

4. Хаин В. Е. Планета Земля: основные черты структуры, динамики и эволюции – глобальный аспект // Тектоника земной коры и мантии. Т. II. – Москва: ГЕОС, 2005. – С. 5–12.
5. Адушкин В. В., Овчинников В. М. О мозаичности отражающих свойств поверхности твердого ядра Земли // Докл. АН. – 2004. – **397**, № 6. – С. 815–817.
6. Карпов И. К., Зубков В. С., Бычинский В. А. Детонация в мантийных потоках тяжелых углеводородов // Геология и геофизика. – 1998. – **39**, № 6. – С. 754–762.
7. Анфилогов В. Н. Гидроэкструзия – возможный механизм движения диапиров, куполов и мантийных плюмов // Геохимия. – 2006. – № 8. – С. 873–878.
8. Штрюмбель Г., Циммер З. Минералогический словарь. – Москва: Недра, 1987. – 493 с.
9. Лукин А. Е. Инъекции глубинного углеводородно-полиминерального вещества в глубокозалегающих породах нефтегазоносных бассейнов: природа, прикладное и генезисное значение // Геол. журн. – 2000. – № 2. – С. 7–21.
10. Лукин А. Е., Пиковский Ю. И. О роли глубинных и сверхглубинных флюидов в нефтегазообразовании // Там же. – 2004. – № 2. – С. 21–33.
11. Лукин А. Е., Алексеев В. А. Пригожиниты – новый генетический тип природных минеральных агрегатов // Дегазация Земли: Геофлюиды, нефть и газ. – Москва: ГЕОС, 2006. – С. 147–148.
12. Лукин А. Е. О происхождении шунгитов // Геол. журн. – 2005. – № 4. – С. 28–47.
13. Лукин А. Е., Лысенко В. И., Лысенко Н. И., Наумко И. М. О природе гераклитов // Геолог Украины. – 2006. – № 4. – С. 33–50.
14. Тугоплавкие карбиды / Под ред. Г. В. Самсонова. – Москва: Металлургия, 1970. – 320 с.
15. Менделеев Д. И. Гипотеза о происхождении нефти // Журн. Рус. хим. общества. – 1877. – **9**, № 2. – С. 5–25.

Институт геологических наук  
НАН Украины, Киев

Поступило в редакцию 05.10.2006

УДК 551.24:552.4

© 2007

**В. А. Михайлов**

## **Генетичні типи докембрійських зеленокам'яних поясів**

*(Представлено академіком НАН України Є. О. Кулішом)*

*Three types of Precambrian greenstone belts – plumbotectonic, permobil, and platetectonic – are separated, their properties, which are related to geodynamic conditions of the development of the Earth's crust of the Early Precambrian, are characterized, and their metallogenic significance is shown.*

Зеленокам'яні пояси (ЗКП) є найважливішими рудоносними структурами давніх платформ. Вони періодично виникали протягом усього раннього докембрію, мають велике металогенічне значення. Однак питання типізації, структури, походження ЗКП залишаються багато в чому невирішеними і широко дискутуються в науковій геологічній літературі. В останній час обговорюється можливість закономірної спрямованої еволюції цих структур, залежно від загальної еволюції Землі та її оболонок [1–3].

ЗКП формувалися і в заостроводужних басейнах, і в системі континентальних рифтів уздовж конвергентних границь літосферних плит, і над мантийними струменями, а формування гранітогнейсових куполів відбувалося в сіалічній корі над великими висхідними

конвекційними потоками, лінійної у плані форми [4, 5]. Виникнення ЗКП часто розглядається як результат послідовної акреції островодужних і океанічних терейнів до активних окраїн континентів (М. В. Мінц, А. Полат, А. Керріч) або закриття серії вузьких задугових рифтових басейнів, які існували вздовж границь палеоконтинентів над активними зонами субдукції (Д. Р. Нельсон). Інколи підкреслюється (Ю. В. Міллер) важлива роль глиб ремобілізованого фундаменту (гранітогнейсових куполів, діашір-плутонів, тоналітових масивів) у формуванні ЗКП, які вважаються результатом накладання глибово-купольних дислокацій на покривно-складчасті структури. Деякі дослідники [6] зіставляють докембрійські ЗКП з фанерозойськими геосинклінально-складчастими системами та орогенними вулканічними поясами.

