

Найдавніша субширотна зона вздовж південного обрамлення Коростенського плутону фіксується фрагментарно і потребує додаткового дослідження. Більш молода субмеридіональна зона спостерігається смугами паралельно контакту Волинського та Росинсько-Тікицького блоків. Молодшою за віком є зона північно-західного простягання, а наймолодшого - діагонального північно-західного та північно-східного простягання. Усі вони фіксуються за віком термічного "закриття структур біотиту".

За попередніми даними, у межах Осницького тектонічного блоку визначається тільки один чіткий максимум, що дорівнює 1500-1600 млн рр., пов'язаний із закінченням етапу його перебудови і тектонічної переорієнтації, який теж супроводжувався явищами діафорезу. Порівняння результатів визначення ізотопного віку порід за різними мінералами вказує на значний віковий діапазон між етапами активної магматичної діяльності (на момент закладання зони) та тектонічною термостабілізацією зони в цілому й окремих її ділянок зокрема.

### ВИСНОВКИ

Проведені дослідження та отримані результати свідчать про вік "закриття" структур мінералів для дифузії аргону з їх кристалічних ґраток. Вік початку накопичення аргону в амфіболах (залежно від часу їх утворення) відповідає етапу діафорезу, що розвивався в зонах розломів за умов амфіболітової та епідот-амфіболітової фацій метаморфізму і відбувався за температури 440-740 °С. Час початку відрахунку віку біотиту відповідає зниженню температури порід на досліджуваних ділянках розломів приблизно до 300 °С і фактично фіксує вік виходу тектонічної зони із режиму метаморфізму.

Комплексний петрографо-геохронометричний підхід у дослідженнях діафорованих за умов середніх ступенів метаморфізму зон тектонічних порушень докембрію, дозволяє не тільки правильно оцінити окремі ізотопні дати, але й провести хронометраж магматичних, метаморфічних та тектонічних подій.

УДК 553. 91 (477)

К.А. ШАКІНА, Л.З. СКАКУН

## ГРАФІТОВЕ ЗРУДЕНІННЯ НА ЗАВАЛЛІВСЬКОМУ РОДОВИЩІ ЯК РЕЗУЛЬТАТ ПДРОТЕРМАЛЬНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ

*Заваллівське родовище графіту традиційно розглядають як стратиформне. На основі аналізу результатів макро- і мікроскопічних досліджень можна сказати, що мінералізація графіту є епігенетичною по відношенню до вмісних порід і пов'язана з пізніми крихкими деформаціями. Графіт спостерігається в асоціації піротин + магнетит + алюмоселадоніт + Mg-Fe змішаношаруваті силікати ± доломіт, кварц. Графіт кристалізується з гідротермального розчину за рахунок змішування двох флюїдів різного складу - CO<sub>2</sub>-вмісного розчину, який був врівноважений з карбонатними породами, і CH<sub>4</sub>-C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>-H<sub>2</sub>S-вмісного розчину, який постував з глибинних джерел по розлому.*

### ВСТУП

Інтерпретація результатів макроскопічних і детальних мінералогічних досліджень складу графіт-вмісних порід і гідротермальних жильних утворень дала змогу переоцінити основні гіпотези щодо походження графіту на Заваллівському родовищі.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Батырмурзаев А.С. Миграция калия и радиогенного аргона в минералах. - Махачкала: Дагкнигоиздат, 1982. - 207 с.
2. Брандт С.Б., Вороновский С.Н. Дегидратация и диффузия радиогенного аргона в слюдах // Изв. АН СССР. Сер. геол. - 1964. - № 11.
3. Каталог изотопных дат пород Украинского щита / Н.П. Щербак, В.Г. Злобенко, Г.В. Жуков и др. - Киев: Наук. думка, 1978. - 224 с.
4. Кореляційна хроностратиграфічна схема раннього докембрію Українського щита (схема та поясн. зап.) / Нац. стратиграф. комітет України. - Київ: УкрДПІ, 2004. - 29 с.

### РЕЗЮМЕ

Рассмотрен опыт использования K-Ar геохронометрии для датирования процессов в докембрийских зонах диафореза. Показано, что комплексные петрографические-геохронометрические исследования пород зон тектонических нарушений позволяют правильно интерпретировать изотопные даты, полученные с помощью различных методов по различным минералам, и проводить хронометраж магматических, метаморфических и тектонических событий в докембрии.

