

<https://doi.org/10.15407/geotech2020.31.112>

УДК 550.42

Фомин Ю.А., Демихов Ю.Н., Верховцев В.Г., Борисова Н.Н., Чупринова С.Ф.

Фомин Ю.А., канд. геол.-мин. н., вед. науч. сотр. ГУ «Институт геохимии окружающей среды НАН Украины», <https://orcid.org/0000-0002-3043-8359>, yaf1941@gmail.com

Демихов Ю.Н., канд. геол.-мин. н., зав. лаб. ГУ «Институт геохимии окружающей среды НАН Украины», <https://orcid.org/0000-0002-3576-6570>, y_demikhov@ukr.net

Верховцев В.Г., докт. геол. н., зав. отдела ГУ «Институт геохимии окружающей среды НАН Украины», <https://orcid.org/0000-0002-1015-6725>, Verkhovtsev@ukr.net

Борисова Н.Н., вед. инж. ГУ «Институт геохимии окружающей среды НАН Украины», <https://orcid.org/0000-0002-7169-1430>, IGNS_Borysova@nas.gov.ua

Чупринова С.Ф., вед. инж. ГУ «Институт геохимии окружающей среды НАН Украины», <https://orcid.org/0000-0002-1466-9333>, IGNS_Chuprynova@nas.gov.ua

КАРБОНАТЫ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ РАННЕГО ДОКЕМБРИЯ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ УКРАИНСКОГО ШИТА

В статье приведены результаты изучения изотопного состава кислорода и углерода карбонатов в рудных месторождениях раннего докембрия Украинского щита. Изучены следующие объекты: 1. Железорудные образования Криворожской сверхглубокой скважины, где карбонаты выделены из всех подразделений криворожской серии палеопротерозоя, а также из архейских пород днепротетровского комплекса. 2. Урановые руды и вмещающие их породы Севериновского месторождения ураново-альбититовой формации палеопротерозойского возраста. 3. Золоторудные месторождения архейских зеленокаменных структур Приднепровья, в том числе: Сергеевское (Au-колчеданные и Au-Bi-Te руды) и Балка Широкая (Au-железистые и Au-Ag-Pb-Zn руды). Генетически карбонаты сравниваемых участков обнаруживают признаки первично осадочных карбонатных образований, испытавших влияние гидротермально-метасоматических процессов. Температурные условия их образования свидетельствуют о смене режима карбонатообразования от прогрессивного в диапазоне температур 70-150°C (диафорез) – 220-300°C (метасоматоз) на регрессивный: до 180-80°C (поздние жилки). Протерозойским карбонатам по сравнению с архейскими присущи существенно утяжеленный кислород и облегченный углерод. Скарноидный механизм формирования рудного ореола в условиях высокомагнезиальной среды объясняет последовательность и метасоматический характер карбонатизации. Среда и условия минералообразования благоприятны для роста крупных метакристаллов доломита, кальцита, актинолита и тремолита; что подтверждается исследованием флюидных включений. Наличие во включениях в кальците рудных минералов указывает на рудообразующий характер изученного флюида. Среди гранитоидов днепротетровского комплекса отмечаются участки аналогичные графит-карбонатным породам гданцевской свиты, в том числе и по изотопному составу, которые характеризуются интенсивными тектоническими нарушениями. В таких зонах разуплотнения наблюдается существенное падение температуры. Все это даёт основание предположить наличие в этом районе Кривбасса системы крупных сбросов (тектонических клиньев) с погружением фрагментов, сложенных породами криворожской серии, в более древние гранитоиды.

Ключевые слова: архей, палеопротерозой, месторождения урана и золота, карбонаты, изотопный состав, Украинский щит, архейские зеленокаменные структуры.

Введение. Широкое распространение карбонатов в докембрии Украинского щита, а именно присутствие их в различных формах и разном количестве практически во всех геологических подразделениях [1], в том числе в рудных месторождениях, а также сочетание геологических методов изучения объектов с изотопными определениями значительно расширяет возможности генетических построений. При этом определение генезиса древних карбонатов, как правило, встречается трудности, преодолимые с использованием изотопно-геохимических методов.

Целью исследования было получение генетических и изотопно-геохимических характеристик до-

кембрийских карбонатов. В статье приведены результаты многолетнего систематического изучения изотопного состава кислорода и углерода карбонатов в рудных месторождениях раннего докембрия Украинского щита на примере трёх объектов. Во-первых, это железорудные образования, вскрытые Криворожской сверхглубокой скважиной, где карбонаты выделены из всех подразделений палеопротерозоя криворожской серии, а также из архейских пород днепротетровского комплекса, слагающих гранитоидный фундамент в этом регионе (рис. 1). Всего в количестве 63 образцов в общем интервале от 160 до 3480 м. Во-вторых, это 81 образец карбонатов из золоторудных

месторождений архейских зеленокаменных структур Приднепровья, в том числе Сергеевского (Ау-колчеданные и Ау-Ві-Те руды) и Балки Широкой (Ау-железистые и Ау-Аg-Рb-Zn руды) (см. приложение) (рис. 2). В-третьих, это 65 образцов палеопротерозойских карбонатов из урановых руд и вмещающих их пород Севериновского месторождения ураново-альбититовой формации также палеопротерозойского возраста Ингульского мегаблока (рис. 3).

1. Карбонаты криворожской серии. Карбонаты Криворожской скважины определены как доломит – железистый доломит, кальцит и анкерит. В геологическом отношении они относятся к следующим типам:

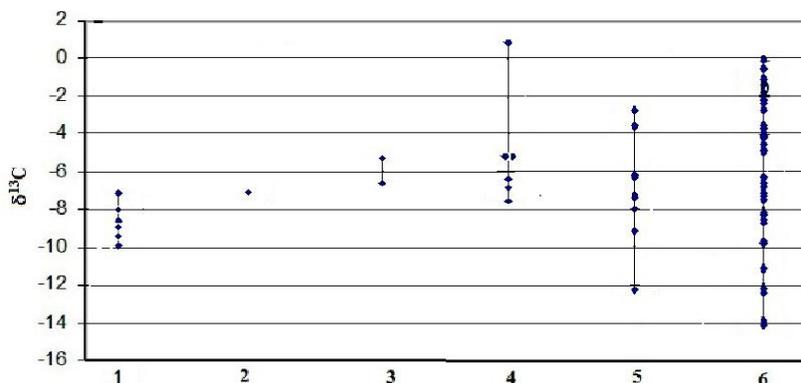


Рис. 1. Изотопный состав углерода карбонатов Криворожской сверхглубокой скважины (по свитам). Архей: 1 – днепропетровский комплекс; палеопротерозой: 2 – новокриворожская свита; 3 – скелетатская свита; 4 – саксаганская свита; 5 – гданцевская свита; 6 – глееватская свита.