Одним з найважливіших і дискусійних є питання про наявність протерозойських ЗКП. Його дискусійність обумовлена насамперед непорозумінням простого факту послідовної зміни геодинамічних умов у геологічній історії нашої планети, що закономірно спричинило зміну структур, які формувалися, та їх металогенічних особливостей. У роботах останніх років показано, що палеопротерозойські зеленокам'яні структури (ЗКС) є особливим типом ЗКП, перехідним між типовими архейськими ЗКП і фанерозойськими рухливими поясами [7], а загальна еволюція континентальної кори раннього докембрію відбувається за закономірними змінами геодинамічних режимів від плюмтектонічного в палео-мезоархеї до перехідного (початкова тектоніка плит) у неоархеї і плейттектонічного (тектоніка літосферних плит) в палеопротерозої [1]. Саме цим і зумовлені особливості різновікових ЗКП, серед яких виділяють ЗКП плюмтектонічного (палео-мезоархей), пермобільного (неоархей) і плейттектонічного (палеопротерозой) типу.

**ЗКП плюмтектонічного типу** (рис. 1) формуються в умовах протокори базитового складу, яка виникає на ранніх стадіях розвитку Землі під впливом процесів плюмтектоніки. Вони закладаються як рифтогенні трогоподібні структури граніт-зеленокам'яних областей (ГЗО). Рифтові зони відповідають областям підйому аномально розігрітої мантії, що зумовлює гранулітовий метаморфізм глибинних зон, одночасне підняття гранітогнейсових куполів і рифтоутворення в їх склепінних ділянках. Саме це й спричиняло петельчасту форму, характерну для цього типу ЗКП, і метаморфічну зональність з нарощуванням ступеня метаморфізму в крайових частинах ЗКП. Характерними регіонами розвитку ЗКП цього типу є кратони Каапвааль (Барбертон, Мурчисон, Сатерленд, Пітерсбург, Нондвені, Реностеркоппі, Малдерсдріф), Гренландський (Ісуа), Пілбара (Робурн, Шелл, Вім-Крик, Малліна, Уорджина, Москіто-Крик), УЩ (Конкська, Білозерська, Сурська, Чортомлицька, Верхівцевська ЗКС). З ними пов'язані родовища: сульфідні мідно-нікелеві (Шангані в Зімбабве); колчеданні (Уім-Крик, Біг-Стабі, Ядікугіна в Австралії); залізисті кварцити (Ісуа в Гренландії; Шей-Геп в Австралії; Білозерське в Україні); баритові (Норт-Пол, Кук-Блафф в Австралії); золоторудні (Каапвааль, УЩ); хромітові (Фіскенесет у Гренландії).

**У кратоні Каапвааль** виділяється дві генерації ЗКП [8]: рання (3,5–3,2 Ga) у південній частині кратону (ЗКП Махамба, Двалайл, Нондвені) і пізня (3,0–2,9 Ga) — у північній (Крайпан, Швейцер-Ренеке, Мурчисон). Найдовше розвивався ЗКП Барбертон (понад 440 Ма), який одночасно є найважливішим концентратором золоторудних родовищ кратону. Нижня частина його розрізу складена ультрамафітовими вулканітами з прошарками й горизонтами кислих вулканітів і кременистих сланців серії Онвервахт (8–9 км), нижня частина якої виділяється як Нижній ультрамафітовий комплекс (формації Сандспрейт, Тіспрейт, Коматі), а верхня — як Мафічно-фельзічний комплекс (формації Хогенуг, Кромберг, Сварткопп). Вище залягають осадові породи серій Фіг-Три потужністю 2 км (формації Шеба,

