типу: $K_{univ1} = La \times Ce \times Sr$;
- спільний для масивів Чернігівського та Альньо: $K_{univ2} = Sr \times Ba$.

Запропоновані показники: (1) об’єктивно відображають зростання рівня перетворення вміщуючих порід та дозволяють уточнити положення зовнішньої границі фенітового ореолу; (2) дозволяють прослідкувати зміну концентрацій головних корисних компонентів (Nb, P, LREE) у процесі фенітизації порід рами карбонатитових масивів; (3) можуть сприяти більш точній ідентифікації фенітового типу метасоматичних перетворень; (4) як наслідок вищезазначеного – сприяють підвищенню ефективності прогнозно-пошукових робіт за рахунок збільшення розмірів пошукової мішені за межі, які фіксуються прямими петрографічними дослідженнями.

Таким чином, запропонований у роботі комплексний підхід до вивчення структурно-морфологічних особливостей фенітових ореолів лінійних карбонатитових масивів та закономірностей зміни речовинного складу вміщуючих (вихідних) порід різноманітного складу у процесі їх фенітизації може розглядатися, у першу чергу, як рекомендації щодо вдосконалення ефективності існуючого комплексу критеріїв прогнозування та пошуків карбонатитових масивів. Остання теза є особливо важливою для спрощення технології та, як наслідок, зменшення собівартості геолого-пошукових робіт в умовах закритих територій, до яких належить більша частина Українського щита.

На думку автора, актуальним завданням подальших досліджень може бути розробка критеріїв розбраковки геохімічних аномалій за приналежністю до одного з двох структурно-морфологічних типів карбонатитових масивів – лінійного чи центрального. Вирішення цього завдання можливе за наявності для фенітових ореолів масивів обох типів геохімічних даних, комплементарних за набором елементів та репрезентативних як на породному, так і на мінеральному рівнях.

ПЕРЕЛІК РОБІТ, ОПУБЛІКОВАНИХ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у вітчизнянх наукових фахових виданнях, в тому числі тих, які входять до міжнародних наукометричних баз

1. Шнюков С. Є. Карбонатитові комплекси центрального та лінійного структурно-морфологічних типів: зіставлення фенітових ореолів на прикладі масивів Альньо (Швеція) та Чернігівського (Україна) / С. Є. Шнюков, І. І. Лазарева, **Ю. Є. Никанорова**, О. В. Ковтун // Мінеральні ресурси України. – 2015. – Вип. 1. – С. 20-26.
2. Шнюков С. Е. Модель формирования вулканических и вулканогенно-осадочных образований острова Десепшен (Западная Антарктида): исходные данные для моделирования / С. Е. Шнюков, И. И. Лазарева, Е. А. Хлонь, А. В. Митрохин, В. Р. Морозенко, Д. Ф. Марченков, **Ю. Е. Никанорова,** В. Ю. Осипенко // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. – 2013. – № 1 – С. 44-65. Входить до наукометричної бази РІНЦ.
3. Шнюков С. Є. Подібність та відмінності ореолів фенітізації Пенченгінського та Чернігівського карбонатитових масивів / С. Є. Шнюков, І. І. Лазарєва, **Ю. Є. Никанорова**, В. Р. Морозенко // Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія. – 2014. – Вип. 4. – С. 28-33.
4. Шнюков С. Є. Співставлення геологічної позиції, складу та геохімічних особливостей Дубравинського (Воронезький щит) і Чернігівського (Український щит) карбонатитових масивів / С. Є. Шнюков, І. І. Лазарєва, **Ю. Є. Никанорова**, В. Р. Морозенко // Геолого-мінералогічний вісник Криворізького національного університету. – 2015. – Вип. 1-2. – С. 70-78.
5. Шнюков С. Є. Фенітові ореоли лінійних карбонатитових масивів: мінерало-геохімічні критерії ідентифікації та встановлення геологічної будови / С. Є. Шнюков, І. І. Лазарева, **Ю. Є. Никанорова** // Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія. – 2015. – Вип. 1. – С. 26-31.

Статті у іноземних виданнях

6. **Никанорова Ю. Е.** Особенности формирования метасоматических ореолов линейных карбонатитовых комплексов Украинского щита, Енисейского кряжа и Воронежского кристаллического массива / **Ю. Е. Никанорова,** В. Ю. Осипенко // Modern Science. – 2015. – Вип. 1. – С. 133-141.

Публікації та матеріали конференцій

7. Лазарева И. И. Геохимическое моделирование магматических и магматогенно-гидротермальных систем как основа интерпретационной составляющей геологических депозитариев / И. И. Лазарева, С. Е. Шнюков, С. П. Савенок, Е. А. Хлонь, Д. Ф. Марченков, **Ю. Е. Никанорова**, К. Жидкова // Матеріали X

міжнар. наук. конф. «Моніторинг геологічних процесів та екологічного стану середовища» геол. ф-ту Київ. нац. ун-ту (17-20 жовтня 2012 р.). – К.: ВГЛ "Обрії", 2012. – С. 240-243.