### SUMMARY

This paper discusses the experience of using K-Ar geochronometry for dating the processes in Precambrian zones of diaphoresis. It is shown that complex petrographic-geochronometric investigations of tectonic fault zones make it possible to do correct interpretation of isotopic data, obtained by different methods on different minerals, and carry out chronometric checking of magmatic, metamorphic and tectonic events in Precambrian.

*Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України, м. Київ*

*Київський національний університет ім. Тараса Шевченка, м. Київ  
e-mail: mrg@univ.kiev.ua*

фізму первинноосадових алюмосилікатних порід, збагачених вуглецем біогенного походження. За гідротермальною гіпотезою [3], графіт кристалізується з гідротермального флюїду в ретроградну стадію регіонального чи контактowego метаморфізму за рахунок двох основних механізмів: 1) окиснення високовідновного флюїду вмісними породами  $\text{CH}_4 + \text{O}_2 = \text{C} + 2\text{H}_2\text{O}$ ; 2) змішування флюїдів різного складу  $\text{CO}_2 + \text{CH}_4 = 2\text{C} + 2\text{H}_2\text{O}$ .

Крім того, В.Г. Яценко [4] висунув гіпотезу полігенного походження графіту, згідно з якою в процесі графітоутворення на Заваллівському родовищі можна виділити два етапи: 1) утворення розсіяної мінералізації графіту на проградній стадії регіонального метаморфізму за рахунок графітизації вуглецю біогенного походження; 2) кристалізація графіту (основні рудні концентрації) з гідротермального флюїду на ретроградній стадії регіонального метаморфізму.

Графіт на Заваллівському родовищі фіксується в усіх типах порід. Однак найбільший вміст графіту характерний для біотитвмісних сланців і гнейсів (до 5-7%). Морфологія графітових виділень різноманітна. Найбільш поширеною формою графіту є видовжені пластинчасті кристали розміром до 5-6 мм. У діопсидових скарнах і так званому "вончому" кварці (кварці з включеннями сірководню) [5] графіт спостерігається у вигляді ізометричних пластинчастих зерен розміром від 1-2 до 5-6 мм. Також на Заваллівському родовищі описані брекчіювані породи з вмістом графіту до 15%. графіт присутній у вигляді уламків, а також у проміжках між уламками порід.

На основі польових і мікроскопічних досліджень співвідношення між графітом і вмісними породами встановлено, що агрегати графіту тяжіють до системи тріщин сколу. Система тріщин формується під кутом приблизно  $5^\circ$  до сланцюватості вмісних порід (рис. 1). Також графіт спостерігається в тінях тиску будин пегматитів різноманітного складу, зокрема - кварц-плагіоклаз-калішпатових (рис. 2), діопсидових скарнів, гранат-біотитових сланців. Графіт наявний у вигляді видовжених пластинчастих зерен по крихких тріщинах в зернах гранату (рис. 3), піроксенів та інших мінералів. Дані ознаки вказують, що процес формування графіту супроводжує етап деформацій, які є перехідними між пластичними і крихкими, про що свідчить поведінка кварцу і калієвого польового шпату в будинах кварц-плагіоклаз-калішпатових пегматитів: кварц пластично тече, а калієвий шпат зазнає крихкої деформації.

На початку деформаційного процесу графіт є не рівноважним з кварцом. Кварц або розчиняється, або перекристалізується за механізмом збірної перекристалізації зі збільшенням розміру зерен.

Графіт спостерігається в асоціації протин + магнетит + алюмоселадоніт + Mg-Fe змішаношаруваті силікати. Графіт утворює паралельні зростки з магнетитом, протином, алюмоселадонітом (рис. 4-6). Mg-Fe змішаношаруваті силікати, в яких наявні пакети сапоніту, мінесотаїту і залізного хлориту (за даними мікрозондового аналізу,  $\text{MgO} : \text{FeO} = 0,5-2,35$ ;  $\text{SiO}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3 = 1,45-2,35$ ), утворюють навколо зерен графіту облямівку шириною до 10 мкм. Також у зоні розвитку графіту спостерігається пентландит, алтайт (PbTe), зрідка - зерна арсенопіриту і антимоніту.