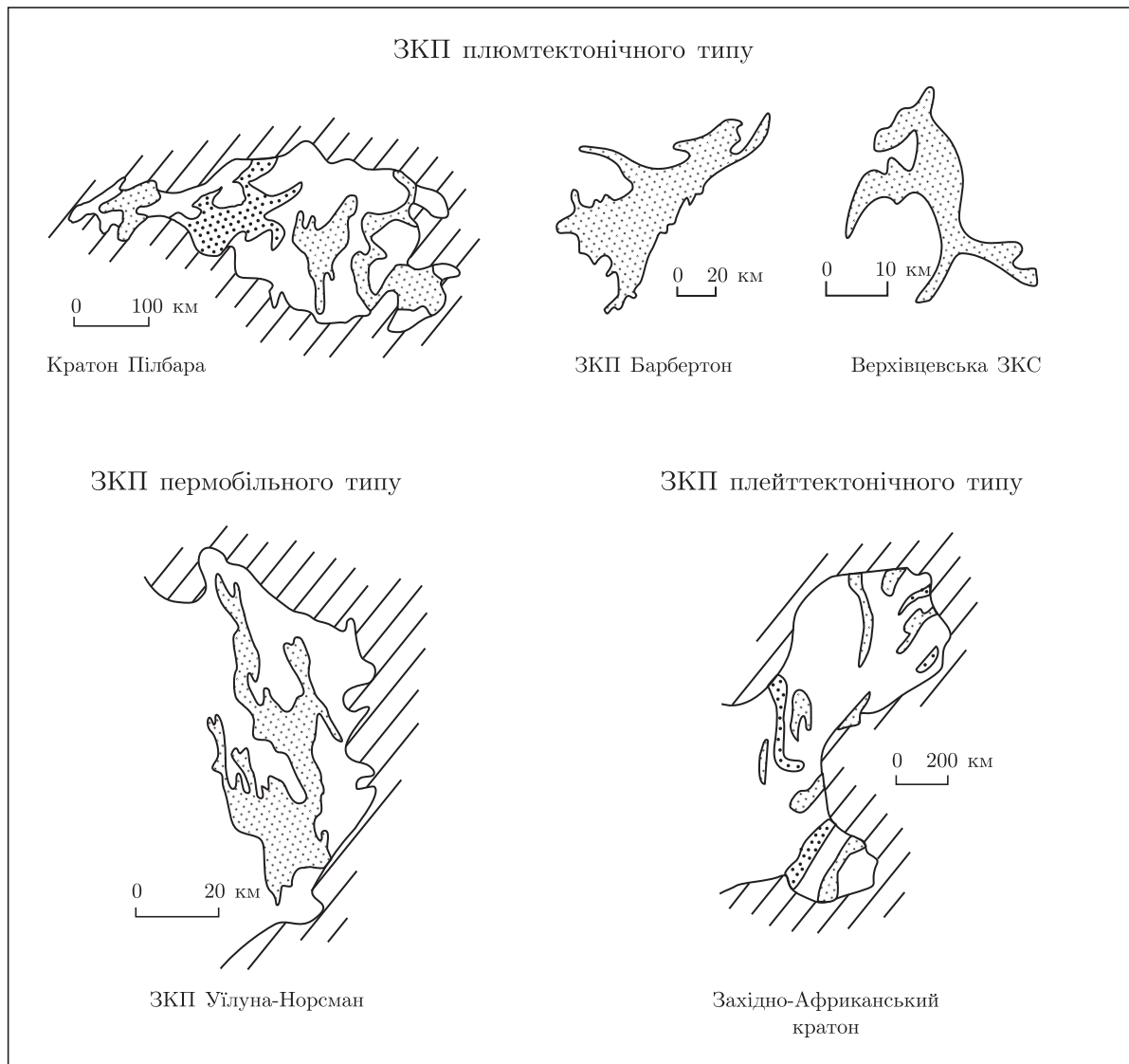


Рис. 1. Генетичні типи докембрійських зеленокам'яних поясів:  
 1 — гранітно-метаморфічний фундамент; 2 — зеленокам'яні структури; 3 — перекриваючі платформні утворення

Бельвю-Род, Шонгецихт) і Мудіс (3,5–5,0 км) (формації Клута, Джос-Лак, Бавіанскоп, Бікенхолл).