Fig. 1 The carbon isotopic composition of carbonates of the Kryvyi Rih superdeep well (according to suites). Archean: 1 - Dnipropetrovsk complex; Paleoproterozoic: 2 - Novokryvorizka suite; 3 - skeleton retinue; 4 - Saksaganska suite; 5 - Gdantsev retinue; 6 - Gleevat suite.

В ряду галька (прослой) – деформированная галька с переотложением вещества – жильно-метасоматические зоны происходит существенное облегчение кислорода; углерод от первых ко вторым испытал утяжеление, затем заметное облегчение. Эта тенденция является естественной для гидротермально-метасоматических карбонатов. Общее обогащение изотопом ¹²C карбоната гальки по сравнению с осадочными карбонатами гданцевской свиты, за счет которых эта галька образовалась, свидетельствует о диагенезе осадков в условиях аэрации [5]. Температура их образования, определенная Н.М. Гостяевой методом гомогенизации газовой-жидких включений [4], составляет 260-220°C в местах залечивания трещин жильным кальцитом она еще ниже – 180-80°C. По данным Н.С. Курлова и др. [2], температура карбонатизации здесь варьирует в пределах 120-280°C.

Следует обратить внимание на наличие среди гранитоидов днепропетровского комплекса участков, сложенных существенно биотитовыми микрогнейсами, обогащенными карбонатами (кальцитом) и графитом. Нужно отметить два обстоятельства. Во-первых, полная аналогия таких участков графит-карбонатным породам гданцевской свиты, в том числе и по изотопному составу. Во-вторых, весьма интенсивная тектоническая нарушенность этих участков, которые документально

отнесены к зонам дробления. Такие зоны разуплотнения проявляются интенсивной эпигенетической карбонатизацией и существенным падением температуры. Все это даёт основание предположить наличие в этом районе Кривбасса системы крупных сбросов (тектонических клиньев) с погружением фрагментов, сложенных породами криворожской серии в более древние гранитоиды. Новокриворожскую свиту, согласно данным Д.Н. Щербака, мы относим к палеопротерозою.

Изотопные вариации кислорода и углерода в карбонатах при всем их геологическом и изотопном разнообразии подчиняются отчетливой общей тенденции постепенного облегчения обоих элементов от поздних подразделений к ранним с одновременной гомогенизацией их изотопного состава (рис. 1, приложение) [4].

отнесены к зонам дробления. Такие зоны разуплотнения проявляются интенсивной эпигенетической карбонатизацией и существенным падением температуры. Все это даёт основание предположить наличие в этом районе Кривбасса системы крупных сбросов (тектонических клиньев) с погружением фрагментов, сложенных породами криворожской серии в более древние гранитоиды. Новокриворожскую свиту, согласно данным Д.Н. Щербака, мы относим к палеопротерозою.

2. Карбонаты золоторудных месторождений архейских зеленокаменных структур Приднепровья.

Эти карбонаты генетически представлены весьма разнообразно. Наиболее близки к исходным карбонатам первично осадочные карбонатсодержащие отложения хемогенного и туфогенно-терригенного рядов, вмещающие стратиформное колчеданное оруденение. Более поздние карбонаты связаны с золоторудными гидротермально-метасоматическими процессами, которые широко проявлены ореолами околорудных изменений (скарноидного (кварц-карбонат-амфиболового) либо сольфатарно-фумарольного (формаций пропилитов-вторичных кварцитов и листовитов-березитов) типа. По составу карбонаты соответствуют сидероплезиту, доломиту, реже анкериту и

кальциту, при этом большинство карбонатов имеют переменный состав катионной части (таблица 1).

В пределах золотоносных зеленокаменных структур наиболее развиты именно скарноиды (тремолит-актинолитовые метасоматиты) [6]. Эти образования отличаются отчетливо зональным строением ореолов с выделением трех зон, а именно: внешней – хлоритовой с пиритом, промежуточной – амфиболовой с хлоритом, карбонатами, серицитом, тальком и внутренней – существенно кварц-карбонатной. Соотноше-

ние изотопов углерода и кислорода в кальцитах таких метасоматитов Сергеевского месторождения подчиняется зональности: в направлении от внешней зоны к промежуточной и далее к центральному ядру наблюдается увеличение значений $\delta^{13}\text{C}$ и снижение значений $\delta^{18}\text{O}$ (Приложение). Доломит по сравнению с кальцитом почти всегда обогащен тяжелым изотопом углерода при относительно широком диапазоне значений $\delta^{18}\text{O}$ (рис. 2 а).

Таблица 1. Состав карбонатов золоторудных проявлений Сергеевского месторождения.

Table 1. Composition of carbonates of gold ore occurrences at the Sergiivske deposit.

№	Минерал	Количество образцов	Ca	Mg	Fe	Mn
			Формульные коэффициенты			
Стратиформные метасоматиты с колчеданным оруденением. Фланги месторождения.						
1	Fe доломит	6	0.41-0.59	0.20-0.34	0.13-0.24	0.01-0.03
Апобазиты с проявлением пропилитизации. Зона 0.						
2	Кальцит	2	0.97	0.01	0.01	0.01
Апобазитовые сланцы вблизи зоны амфиболовых метасоматитов. Зона 0.						
3	Кальцит	2	0.97-0.98	0.01	0.01	0-0.01
Хлоритолиты внешних частей зоны амфиболовых метасоматитов. Зона 1.						
4	Кальцит	3	0.97-0.98	0.01	0.01	0-0.01
5	Кальцит	2	0.99-1.00	0	0	0
6	Fe доломит	2	0.50	0.38-0.39	0.10-0.11	0.01
7	Mg кальцит	1	0.93	0.06	0.01	0
8	Кальцит	1	0.98	0.01	0.01	0
9	Fe доломит	1	0.52	0.44	0.04	0
Зона собственно кварц-карбонат-амфиболовых метасоматитов. Зона 2.						
10	Кальцит	12	0.96-0.99	0-0.02	0-0.02	0-0.01
11	Fe доломит	1	0.50	0.40	0.09	0.01
Кварц-карбонатное ядро (внутренняя зона амфиболовых метасоматитов). Зона 3.						
12	Кальцит	10	0.95-0.98	0.01-0.02	0.01-0.02	0-0.02
13	Fe кальцит-анкерит	1	0.86	0.04	0.09	0.01
Апобазитовые березиты рудопроявления Балка Золотая.						
14	Fe доломит-Mg анкерит	1	0.44	0.28	0.27	0.01