В облямівках графіту спостерігається явище аль-

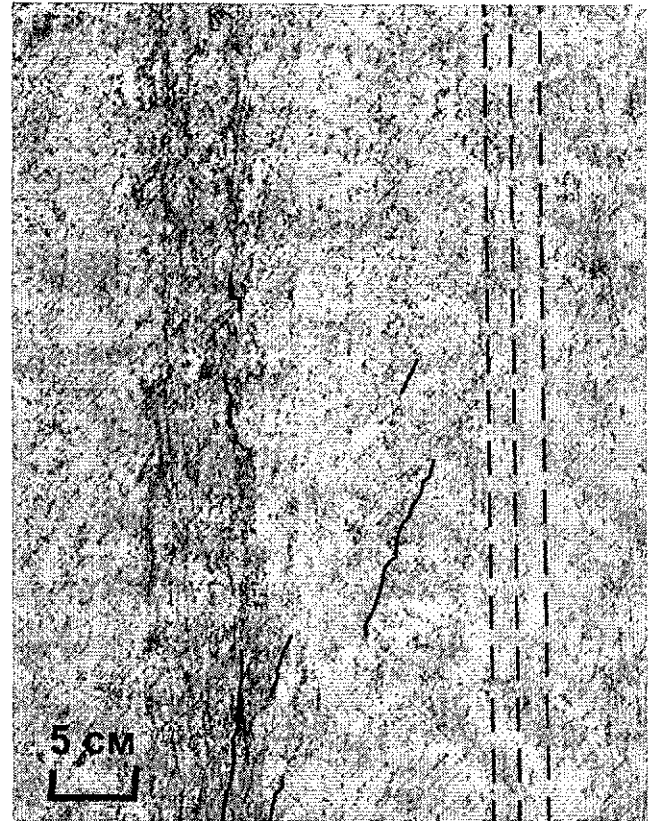


Рис. 1. Розміщення агрегатів графіту відносно сланцюватості біотитвмісних гнейсів

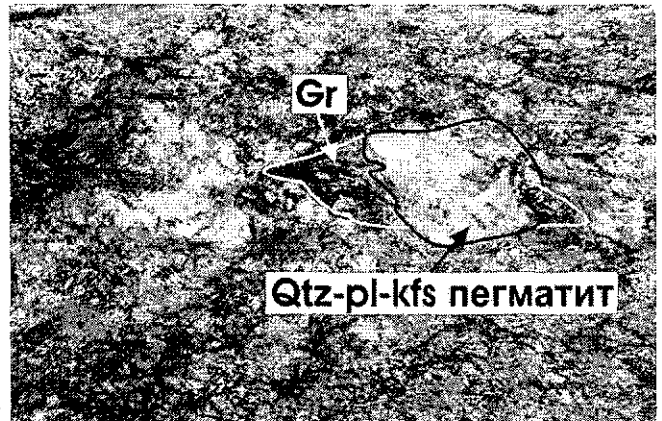


Рис. 2. Будина кварц-калішпатового пегматиту в графітовому сланці

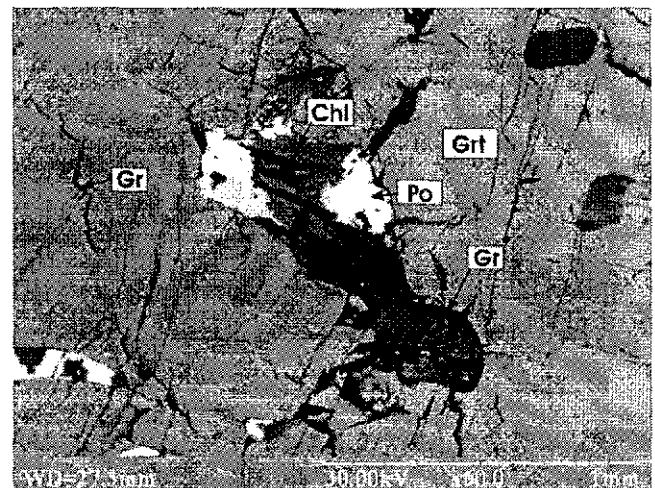


Рис. 3. Графіт в крихких тріщинах в гранаті. BSE зображення під растровим електронним мікроскопом