**Кратон Пілбара** є однією з найдавніших ГЗО земної кори, складених палеоархейськими гранітогнейсовими комплексами, які (подібно гігантській мегабрекчії) ніби зцементовані ЗКП палео- і мезоархею, як правило, петельчастої форми (Рубурн, Шелл, Вім-Крик, Малліна, Уорджина, Москіто-Крик). ЗКП складені серіями Уорравуна (3,47–3,32 Ga), Віман (3,32–3,27), Горж-Крик (3,27–3,14), Вім-Крик (3,14–3,09) і Лук-Крик (2,8), у складі яких

вулканіти основного — ультраосновного складу послідовно поступаються місцем осадовим породам [9, 10]. На границі мезо-неоархею (3125–3030 Ma) починається протоплатформний етап розвитку, що збігається зі зміною тектонічного стилю від формування ГЗО до супракрустального уламкового осадконагромадження.

**Український щит** складений глибоко метаморфізованими гранітогнейсовими комплексами і ЗКП архейської Придніпровської ГЗО і Приазовського блока, на які накладені палеопротерозойські складчасті зони. ЗКП витягнуті в субмеридіональному напрямі: Конксько-Білозерський (Конкська і Білозерська ЗКС), Базавлуцький (Сурська, Чортомлицька, Верхівцевська). Характерні форми ЗКС — амебоподібні (Верхівцевська), брахіально-ізометричні (Сурська), лінійні (Сорокинська, Конкська), характерні формації — метакоматит-толеїтова, сланцево-джеспіліт-толеїтова (конкська серія) у нижній частині розрізу, метаконгломерат-піщано-сланцева і метаріодацитова (білозерська серія) [11, 12].

**ЗКП пермобільного типу** (рис. 1) виникають в умовах вже частково консолідованої земної кори, коли в режимі початкової стадії тектоніки плит відбувається нарощування, ускладнення і кратонізація блоків субконтинентальної кори під дією початкових форм процесів субдукції і спредингу на крайових частинах вже сформованих протоядер майбутніх континентів. Завдяки цим процесам виникають зони розтягнення, розвиток яких призводить до виникнення смугоподібних океанічних басейнів, що розчленовують уламки протоплатформ. Закриття цих басейнів, яке відбувається в режимі акреції, а пізніше — колізії, супроводжується складчастістю, гранітоїдним магматизмом, шар'яжно-насувними деформаціями, регіональним метаморфізмом, що врешті-решт призводить до консолідації протоплатформних уламків і виникненню перших суперконтинентів. ЗКП цього типу широко розвинені на кратонах: Канадському, Зімбабвійському, Йілгарн, Індійському, Балтійському, Алданському. З ними пов'язані численні родовища: колчеданні (Віханті, Хаутоварське у Фінляндії; Віскарія в Швеції; Японваара в Карелії; Юнайтед-Верді в США; Кідд-Крик, Маттагамі, Хорн у Канаді; Хонтоушань у Китаї); сульфідні мідно-нікелеві (Камбалда, Ніпепан, Уіндарра в Австралії; Алексо, Тексмон, Марбрідж у Канаді); залістисті кварцити (Костомукша, Чаро-Токинське, Хананське в РФ); марганцеві (Ріу-дас-Велхас у Бразилії; Читрадуга в Індії); золоторудні (Керр-Едісон, Кон-Жіант у Канаді; Голден-Майл, Неворія в Австралії; Кейм-Мотор, Глоб-Фенікс у Зімбабве; Колар в Індії); рідкіснометальні (Гурон-Клайм, Рис-Лейк у Канаді; Катлін-Крик, Лондондеррі, Воджина, Гросмонт в Австралії; Бікита, Гамбола в ПАР).

**Канадський щит** є типовим регіоном розвитку неоархейських ЗКП пермобільного типу, особливо провінції Сьюперіор і Слейв [13].

**Провінція Сьюперіор** складена архейськими гранітно-метаморфічними утвореннями, серед яких виділяються неоархейські (2,7–2,6 Ga) ЗКП Абітібі, Ківатін, Ючі, Інглиш-Рівер та ін. Вони представлені видовженими трогоподібними структурами, які складені основними і кислими вулканітами, класто- і хемогенними осадовими породами, перекритими протоплатформними відкладами гуронської серії (2,7–2,2 Ga), і прорваним нікеленосним масивом Седбері. Провінція має важливе металогенічне значення: з ЗКП пов'язані великі родовища золота (Порк'юпайн, Керкленд-Лейк, Керр-Едісон, Малартик, Ламак), колчеданні поклади сульфідних руд (Кідд-Крик, Хорн, Іст-Сулліван, Маттагамі-Лейк), з гуронською серією — залізни (Мак-Ліз-Лейк, Хайленд-Валлі) та уранові руди (Елліот-Лейк), а з масивом Седбері — унікальні поклади мідно-нікелевих руд.