Состав карбонатных фаз определен с помощью микроанализаторов MAP-1 (ИГМР НАН Украины) и ICXA-733 (ЦТО НАН Украины). Зональность: Зона 0 – исходные породы (эдукт). Зона 1 – хлоритолиты. Зона 2 – собственно амфиболовые метасоматиты. Зона 3 – кварц-карбонатное ядро.

Последовательность и метасоматический характер карбонатизации в ореоле становятся более понятными, если принять за основу контактово-реакционный или контактово-метасоматический скарноидный механизм формирования ореола в условиях высокомагнетизальной (железо и кальций) среды. Эту среду можно назвать питательной для роста крупных метакристаллов не только доломита и кальцита практически без примесей, но и актинолита, тремолита. Такой механизм подтверждается исследованием флюидных включений. Включения в кальците и амфиболе очень похожи между собой по размерам (7-25 мкм), фазо-

вому составу (газово-жидкие с количеством газовой фазы 10-25 %) и температуре гомогенизации. Те и другие гомогенизируются в жидкую фазу, в диапазонах температур 240-160°C для кальцита и 230-180°C для тремолита. Весьма интересно отметить наличие во включениях в кальците твердой фазы – рудных минералов, что подтверждает тот факт, что законсервированный в вакуоли флюид является рудообразующим.

Архейским кальцитам по сравнению с доломитом присущ существенно утяжеленный кислород и облегченный углерод.

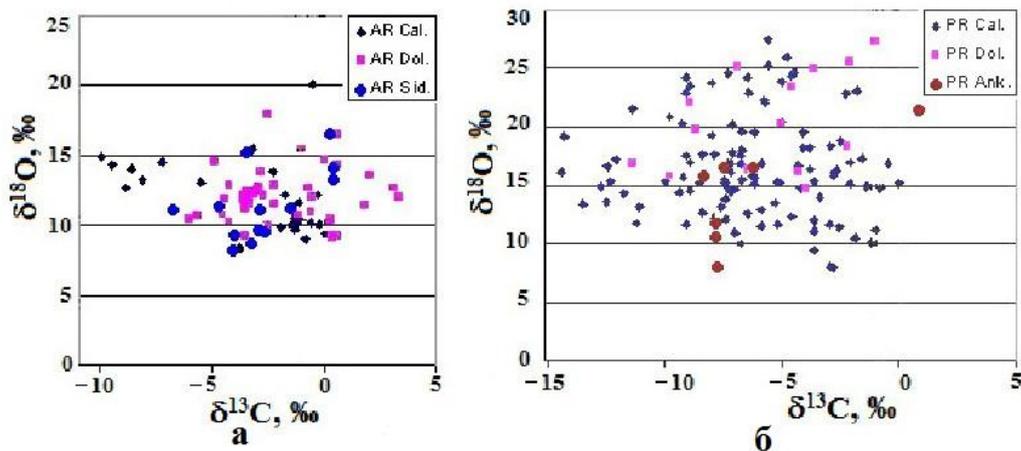


Рис. 2. Изотопный состав кислорода и углерода карбонатов: **а** – архея; **б** – палеопротерозоя, включая карбонаты Криворожской сверхглубокой скважины и Севериновского месторождения урана.

Fig. 2. The isotopic composition of oxygen and carbon carbonates: **a** - Archean; **b** - Paleoproterozoic, including carbonates of the Kryvorizky superdeep well and Severynivsky uranium deposit

3. Карбонаты Севериновского месторождения урана, палеопротерозой. Все выделенные типы карбонатов Севериновского месторождения (кальцит, железистый кальцит, анкерит); генетически относятся к гидротермально-метасоматическим образованиям [7] (таблица 2). Диапазон изотопного состава углерода кальцитов зон альбитизации шире значений для кальцитов предрудных зон, что может указывать на принос углерода в процессе альбитизации (рис. 3). Среди карбонатов Севериновского месторождения доломит не обнаружен, все доломиты протерозоя представлены на рис. 3 относятся к Криворожской сверхглубокой скважине.

Вместе с тем, некоторые из приведенных значений изотопно-кислородных соотношений карбонатных составляющих, характерных для диафоритовой предрудной «подкладки» ($\delta^{18}\text{O}_{\text{smov}} = 14,0 \dots 25,0 \text{ ‰}$), соответствуют значениям для докембрийских морских карбонатов ($\delta^{18}\text{O}_{\text{smov}} = 6,0 \dots 26,0 \text{ ‰}$ [8]), поэтому их можно отнести к исходным. Доказательством первично осадочного генезиса изученных нами карбонатов, в том числе архейских, является близость их $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$ к диапазону известных значений архейских и протерозойских морских карбонатов [8].

Карбонатная «подкладка» тектоно-метасоматических зон заложилась одновременно со структурной основой в период смены пластических

деформаций хрупкими с последующим диафорезом метаморфической толщи при температуре 70-150°C. Дальнейшая эволюция карбонатообразования протекала в температурном диапазоне до 252-301°C в ходе эпитепимального процесса как по типу непрерывного гидротермально-метасоматического рециклирования ранее отложенного вещества (в основном первично-осадочного карбонатного материала), так и в ходе поступления в зону глубинного, прошедшего гомогенизацию, материала.

Протерозойским карбонатам по сравнению с архейскими присущ более широкий диапазон значений изотопного состава кислорода, при облегченном изотопном составе углерода (рис. 2 а, б).