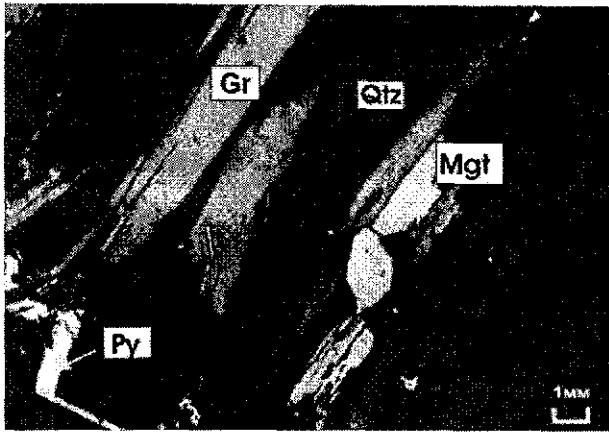


Рис. 4. Зросток графіту (Gr) і магнетиту (Mgt)

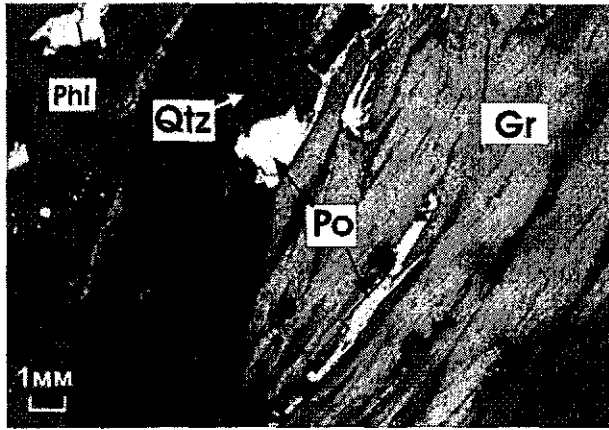


Рис. 5. Зросток графіту (Gr) і піротину (Po)

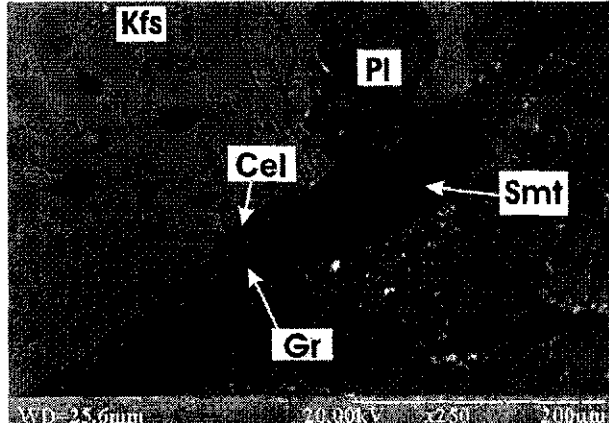


Рис. 6. Зросток графіту, алюмоселадоніту (Cel) і Mg-Fe змішаношаруватих силікатів (Smt). BSE зображення під растровим електронним мікроскопом