**Провінція Слейв** має подібну будову, серед гранітно-метаморфічної основи розвинені ЗКП (Йеллоунайф, Камерон-Росс-Лейк, Бенджамін-Лейк, Індіш-Лейк), складені архей-

ською (2,6–2,55 Ga) групою Й'еллоунайф. На відміну від поясу Абітібі, іноді в ЗКП переважають граувако-аргілітові відклади, а основні вулканіти складають не більше 15–20% обсягу групи. Широко поширені золоті родовища, пов'язані з ЗКП: Джиант-Й'еллоунайф, Діскавері, Кон та ін.

**Зімбаввійський кратон** складений переважно гранітогнейсовими комплексами палео-мезоархею, на які накладені ЗКП (Шамва-Хараре, Мутаре, Мвума, Шуругві-Гверу, Масвінго, Мберенгва, Шогані), виповнені коматітовими і толеїтовими базальтами, бімодальними вулканічними серіями, уламковими осадовими породами, смугастою залізистою формацією, агломератами і туфами мезо-неоархею, які метаморфізовані в зеленосланцевих, рідко в амфіболітових фаціях. Виділяються три серії, які розділені великими незгідностями: Себаквайська (3,5 Ga) — коматітові і толеїтові базальти з прошарками уламкових осадових порід і залізистих кварцитів; Булавайська (2,9–2,7 Ga) — асоціація коматітових, кислих вулканічних і осадових порід; Шамвайська (2,7–2,5 Ga) — агломерати і туфи кислого складу з прошарками ріолітів, дацитів, пісковиків. В археї сформувалися численні родовища золота, заліза, марганцю та ін., пов'язані з ЗКП. Наприкінці архею (2,7 і 2,6 Ga) відбулося вкорінення гранітоїдів, а останнім проявом архейського магматизму є впровадження Великої Дайки (2,5 Ga), до якої приурочені унікальні родовища хромшпінелідів і платиноїдів.

**У кратоні Йілгарн** виникнення ЗКП пов'язане з нагромадженням серії Калгурлі (Кулгарді), представленої коматітами й іншими ефузивами основного й ультраосновного складу, рідше кислого, туфами, грауваками, залізистими кварцитами, джеспілітами, силлами діабазів і долеритів. Вік острівнодужного ультраосновного-основного вулканізму — 2958–2930 Ма, а в інтервалі 2713–2672 Ма проявлений бімодальний континентально-рифтовий вулканізм [14]. Серія прорвана тоналітами, гранітами, гранодіоритами (2,65–2,48 Ga). Прогресивний метаморфізм амфіболітової фації датується 2,7 Ga, а дайки, що січуть рудоносні структури ЗКП — 2,4 Ga. Серією виповнений ряд ЗКП, найвідоміший з яких пояс Уїлуна-Норсман, протягується в субмеридіональному напрямі на 800 км за шириною до 200 км. На відміну від петельчастих ЗКП кратону Пїлбара, ЗКП кратону Йілгарн мають видовжену в субмеридіональному напрямі форму. Ймовірно, вони відповідають серії острівних дуг і задугових басейнів уздовж окраїни палеоконтиненту, які згодом приєдналися до нього [15].

**На Індійському щиті** прикладом неоархейських ГЗО є кратон Карнатака, де виділяється ряд ЗКП (Дарварський, Серінганатамський, Саргурський), складених зеленокам'яними формаціями серій Дарварської та Бабабудан (2,6–2,9 Ga). Їх розміщення зумовлене субмеридіональною шовною зоною глибокого закладення з переміщеннями за механізмом лівого зсуву. З ними пов'язані золоторудні родовища Колар, Хатті, Рамагірі, залізисті кварцити (Кудремукх, Маюрбхандж, Дург). Тектонічна природа кратону трактується з точки зору конвергенції плит і акреції новостворених терейнів до давніх континентальних ядер. Західна частина кратону інтерпретується як форланд акреційної дуги, представленою гранітним батолітом і сланцевими поясами (міждуговими басейнами).