Рассчитанный изотопный состав кислорода воды рудообразующего флюида зависит от степени его равновесия с вмещающими породами [9]. Изотопно-тяжелая вода является показателем длительного взаимодействия воды с породой в системе, т.е. консервации воды в вакуолях. И наоборот, облегченная, типично метеорная вода характерна для карбонатов жильных зон, «залечивших» древние каналы фильтрации флюидов. На этой основе возможен принципиально новый подход к изучению динамики флюида в рудообразующих системах конкретных месторождений.

Таблица 2. Типы карбонатов Севериновского месторождения урана.
Table 2. Types of carbonates of the Severynivsky uranium deposit.

Карбонат	Тип карбоната	$\delta^{13}\text{C}$, ‰	$\delta^{18}\text{O}$, ‰	T°C	$\delta^{18}\text{O}$ воды
Кальциты предрудные					
Кальцит-1	Прожилково-вкрапленный в диафторитах	-11.4...-2.5	18.8...27.5	70-150	-1.0..6.3
Кальцит-2	Жильные зоны в диафторитах, милонитовых швах	-7.6...-7.0	11.0...14.7	120	-4.0..-0.3
Кальциты зоны альбитизации					
Кальцит-3	Прожилки, гнезда в альбитизированных диафторитах	-9.3...-2.9	17.8...26.0	237	8.8..9.3
Кальцит-4	Прожилково-гнездовый, жильный в альбититах	-13.5...-0.8	13.2...15.7		
Анкерит кальцит-5	Гнездовый продуктивной ассоциации	-7.9...-6.5	8.1...12.6	252-301	0.8..2.5
Кальцит-6	Жильный, пострудный в альбититах по диафторитам	-6.5...-1.6	16.9...24.2	112	1.0..2.0
Кальцит-7	Прожилково-гнездовый в альбититах с диафторезом	-5.2...-1.0	9.5...12.4	124-165	-3.0..0.1
Кальцит-8	Жильные зоны в альбититах без диафтореза.	-2.9...-1.2	8.0...10.0	210	-1.0..1.0
Кальциты поздних жильных зон					
Кальцит-9	Жильные зоны в дайковых базитах постальбититовых	-7.9...-2.8	16.0...20.2	103-127	-1.0..2.5
Кальцит-10	Жильные зоны в дайковых базитах постальбититовых	-9.1...-5.2	11.5...12.9	144	-1.6..-0.9

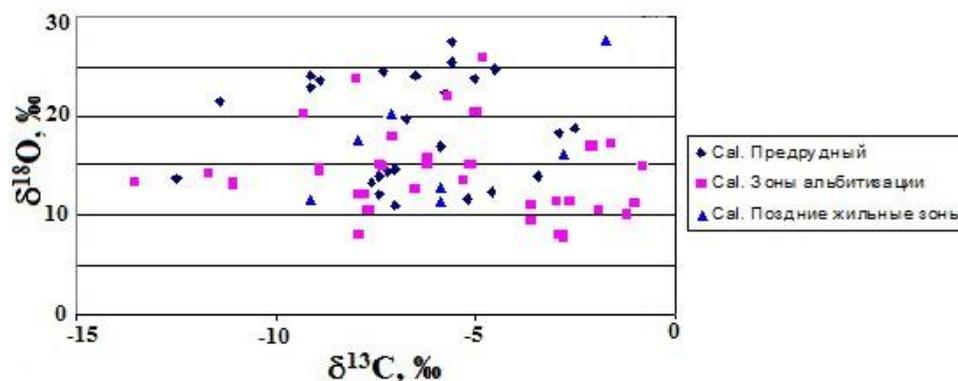


Рис. 3. Изотопный состав кислорода и углерода кальцита Севериновского месторождения урана (палеопротерозой).

Fig. 3. The isotopic composition of oxygen and carbon of calcite of the Severynivsky uranium deposit (Paleoproterozoic)

Выводы.

1. Генетически карбонаты всех изученных участков докембрия Украинского щита обнаруживают признаки первично осадочных (исходных) карбонатных образований, которые в той или иной степени испытали влияние гидротермально-метасоматических процессов.

2. Температурные условия образования изученных карбонатов, определенные на основе гомогенизации флюидных включений, свидетельствуют о смене режима карбонатообразования от прогрессивного в диапазоне температур: 70-150°C (диафторез) – 220-300°C (метасоматоз) на регрессивный: до 180-80°C (поздние жилки).

3. Протерозойским карбонатам по сравнению с подавляющим большинством архейских присущ существенно утяжеленный изотопный состав кислорода и облегченный – углерода.

4. В архее кальциту по сравнению с доломитом присущи существенно утяжеленный кислород и облегченный углерод.

5. Диапазон изотопного состава углерода кальцита зон альбитизации Севериновского месторождения шире значений для кальцита предрудных зон, что может указывать на принос углерода в процессе альбитизации.

Литература.

1. Карбонатные породы Украинского щита. Отв. редактор Щербаков И.Б. Наукова думка. Киев. 1975.150 с.
2. Курлов Н.С., Белевцев Р.Я.. Рудно-метасоматическая зональность по разрезу Криворожской сверхглубокой скважины (СГ- 8). *Геохімія та екологія. Збірник наукових праць ІГНС НАН України*. Київ, 2002. Вип. 5/6. с. 133-144.
3. Курлов Н.С., Белевцев Р.Я., Решетняк В.В., Мечников Ю.П. Криворожская сверхглубокая скважина: значение для петрогенезиса и геоэкологии. *Минералогический журнал*. Киев, 1997. т. 19. № 5. с. 85-100.
4. Фомин Ю.А., Демихов Ю.Н., Верховцев В.Г., Борисова Н.Н. Изотопно-геохимическая зональность по материалам изучения Криворожской сверхглубокой скважины. *Геол. журнал*. 2019. № 3 с. 34-43.
5. Галимов Э.М. Геохимия стабильных изотопов углерода. Москва: Недра, 1968. 226 с.
6. Фомин Ю.А., Демихов Ю.Н. Изотопы углерода и кислорода в карбонатах амфиболовых метасоматитов Сергеевского месторождения золота. *Доп. НАН України*. 2007. № 1. С. 136-142.
7. Фомин Ю.А., Демихов Ю.Н., Природа карбонатов Северинского месторождения урана (Украинский щит). *Геохімія та екологія. Збірник наукових праць ІГНС НАН України*. Київ, 2002. Вип. 5/6. с. 124-132.
8. Shields, G.A. and Veizer, J., *Geochemistry, Geophysics, Geosystems (an electronic journal of the earth sciences)*. 2002, Vol.3, №6, P. 1-12, (10.1029/2001GC000266).