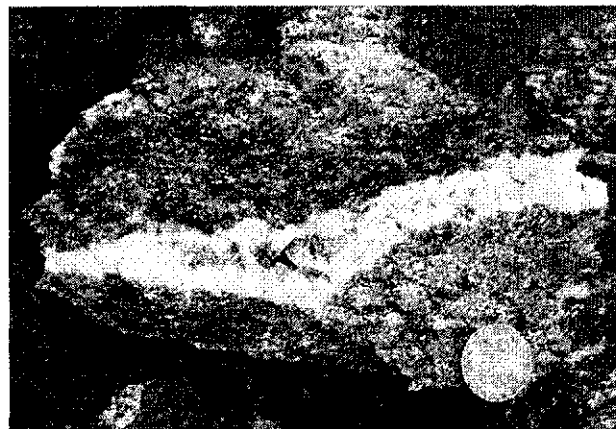


Рис. 7. Кварцова жила в графітвмісному сланці

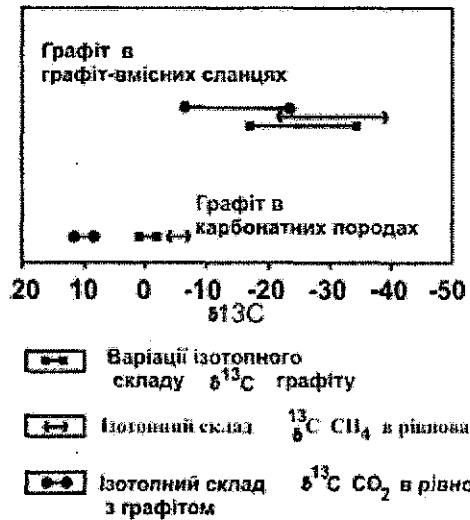


Рис. 8. Варіації ізотопного складу вуглецю графіту,  $\text{CO}_2$  і  $\text{CH}_4$  в карбонатних породах і гнейсах Заваллівського родовища. Ізотопні дані взяті з праць [6, 7]

бітизації основного плагіоклазу (за даними мікронзондового аналізу, складом від лабрадору до анортиту) з утворенням кальциту.

Для зон графітизації характерна зональність, вони оточені піротиновою і магнетитовою зонами, на їх виклинюванні спостерігаються доломітові жили з графітом.

Наприкінці деформаційного процесу тріщини виповнюються кварцовими жилами з характерною друзовою текстурою (рис. 7). У призальбандовій частині жил відбувається перекристалізація графіту та формування калієвого польового шпату і магнетиту.

Для встановлення природи гідротермальних розчинів, з якими пов'язане формування, було проведено дослідження флюїдних включень у кварці з кварцових гідротермальних жил і їх відгалужень. За результатами криометричних досліджень встановлено наступні групи включень за складом: рідинно-газові натрій-хлоридні (концентрація 1-10 %), рідинні кальцій-хлоридні (концентрація 20-28 %), рідкі вуглекислотні, газові етанові. М. Братусь [5] також встановив у так званому "вонючому" кварці метанові включення і включення з сірководнем. Температура гомогенізації флюїдних включень з кварцу становить 230-400 °C [5].

На основі аналізу перерахунків ізотопного складу  $\text{CO}_2$  і  $\text{CH}_4$  в рівновазі з графітом у карбонатвмісних породах і графітвмісних сланцях (рис. 8) встановлено, що для формування графіту можливе існування двох джерел вуглецю: 1 - вуглець глибинного походження, який утворився, ймовірно, за рахунок термального розкладення органічної речовини; 2 - вуглець карбонатних порід.

Результати досліджень підтверджуються результатами моделювання в програмному пакеті "GEM-Selector" (версія 2-PSI) (І.К. Карпов, С.А. Кашик, Д.О. Кулик та ін.). Завданням було змодельовати процес формування графіту при взаємодії олівін-діопсидового кальцифіру (дані щодо хімічного складу взяті з праці [8]) з вуглецьвмісним ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ) гідротермальним розчином. В результаті моделювання встановлено, що графіт формується в асоціації хлорит - тальк, яка спостерігається в реальних умовах. Максимальна температура, за якої може утворитися графіт - ~ 425 °C.

Мінералізація графіту є епігенетичною по відношенню до вмінних порід. Процес формування графіту супроводжував крихкі деформації порід. На початку деформаційного процесу графіт є нерівноважний з кварцом: кварц розчиняється або перекристалізується за механізмом збірної перекристалізації зі збільшенням розміру зерен. Наприкінці деформаційного процесу під час відкривання крихкі тріщини виповнюються кварцовими жилами. Графіт формується в асоціації піротин + магнетит + алюмоселадоніт + Mg-Fe змішаношаруваті силікати.

### ВИСНОВКИ

На основі результатів дослідження флюїдних включень та ізотопного складу вуглецю графіту висунуто гіпотезу, що графіт кристалізується з гідротермального розчину в результаті змішування двох флюїдів відмінного складу - розчину, збагаченого на  $\text{HCO}_3^-$ , що перебуває в рівновазі з карбонатними породами (мармури, кальцифіри), і  $\text{CH}_4\text{-C}_2\text{H}_6\text{-H}_2\text{S}$ -вмісного розчину глибинного походження.