8. **Никанорова Ю. Е.** Геохимические особенности метасоматической зональности линейных карбонатитовых комплексов Украинского щита, Енисейского кряжа и Воронежского кристаллического массива / **Ю. Е. Никанорова**, С. Е. Шнюков, И. И. Лазарева // Уральская минералогическая школа – 2013 (25-27 сентября 2013 г.). Сборник статей студентов, аспирантов, научных сотрудников академических институтов и преподавателей ВУЗов геологического профиля. Екатеринбург, 2013. – С. 94-99.
9. **Никанорова Ю. Є.** Карбонатитові комплекси лінійного типу як важлива складова регіональних геологічних депозитаріїв: особливості метасоматичної зональності (на прикладі масивів Українського, Воронезького щитів та Єнісейського кряжу) / **Ю. Є. Никанорова**, С. Є. Шнюков, І. І. Лазарєва // Тези доповідей – Природничі музеї та їх роль в освіті і науці : Матеріали Міжнародної наукової конференції (Київ, 27-30 жовтня 2015 р.). – Київ, 2015. – Ч. 1. – С. 85-87.
10. Осипенко В. Ю. Минералого-геохимические особенности нефелиновых пород Украинского щита / В. Ю. Осипенко, **Ю. Е. Никанорова**, С. Е. Шнюков, И. И. Лазарева // Тезисы докладов – XII Международная научно-практическая конференция «Новые идеи в науках о Земле» (Москва, 08-10 апреля 2015 г.). – Москва, 2015 г. – Т. 1. – С. 240.
11. Шнюков С. Е. Геохимические особенности формирования метасоматических ореолов Пенченгинского (Енисейский кряж) и Черниговского (Украинский щит) карбонатитовых массивов линейного структурно-морфологического типа / С. Е. Шнюков, И. И. Лазарева, **Ю. Е. Никанорова**, В. Р. Морозенко // Материалы научной конференции «Теоретические вопросы и практика исследования метасоматических пород и руд», ин-т геохимии, минералогии и рудообразования имени Н.П. Семененко НАНУ (14-16 марта 2012 г.). – К.: ИГМР, 2012. – С. 93-94.
12. Шнюков С. Е. Микроэлементный состав сквозных акцессорных минералов как критерий формационной принадлежности, зональности и этапов формирования / С. Е. Шнюков, И. И. Лазарева, В. Р. Морозенко, **Ю. Е. Никанорова** // Материалы научной конференции «Теоретические вопросы и практика исследования метасоматических пород и руд», ин-т геохимии, минералогии и рудообразования имени Н. П. Семененко НАНУ (14-16 марта 2012 г.). – К.: ИГМР, 2012. – С. 90-93.
13. **Nykanorova Y.** Fenitization processes in Chernigovka (Ukrainian Shield), Dubravinka (Voronezh Massif) and Penchenga (Yenisey Range) linear carbonatite massifs: similarities and differences / **Y. Nykanorova**, S. Shnyukov, I. Lazareva // 5th International Students Geological Conference, April 24-27, 2014, Budapest, Hungary. Acta Mineralogica-Petrographica, abstract series. – University of Szeged, 2014. – Vol. 8. – P. 98.

14. **Nykanorova Y.** Metasomatic zonation geochemical features of linear carbonatite complexes (at the example of Penchenga massif, Yenisei Range, and Chernigovka massif, Ukrainian Shield) / **Y. Nykanorova** // 4th International Students Geological Conference, April 19-21, 2013, Brno, Czech Republic. Conference Proceedings. – 2013 Masarykova Univerzita. – P. 116-117.

АНОТАЦІЯ

Никанорова Ю.Є. Геологічні умови формування та речовинні особливості ореолів фенітизації (на прикладі лінійного Чернігівського карбонатитового масиву Українського щита та його аналогів) – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата геологічних наук за спеціальністю 04.00.01 – загальна та регіональна геологія. – Київський національний університет імені Тараса Шевченка МОН України, Київ, 2015.

Дисертаційна робота присвячена комплексному дослідженню фенітових ореолів карбонатитових масивів лінійного структурно-морфологічного типу, а саме: встановленню особливостей їх морфології та речовинного складу; дослідженню геохімії процесу їх утворення; порівнянню з фенітовими ореолами класичних карбонатитових масивів центрального типу.