9. Перспективи розвитку уранової сировинної бази ядерної енергетики України. Лисиченка Г.В., Верховцева В.Г. Київ: Наукова думка. 2014. 355 с.

References

1. Shcherbakov I.B. (1975), *Naukova Dumka*. Kiev. P. 150.
2. Kurlov N.S., Belevtsev R.Ya., Mechnikov Yu.P. (2002). *Zbirnik naukovih prac IGNS NAN Ukraini*. Kyiv. Vip. 5/6. pp. 133-144.
3. Kurlov N.S., Belevtsev R.Ya., 1997. *Mineralogicheskij zhurnal*. Kyiv, 19. № 5. pp. 85-100.
4. Fomin Yu.A., Demihov Yu.N., Verhovtsev V.G., Borisova N.N. (2019). *Geol. zhurnal*. № 3 pp. 34-43.
5. Galimov E.M. (1968). *Geokhimiya stabilnyih izotopov ugleroda*. Moskva: Nedra. P. 226.
6. Fomin Yu.A., Demihov Yu.N. (2007). *Dop. NAN Ukraini*. № 1. pp. 136-142.
7. Fomin Yu.A., Demihov Yu.N., Lazarenko E.E., Terechenko S.I. (2002). *Geokhimiya ta ekologiya. Zbirnik naukovih prac IGNS NAN Ukraini*. Kyiv, Vip. 5/6. pp. 124-132.
8. Shields, G.A. and Veizer, J. (2002). *Geochemistry, Geophysics, Geosystems (an electronic journal of the earth sciences)*, Vol.3, № 6, pp. 1-12, (10.1029/2001GC000266).
9. Lisichenka G.V., Verhovtseva V.G. (2014). *Kyiv: Naukova dumka*, P. 355.

Приложение. Изотопный состав углерода и кислорода карбонатов рудных месторождений. Архей – палеопротерозой. Центральная часть Украинского щита.

1.

Криворожская сверхглубокая скважина (архей – палеопротерозой)				
Глееватская свита. Палеопротерозой. 165–1509 м				
Глубина, м	Вмещающая порода	Минерал, морфология	$\delta^{13}\text{C}$, ‰	$\delta^{18}\text{O}$, ‰
169	Метапесчаник	Карбонат жильный	-8,4	17,7
169	То же	Карбонат, прожилок	-6,8	16,8
198	Метаконгломерат	Кальцит, галька	-8,4	12,7
286	То же	Кальцит, галька	-4,6	24,4
294	То же	Кальцит жильный	-1,8	23,1
306,5	То же	Карбонат, галька	-9,8	20,9
318	То же	Доломит, линза. Метасоматоз	-6,9	25,1
322	То же	Кальцит жильный	-7,6	13,1
332	То же	Fe доломит, галька. Деформация	-2,2	18,3
342,5	То же	Кальцит, галька. Деформация	-4,1	18,2
349	То же	Кальцит жильный	-0,5	16,8
358,9	То же	Кальцит, галька. Деформация	-3,8	16,4
382	То же	Кальцит, галька. Деформация	-3,8	18,2
441	То же	Кальцит, линза. Метасоматоз	-3,6	12,0
448	То же	Кальцит жильный	-2,1	15,1
450	То же	Доломит, линза	-4,3	16,1
461	То же	Кальцит жильный	-1,4	14,9
469	То же	Кальцит жильный. Метасоматоз	-4,3	16,7
512	То же	Fe доломит, галька. Метасоматоз	-1,0	27,3
512,4	То же	Fe доломит, галька	-3,6	25,0
547	То же	Доломит, галька	-4,6	23,4
582	То же	Fe доломит, галька	-8,9	22,1
595,9	То же	Карбонат, галька	-6,4	23,0
636	То же	Карбонат, галька. Деформация	-4,1	19,5
652,2	То же	Fe доломит, (галька, линза)	-2,1	25,6
652,4	То же	Fe доломит. Метасоматоз	-4,0	14,8
677	То же	Карбонат, галька. Деформация	-2,3	22,9
744,5	То же	Анкерит жильный	-6,3	16,4
805,6	То же	Доломит переотложенный, линзы	-5,0	20,3