**ЗКП плейттектонічного типу** (рис. 1) виникли в палеопротерозої в умовах тектоніки літосферних плит, розвиток якої став можливим завдяки підвищеним на цей час потужності і жорсткості земної кори. У першому наближенні стадійність їх розвитку відповідає циклу Уїлсона. Вони зароджувалися на континентальній корі як рифтогенні структури завдяки процесам деструкції вже сформованих континентів, а надалі розвивалися як витягнуті смугоподібні міжконтинентальні океанічні басейни з атрибутами структур, характерних для

сучасних рухливих поясів (острівні дуги, заостроводужні басейни, крайові вулканічні пояси). Це зумовлює особливості їх металогенії, а саме, наявність полістадійної золоторудної мінералізації, генетичні типи якої відповідають послідовним стадіям розвитку: островодужній, заостроводужній і колізійній. Найяскравіше ці процеси проявилися на Західно-Африканському кратоні, а також на Гвіанському, Бразильському, Сан-Франциско, Канадському, Балтійському та ін.

Структура *Західно-Африканського кратону* зумовлена наявністю архейського Леоно-Ліберійського щита, оточеного палеопротерозойськими ЗКС або зонами активізації. Найбільше металогенічне значення має палеопротерозойський ебурнейський період (2,2–1,9 Ga). Він відповідає формуванню серії ЗКС і пов'язаного з ними золотого зруденіння, включає вулканічні, вулканогенно-осадові, осадові формації Бірімійської і Тарквайської серій і комагматичні їм гранітоїди. ЗКС Бірімію — складні гетерогенні структури, які складаються витягнуті в ПнПнСх напрямі трюги, вкладені до гранітно-метаморфічної підшови. Їх центральні частини представлені палеовулканічними хребтами, які оточені палеобасейнами, складеними вулканогенно-осадовими, сланцевими, флішовими, олістостромовими і чорносланцевими формаціями. Як і в архейських ЗКП, важливу роль відіграють толеїтові і коматіітові базальтоїди, приурочені до нижніх частин вулканогенного розрізу Бірімію. В металогенічному відношенні найважливішими є пояси Ашанті, Сефюї і Боле-Навронго в Гані, Сірба в Нігері, з якими пов'язана промислова золоторудна мінералізація. Вони приурочені до регіональних субмеридіональних зсувових зон, характеризуються смугоподібним розміщенням вулканічних і вулканогенно-осадових фацій, якими складені витягнуті в тому самому напрямі хребти.

Таким чином, в еволюційній послідовності розвитку ЗКП раннього докембрію виділяється три найважливіших типи, що відповідають типовим геодинамічним обстановкам: плюмтектонічний, пермобільний і плейттектонічний. Формування перших, обумовлене процесами плюмтектоніки, відбувалося в палео-мезоархеї в умовах переважних вертикальних тектонічних рухів на протокорі базитового складу. Вони характеризуються петельчастою, амебоподібною, брахіально-ізометричною формою, переважанням базальтових, часто коматіітових вулканічних асоціацій, підлеглим значенням осадових утворень. Пермобільні пояси неархею розвивалися на корі перехідного типу на границях протоконтинентів в умовах початкової стадії прояву тектоніки плит. На відміну від плюмтектонічних поясів палео-мезоархею вони характеризуються видовженою формою, значною роллю осадових порід, широким розвитком бімодальних вулканічних асоціацій. Плейттектонічні пояси палеопротерозою закладалися як рифтогенні структури на континентальній корі і далі розвивалися відповідно стадіям циклу Уїлсона в умовах переважних горизонтальних рухів. Вони мають лінійну форму, чітко підпорядковані системі регіональних розломів (переважно зсувів), відрізняються незначною роллю коматіітового вулканізму, широким розвитком вапняно-лужних серій. Особливості ЗКП визначаються геодинамічними обстановками розвитку земної кори раннього докембрію.