### ЛІТЕРАТУРА

1. *Войтович В.С.* Генезис Завальевского графитового месторождения // Геол. журн. - 1990. - № 2. - С. 138-144.
2. *Іванців О.Є.* Геологія та генезис графітових родовищ України. - К.: Наук. думка, 1972. - 134 с.
3. *Сивоконь В.І.* Про походження графітів Заваллівського родовища // Геол. журн. - 1958. - XVIII, вип. 6. - С. 39-46.
4. *Яценко В.Г.* Структурно-морфологические и генетические типы графита на примере месторождений Украинского щита: Автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. - Киев, 1996. - 253 с.
5. *Братусь М. Д., Белецька Ю.А., Деміхов Ю.О. та ін.* Флюїдний режим мінералогенезу та ізотопна природа компонентів флюїдів у вуглецьмістних комплексах Українського щита // Мінерал. зб. - 2004. - № 54, вип. 2. - С. 195-207.

6. *Загнитко В.Н., Луговая И.П.* Изотопный состав графита в породах Украинского щита // Минерал. журн. - 1986. - 8, № 1. - С. 44-56.

7. *Шабо З.В.* Исследование условий образования графитов Украинского кристаллического щита по данным изотопного состава углерода: Автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. - Львов, 1975. - 34 с.

8. *Семененко Л.П.* Гранулиты и чарнокиты Украинского щита. - К.: Наук. думка, 1995. - 104 с.

9. *Щербаков И.Б.* Петрология Украинского щита. - Львов: ЗУКЦ, 2005. - 360 с.

### РЕЗЮМЕ

Завальевское месторождение графита традиционно рассматривается как стратиформное. На основании анализа результатов макро- и микроскопических исследований предполагается, что минерализация графита является эпигенетической по отношению к вмещающим породам и связана с поздними хрупкими деформациями. Графит наблюдается в ассоциации пирротин + магнетит + алюмоселадонит + Mg-Fe смешаннослоистые силикаты ± доломит, кварц. Графит кристаллизуется из гидротермального раствора при смешивании двух флюидов разного состава -  $\text{CO}_2$ -содержащего раствора, уравновешенного с карбонатными породами, и  $\text{CH}_4\text{-C}_2\text{H}_6\text{-H}_2\text{S}$ -содержащего раствора, поступающего из глубинных источников по разлому.

### SUMMARY

Mineralization of graphite is epigenetic with respect to the hosted rocks and related with later brittle deformations. Graphite forms in association pyrrhotite + magnetite + aluminoceladonite + Mg-Fe mixed-layered silicates. Graphite precipitates from hydrothermal solution due to mixing of  $\text{CO}_2$ -bearing fluid from carbonate rocks and deep  $\text{CH}_4\text{-C}_2\text{H}_6\text{-H}_2\text{S}$ -bearing fluids.

*Львівський національний університет ім. Івана Франка, м. Львів*  
e-mail: [geomin@geof.franko.lviv.ua](mailto:geomin@geof.franko.lviv.ua)

УДК. 550.93

Н.П. ЩЕРБАК, Л.М. СТЕПАНЮК, А.Н. ПОНОМАРЕНКО

## ПРОБЛЕМЫ ГЕОХРОНОЛОГИИ УКРАИНСКОГО ЩИТА

*Выделено четыре группы проблем геохронологии Украинского щита, обусловленных, преимущественно, не учетом возможностей и ограничений методов изотопного датирования, что продемонстрировано на породных комплексах региона. Намечены пути решения основных нерешенных вопросов в геохронологии Украинского щита.*

В результате отсутствия органических остатков в раннедокембрийских высокометаморфизованных супракрасталльных и, тем более, магматических образованиях для определения их возраста пригодны лишь методы изотопного датирования. Поэтому большинство проблем в геохронологии Украинского щита (УЩ) обусловлены, в первую очередь, ограничениями, которые имеются у методов изотопного датирования в целом, и применением имеющегося арсенала этих методов к конкретным геологическим объектам в частности.

В ходе изотопно-геохронологических исследований возникают два аспекта, первый из которых связан с аналитической процедурой получения цифровых значений возраста, второй - с геолого-геохронологической интерпретацией получаемых возрастов, т. е. с переносом получаемых цифровых значений возраста на время протекания конкретных эндогенных геологических событий.

Радиогеохронологические исследования пород УЩ продолжаются больше 50 лет. Главным достижением этих работ, на наш взгляд, является "Корре-