855	То же	То же, кальцит	-6,8	10,0
885	То же	Кальцит, галька. Деформация	-2,7	16,3
928 (1)	Метапесчаник	Гнездово-жильный кальцит	-12,4	16,6
928 (2)	То же	Кальцит в зоне дробления	-8,9	17,0
928 (3)	То же	Кальцит в зоне дробления	-14,4	16,2
980	То же	Анкерит-сидерит жильный, смятие	-7,4	16,7
1006	То же	Fe доломит жильный	-11,4	16,9
1012	То же	Fe карбонат жильный	-9,8	15,8
1080	То же	Анкерит жильный	-8,3	15,8
1115	Метаконгломерат	Кальцит жильный	-4,2	14,8
1123	То же	Кальцит жильный	0	15,2
1153	То же	Доломит жильный	-8,7	19,7
1156	То же	Кальцит жильный	-10,0	15,3
1210	Метапесчаник	Кальцит прожилок	-12,7	14,9
1213	Метапесчаник	Кальцит цемент брекчий	-14,3	19,2
1424,7	То же	Кальцит жильный	-7,2	16,8
Гданцевская свита. Палеопротерозой. 1499–1823 м				
1499,3	Сланец с графитом	Кальцит жильный	-8,0	19,3
1708	Сланец Вt-Gr	Анкерит жильный	-9,1	17,5
1767	Сланец хлоритовый	Кальцит жильный с графитом	-12,3	15,3
1800-1810	Сланец с графитом	Графит-кальцитовый щебень	-7,3	16,8
1814	Сланец с графитом	Кальцит с графитом	-6,2	19,5
1815	Сланец с графитом	Кальцит с примесью графита	-6,3	15,8
1819,9	Сланец с графитом	Кальцит с примесью графита	-2,8	15,8
1820	Сланец с графитом	Кальцит с примесью графита	-3,6	15,4
Саксаганская свита. Палеопротерозой. 1823–2015 м				
1823	Джеспилит	Кальцит, цемент брекчий	-7,5	15,5
1823	Джеспилит	Fe карбонат, сидерит	0,8	21,6
1871,2	Сланец хлоритовый	Кальцит жильный	-6,8	17,5
2010	Доломит, прослой	Fe доломит	-6,4	16,3
2010 – 7	Сланец кремнистый	Карбонат слоистый	-5,2	15,2
2012	Гранатовый сланец	Карбонатный прослой	-5,2	15,3
Скелеватская свита. Палеопротерозой. 2070–2151 м				
2080	Кварцито-сланцы	Прожилки кальцита	-6,7	18,0
2112,6	То же	Жилки кальцита	-6,7	15,5
2112	То же	Кальцит жильный	-5,2	15,2
Новокриворожская свита. Палеопротерозой. 2151–2273 м (Изотопный возраст составляет 1966-2183 млн. лет. Д.Н. Шербак)				
2219,7	Метабазиты	Прожилок кальцита	-7,2	16,2
Латовская свита. палеопротерозой. 2273–2364 м (карбонаты отсутствуют)				
Днепропетровский комплекс. Архей. 2364–3260 м				
2424,7	Граниты, диафторез	Жильный кальцит	-7,2	14,5
2720	То же	Жильный кальцит	-8,6	14,0
2887	То же	Карбонат железистый, жилка	-9,9	14,9
Тектонические клинья, возможно, гданцевская свита, палеопротерозой. 2900–3000 м				
2908,4	Тектонический	Карбонатная порода с графитом	-9,4	14,4
2938,5	Клин	То же	-12,1	17,2
2938,5	То же	То же	-9,2	15,7
2955,8	То же	То же	-8,5	15,2
2958	То же	То же	-11,2	11,8
Днепропетровский комплекс. Гранитоиды, участок амфиболитов. Архей.				
3038,8	Гранит, диафторез	Кальцит жильный с гематитом	-8,1	13,3
3253,5	Гранитоиды	Карбонат жильный, граниты	-9,4	14,3
3480,9	Амфиболиты	Кальцит жильный, амфиболиты	-8,8	12,7

2.

Севериновское месторождение урана (палеопротерозой)				
Глубина, м	Порода	Минерал	$\delta^{13}\text{C}$, ‰	$\delta^{18}\text{O}$, ‰
Скв. 1275. Надрудная зона.				
152,0	Мигматит, диафторез, метасоматоз	Кальцит-6 жильный	-2,1	17,0
172,5	Мигматит, альбитизация	Кальцит-4 жильный	-5,3	13,5
195,0	Альбитит по мигматиту	Кальцит-6 жильный	-1,6	17,3
Скв. 867. Надрудная зона				
200,0	Диафторит по мигматиту	Кальцит-1 жильный	-9,1	23,0

238,0	Диафторит по мигматиту	Кальцит-1 жильный	-9,1	24,2
308,0	Мигматит диафторированный	Кальцит-1 жильный	-11,4	21,6
387,0	Альбитит по милониту	Кальцит-6 жильный	-5,0	20,4
445,0	То же, диафторез, брекчирование	Кальцит-7 цемент	-4,6	12,4
445,5	То же, диафторез, брекчирование	Кальцит-6 цемент	-5,9	16,9
493,0	То же, диафторез, брекчирование	Кальцит-6 жильный	-6,5	24,2
538,0	Альбитит по диафториту	Кальцит-7 гнездо	-3,0	11,6
Горизонт 530 м, Рудная зона				
153	Альбитизированный диафторит	Кальцит-4 гнезда	-0,8	14,8
166	Альбитизированный диафторит	Кальцит-3 жильный	-8,0	23,8
168	Мигматит диафторированный	Кальцит-2 жильный	-7,4	13,9
169	Мигматит диафторированный	Кальцит-2 жильный	-7,4	12,1
170	Диафторит по мигматиту	Кальцит-2 жильный	-7,6	13,2
171	Диафторит по мигматиту	Кальцит-2 жильный	-7,2	14,4
Горизонт 620 м, Рудная зона				
4-1	Альбитит рудный, Диафторез	Кальцит-5 гнезда	-2,6	11,4
4-2	Альбитит рудный, Диафторез	Кальцит-7 жильный	-6,5	12,6
6	Альбитит рудный, Милонит	Анкерит-5 гнезда	-7,9	8,1
13	Альбитит рудный по гнейсу	Кальцит-8 жильный	-2,8	8,0
15	Мигматит альбитизированный	Кальцит-8 жильный	-1,2	10,0
20	Пикритовый пикрит	Кальцит-9 жильный	-7,9	17,7
22	Микроклинит альбитизированный	Кальцит-3 жильный	-5,7	22,0
23	Аплит альбитизированный	Кальцит-8 жильный	-2,9	8,1
31	Альбитит рудный по граниту	Кальцит-3 гнезда	-4,8	26,0
32	Мигматит диафторированный	Кальцит-3 жильный	-2,9	18,3
39	Диафторит по мигматиту	Кальцит-1 жильный	-5,0	23,9
40-1	Диафторит по милониту	Кальцит-1 жильный	-5,8	22,3
40-2	Диафторит по милониту	Кальцит-1 жильный	-4,5	24,7
42	Альбитит рудный, Диафторез	Кальцит-5 гнезда	-7,9	12,2
45	Альбитит по милониту	Кальцит-3 гнезда	-9,3	20,3
47	Мигматит диафторированный	Кальцит-1 прожилки	-5,6	27,5
49-2	Альбитизированный диафторит	Кальцит-3 жильный	-7,1	17,8
52	Диабазовый порфирит	Кальцит-9 жильный	-7,1	20,2
61	Альбитит по диафториту	Анкерит-5 гнезда	-7,8	12,1
62	Альбитит по диафториту	Анкерит-5 гнезда	-7,7	10,5
68	Пикритовый порфирит	Кальцит-10 жильный	-5,9	11,5
69-1	Пикритовый порфирит	Кальцит-9 жильный	-2,8	16,0
69-2	Пикритовый порфирит	Кальцит-10 жильный	-5,9	12,9
72	Альбитизированный диафторит	Кальцит-4 жильный	-5,1	15,2
Горизонт 710 м, Рудная зона				
133	Альбитит рудный, Диафторез	Кальцит-7 гнезда	-1,0	11,2
145	Альбитизированный диафторит	Кальцит-4 гнезда	-8,9	14,5
Скв, 869, Подрудная зона				
1047,0	Альбитит по мигматиту диафторез	Кальцит-7 гнезда	-1,9	10,5
1255,0	Альбитит по мигматиту диафторез	Кальцит-4 гнезда	-6,2	15,7
1307,0	Альбитит по гнейсу, диафторез	Кальцит-7 гнезда	-3,6	9,5
1870,0	Альбитит по граниту, диафторез	Кальцит-4 гнезда	-	22,7
Скв, 3002, Корневая зона				
1938,0	Альбитит по мигматиту диафторез	Кальцит-7 гнезда	-3,6	11,1
2035,0	Альбитит по аплиту, катаклаз	Кальцит-4 гнезда	-7,3	14,8
2147,0	Альбитит по мигматиту диафторез	Кальцит-4 гнезда	-11,7	14,3
2162,0	То же	Кальцит-4 гнезда	-13,5	13,4
2170,0	То же	Кальцит-4 гнезда	-6,2	15,1
2371,0	Альбитит мигматита, катаклаз	Кальцит-4 гнезда	-11,1	13,2
2371,0	Альбитит мигматита, катаклаз	Кальцит-4 гнезда	-7,4	15,2
Скв, 869, Всячий бок зоны (безрудный блок пород)				
191,0	Диафторит по мигматиту	Кальцит-1 жильный	-8,9	23,5
256,0	Диафторит по мигматиту	Кальцит-1 жильный	-5,6	25,3
302,0	Диафторит по мигматиту	Кальцит-1 жильный	-6,7	19,6
339,0	Диафторит по мигматиту	Кальцит-2 жильный	-7,0	11,0
512,0	Диафторированный мигматит	Кальцит-4 жильный	-3,4	14,0
552,0	Диафторит по мигматиту	Кальцит-1 жильный	-2,5	18,8
608,0	Диафторит по мигматиту	Кальцит-7 жильный	-5,2	11,7