1. Соколовский А. К., Федчук В. Я., Корсаков А. К. Геодинамические обстановки формирования зеленокаменных поясов. – Москва: МГГРУ, 2003. – 186 с.
2. Федчук В. Я., Корсаков А. К., Соколовский А. К., Михайлов В. А. Металлогенические особенности генетических типов зеленокаменных поясов. – Москва: МГРРУ, 2003. – 153 с.
3. Михайлов В. А. Металогения золота раннего докембрію: Навчальний посібник. – Київ: ВПЦ “Київ. ун-т”, 2005. – 158 с.
4. Конди К. Архейские зеленокаменные пояса. – Москва: Мир, 1983. – 390 с.

5. Успенский Е. П. Тектоническая природа зеленокаменных поясов раннего докембрия // Изв. ВУЗов. Геология и разведка. – 2000. – № 4. – С. 3–13.
6. Воеводин В. Н. Эволюционный ряд золоторудных формаций в докембрийских зеленокаменных структурах Украинского щита // Доп. НАН України. – 1999. – № 6. – С. 125–129.
7. Михайлов В. А. Металлогения золота докембрийских зеленокаменных структур. – Київ: ВПЦ “Київ. нац. ун-т”, 2002. – 319 с.
8. Foster R. P., Piper D. P. Archaean lode gold deposits in Africa: Crustal setting, metallogeneses and cratonization // Ore Geol. Rev. – 1993. – P. 303–347.
9. Шемякин В. М., Глебовицкий В. А. Архейские зеленокаменные пояса Южной Африки и Австралии (геология и геохронология). – Москва, 1996. – 41 с.
10. Huston D. L., Sun S. S., Blewett R. et al. The timing of mineralization in the Archaean North Pilbara Terrain, Western Australia // Econ. Geol. – 2002. – 97, No 4. – P. 733–755.
11. Бобров О. Б., Сиворонов А. О., Малюк Б. І., Лисенко О. М. Тектонічна будова зеленокам'яних структур Українського щита // Зб. наук. праць УкрДГРІ. – 2002. – № 1./2. – С. 46–67.
12. Галецкий Л. С., Доброхотов С. М. Эволюция зеленокаменных поясов на Среднем Приднепровье (Украинский щит) // Доп. НАН України. – 2000. – № 3. – С. 125–128.
13. Geological classification of Canadian Gold deposits // Geol. Surv. Can. Bull. – 2000. – 106 p.
14. Nelson D. R. Evolution of the Archaean granite-greenstone terranes of the Eastern Goldfields, Western Australia: SHRIMP U – Pb zircon constrains // Precam. Res. – 1997. – 83. – P. 57–81.
15. Nelson D. R. Granite-greenstone crust formation on the Archaean Earth a consequence of two superimposed processes // Earth and Planet. Sci. Lett. – 1998. – 158. – P. 109–119.

Київський національний університет  
ім. Тараса Шевченка

Надійшло до редакції 07.07.2006

УДК 550.42:553.411

© 2007

Ю. А. Фомин, Ю. Н. Демихов

## Изотопы углерода и кислорода в карбонатах амфиболовых метасоматитов Сергеевского месторождения золота (Украинский щит)

(Представлено академиком НАН Украины Е. А. Кулишом)

*The C, O isotope composition of carbonates in the gold-bearing amphibol metasomatites have been investigated:  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{18}\text{O}$  (‰) correspondingly for calcite 0...–1.9 and +12.2...+9.0; for dolomite –0.6...+3.3 and +16.4...+9.1. The trends of these characteristics changing in the different metasomatic zones in the temperature range 240–130 °C and the genetic peculiarities of the Ca–Fe–Mg contact-metasomatic system are considered.*

В настоящем сообщении представлено систематическое изучение распределения изотопов углерода и кислорода в карбонатах железисто-магнезиально-кальциевых контактово-метасоматических образований архейского возраста, содержащих золото-серебро-висмут-теллуровую минерализацию. Проведенное исследование охватывает несколько продуктивных зон кварц-карбонат-амфиболовых метасоматитов Сергеевского месторождения (Сурская зеленокаменная структура), расположенных в основном в рамках одного представительного разреза [1, 2].