Встановлено, що фенітові ореоли лінійних карбонатитових масивів, на відміну від масивів центрального структурно-морфологічного типу, зазвичай характеризуються вираженою морфологічною асиметрією. На породному та мінеральному рівнях підтверджено факт композиційної конвергенції контрастних за складом вихідних порід у процесі їх фенітизації, а також виявлено геохімічну зональність фенітових ореолів. Підтверджено можливість встановлення приналежності метасоматичних змін до фенітового типу та ідентифікації типів вихідних порід за даними про розподіл елементів-домішок у найбільш розповсюджених акцесорних мінералах. Вперше запропоновано мультиплікативний геохімічний показник зональності, спільний для досліджених лінійних карбонатитових масивів, який дозволяє уточнити положення зовнішньої границі фенітового ореолу, оцінити ступінь перетворення вміщуючих порід. Подібні коефіцієнти, за умови їх подальшого вдосконалення, можна розглядати як засіб підвищення ефективності прогнозно-пошукових робіт.

Ключові слова: карбонатитові масиви, фенітові ореоли, структурно-морфологічний тип, апатит, сфен, циркон.

АННОТАЦИЯ

Никанорова Ю.Е. Геологические условия формирования и вещественные особенности ореолов фенитизации (на примере линейного Черниговского карбонатитового массива Украинского щита и его аналогов) – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата геологических наук по специальности 04.00.01 – общая и региональная геология. – Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко МОН Украины, Киев, 2015.

Диссертационная работа посвящена комплексному исследованию фенитовых ореолов карбонатитовых массивов линейного структурно-морфологического типа, а

именно: установлению особенностей их морфологии и вещественного состава; исследованию геохимии процесса их образования; сравнению с фенитовыми ореолами классических карбонатитовых массивов центрального типа.

Установлено, что фенитовые ореолы линейных карбонатитовых массивов, в отличие от массивов центрального структурно-морфологического типа, обычно характеризуются выраженой морфологической ассиметрией. На породном и минеральном уровнях подтвержден факт композиционной конвергенции контрастных по составу исходных пород в процес се их фенитизации, а также обнаружена геохимическая зональность фенитовых ореолов. Подтверждена возможность установления принадлежности метасоматических изменений к фенитовому типу и идентификации типов исходных пород по данным о распределении элементов-примесей в наиболее распространенных акцессорных минералах. Впервые предложен мультипликативный геохимический показатель зональности, общий для исследованных линейных карбонатитовых массивов, который позволяет уточнить положение внешней границы фенитового ореола и оценить степень преобразования вмещающих пород. Подобные коэффициенты, при условии их дальнейшего совершенствования, можно рассматривать как средство повышения эффективности прогнозно-поисковых работ.

Предложенный в настоящей работе комплексный подход к исследованию фенитовых ореолов, с учетом структурно-морфологических, минералого-петрографических, геохимических и минерало-геохимических особенностей, направлен, в первую очередь, на повышение эффективности геолого-поисковых работ за счет увеличения размеров поисковой мишени и достоверности идентификации фенитовой природы метасоматических проявлений в условиях закрытых территорий, к которым относится большая часть Украинского щита. Подобный эффект, при его достижении, должен привести к оптимизации себестоимости геологоразведочных работ.

Ключевые слова: карбонатитовые массивы, фенитовые ореолы, структурно-морфологический тип, апатит, сфен, циркон.

ABSTRACT

Nykanorova Yu.Ye. Geological formation conditions and material features of fenite haloes (at the example of Chernigovka carbonatite massif of Ukrainian Shield and its analogues) – Manuscript.

The thesis is for the degree of Candidate of Geological Science, speciality 04.00.01 – general and regional geology. – Kyiv national Taras Shevchenko university of MES of Ukraine, Kyiv, 2015.

The thesis is devoted to the complex research of fenite halos of linear structural-morphological type carbonatite massifs, namely: the ascertainment of their morphology and material composition features; the research of their formation process geochemistry; the comparison with fenite halos of classical central type carbonatite massifs.

It has been found, that fenite halos of linear carbonatite massifs, in contrast to central structural-morphological type massifs, are usually characterized by marked morphological asymmetry. The fact of compositional convergence of host rocks contrast types during

fenitization process has been confirmed on the rock and mineral levels. Geochemical zonation of fenite halos, that are developed over host rocks contrast types, has been identified on the rock and mineral levels. The possibility to determine metasomatic changes as such that belong to fenite type and identify host rocks types using data about admixture elements distribution in the most common accessory minerals has been confirmed. Multiplicative geochemical zonation index, general for studied linear carbonatite massifs, that allows to specify the position of fenite halo outer boundary and estimate host rocks transformation level, has been suggested for the first time. Such indexes, provided their further improvement, can be considered as an instrument to increase the efficiency of forecasting and prospecting works.

Key words: carbonatite massifs, fenite haloes, structural-morphological type, apatite, titanite, zircon.