662,0	Диафорит по мигматиту	Кальцит-3 гнезда	-7,3	24,6
787,0	Диафорированный, гнейс	Кальцит-2 жильный	-7,0	14,7
959,0	Пикритовый порфирит	Кальцит-10 жильный	-9,1	11,6
1007,0	Диафорит по мигматиту	Кальцит-4 гнезда	-12,5	13,6

3

Месторождения золота, Зеленокаменные структуры, Архей,				
Глубина м	Порода	Минерал	$\delta^{13}\text{C}$, ‰	$\delta^{18}\text{O}$, ‰
Сергеевское месторождение, Золото-колчеданный тип руд, Скви, 0736				
177,6	Сланец кварц-альбит-хлорит	Fe доломит	-2,2	12,9
177,7	Метатиф дацитового состава	Fe доломит	-1,0	15,4
272,5	Лиственито-березит по туфу	Гнезда Fe доломита	-0,7	12,7
282,0	Кварцито-сланец с колчеданом	Fe доломит, полосы	-1,1	10,8
297,7	Карбонатная фация сланцев,	Fe доломит, полосы	-0,6	11,0
299,0	Сланцы грубополосчатые, пирит	доломит Fe –анкерит	0	14,7
Сергеевское месторождение, Золото-висмут-теллурические руды в зональных кварц-карбонат-амфиболовых метасоматитах,				
№ 6	Апобазитовые сланцы, внешняя часть зоны	Кальцит жильный	-1,3	9,7
То же	То же	Кальцит жильный	-1,1	11,6
№ 7	Хлоритолиты, внешняя часть зоны	Доломит м/з	1,8	11,4
То же	То же	То же	0,6	9,2
№ 8	То же	Доломит к/з	3,1	12,7
№ 9	Хлоритолиты, внешняя часть зоны	Кальцит полосчатый	-1,7	12,2
№ 10	То же	Кальцит к/з жильный	-1,2	10,3
196/286,2	Амфиболовые метасоматиты, промежуточная зона	Кальцит	-1,4	10,1
То же	То же	То же	-1,3	10,6
184/184-186	То же	То же	-0,2	10,1
199/238,2	То же	То же	-0,3	12,2
№ 12	Амфиболовые метасоматиты, промежуточная зона	Кальцит метасоматоз	-1,1	10,5
То же	То же	То же	-0,8	9,0
№ 13	Амфиболовые метасоматиты, промежуточная зона	Кальцит жильный	-1,9	9,9
То же	То же	То же		10,5
№ 14	Брекчия метасоматита, внутренняя зона	Кальцит в цементе	-1,2	10,3
№ 15	Карбонатная ткань, внутренняя зона	Кальцит м/з	0	9,4
№ 16	То же	Доломит кристаллы	3,3	12,0
№ 17	Амфиболовые метасоматиты	Анкерит-доломит	0,6	14,3
204/375,5	Амфиболовые метасоматиты	Доломит	0,6	16,4
203/195,2	Амфиболовые метасоматиты	То же	2,0	13,6
193/311,8	Амфиболовые метасоматиты	То же	0,4	9,2
№ 19	Амфиболовые метасоматиты	Доломит	0,3	10,4
То же	Амфиболовые метасоматиты	То же	0,3	10,5
0701/226,9	Кварц-карбонатное ядро, внутренняя зона	Кальцит	-0,6	10,2
193/310,8	То же	Доломит	-0,5	12,0
193/311,8	То же	Доломит	0,4	9,1
Месторождение Балка Широкая, Золото-железистый тип руд				
Скви, 3230				
227-228	Листвениты в хлоритовых сланцах,	Сидероплезит	-2,8	13,8
То же	То же	То же	-2,9	12,8
То же	То же	То же	-2,7	12,1
То же	То же	То же	-3,4	12,4
То же	То же	То же	-3,3	11,5
То же	То же	То же	-3,6	12,1
То же	То же	То же	-3,3	12,1
Скви, 3261				
116,5	ВIF Кв-карб с пиритом жила	Сидероплезит мета,	-3,5	9,2
267,5-267,7	ВIF Брекчии кварцитов	То же, цемент брекчий	-5,6	10,7
268,0	ВIF Кварц-карбонатная жила	Сидерит	-4,7	11,4
273,8-274,0	ВIF, березитизация	Сидероплезит жила	-2,5	18,0
278,5-278,6	Кварцито-сланцы	Сидероплезит жила	-3,5	11,2

Скв. 4128				
136,6	Железистый сланец, березит	Железистый карбонат	0,4	14,2
136,9	Брекчий сланца, березит	То же, цемента, м/з	0,3	16,8
То же	То же	То же, к/з	0,4	13,5
138,6	Хлорит-карбонатный сланец	То же, карбонат к/з	-2,7	9,9
139,8	Хлорит-карбонатный сланец	Доломит-сидероплезит	-2,5	10,0
146,2	Железисто-кремнистый сл.	Карбонат в полосах	-1,5	11,2
179,5	Хлорит-карбонатный сланец	Перекристаллизация	-2,3	13,8
198,0	Хлорит-карбонатный сланец	То же, сульфиды	-3,8	8,5
207,0	Карбонатная порода, прослой	Перекристаллизация	-5,5	13,1
217,0	Хлорит-серицитовый сланец	Карбонат	-3,1	12,5
То же	То же	Исходный карбонат	-0,5	20,1
240,4	Кварц-карбонатный сланец	Бурый сидероплезит	0	14,6
То же	с магнетитом	Карбонатная масса	-4,9	14,5
336,2	Слюдистый сланец с тальком	Сидероплезит т/з,	-3,4	11,9
То же	То же (ультрабазит)	То же белый, к/з	-3,0	12,5
428,5	Дацитовый порфир,	Fe карбонат жильный	-6,8	11,3
451,1-451,3	Метабазит, пропилизация	Fe карбонат жильный	-3,3	8,9
465,4	Метабазит, пропилизация	Fe карбонат жильный	-2,8	9,8
540,0	Метабазит, жила дацита	Fe карбонат жильный	-2,9	11,2
570,6	Брекчия ВІF	То же, по трещинам	-4,0	8,5
570,9	Железистый сланец, березит	То же, метасоматоз	-1,4	11,4
613,9	Метабазит измененный	Fe карбонат жильный	-3,9	9,2
Месторождение Балка Широкая, Золотополиметаллический тип руд				
Скв. 3238				
118,6	Апобазитовый сланец	Доломит	-4,2	10,3
124,6	Сланцы с жильной зоной	Доломит жильный	-6,0	10,5
224,5	Березит зональный	Анкерит метасоматический	-3,4	15,5
То же	То же	Кальцит жильный	-3,2	15,5
Скв. 3264				
137,7	Березит по кварцито-сланцу	Зона доломита	-3,6	12,0
158,0-158,1	То же	Доломит, гнезда	-4,4	11,9
185,3	То же	Доломит метасоматический	-3,6	12,1
198,6-198,8	То же	Доломит, ядро зоны	-4,5	10,8
211,0-211,2	Березит рудный, сульфиды	Доломит метасоматический	-3,6	11,8
231,2-231,5	Березит по кварцито-сланцу	То же	-2,2	11,5
Скв. 4156				
221,5	Березит по кварцито-сланцу	Доломит метасоматический	-3,1	12,3
224,5	То же	Рудная минерализация	-4,2	12,9

КАРБОНАТИ РУДНИХ РОДОВИЩ РАНЬОГО ДОКЕМБРИО ЦЕНТРАЛЬНОЇ ЧАСТИНИ УКРАЇНСЬКОГО ЩИТА

Ю.О. Фомін, к. геол.-мін. наук, п. н. с., ДУ «ІГНС НАН України», <https://orcid.org/0000-0002-3043-8359>, yaf1941@gmail.com

Ю.М. Деміхов, к. геол.-мін. наук, с. н. с., зав. лаб, ДУ «ІГНС НАН України», <https://orcid.org/0000-0002-3576-6570>, y_demikhov@ukr.net

В.Г. Верховцев, д.к.н, с.н.с, зав. Від., ДУ «ІГНС НАН України», <https://orcid.org/0000-0002-1015-6725>, Verkhovtsev@ukr.net

Н.М. Борисова, пр.інж., ДУ «ІГНС НАН України», <https://orcid.org/0000-0002-7169-1430>, IGNS_Borysova@nas.gov.ua

С.Ф. Чупринова, пр.інж., ДУ «ІГНС НАН України», <https://orcid.org/0000-0002-1466-9333>, IGNS_Chuprynova@nas.gov.ua

У статті наведено результати вивчення ізотопного складу кисню і вуглецю карбонатів в рудних родовищах раннього докембрію Українського щита. Вивчено наступні об'єкти: 1. Залізорудні утворення Криворізької надглибокої свердловини, де карбонати виділені з усіх підрозділів криворізької серії палеопротерозою, а також з архейських порід дніпропетровського комплексу. 2. Уранові руди і породи, що їх вміщують Северинівського родовища ураново-альбіттові формації палеопротерозойського віку. 3. Золоторудні родовища архейських зеленокам'яних структур Придніпров'я, в тому числі: Сергіївське (Au-колчеданні і Au-Bi-Te руди) і Балка Широка (Au-залізисті і Au-Ag-Pb-Zn руди). Генетично карбонати ділянок, що порівнюються, виявляють ознаки первинно осадових карбонатних утворень, які зазнали впливу гідротермально-метасоматичних процесів. Температурні умови їх утворення свідчать про зміну режиму карбонатування від прогресивного в діапазоні температур 70-150 °C (діафорез) - 220-300 °C (метасоматоз) на регресивний: до 180-80 °C (пізні жилки). Протерозойським карбонатам у порівнянні з архейськими притаманні істотно більш важкий кисень і полегшений вуглець, Скарнійний механізм формування рудного ореолу в умовах високо магнезійного середовища пояснює послідовність і метасоматичний характер карбонатизації. Середовище і умови мінералоутворення сприятливі для зростання великих метакристалів доломіту, кальциту, актиноліту і тремоліту; що підтверджується дослідженням флюїдних включень. Наявність у включеннях в кальциті рудних мінералів, вказує на рудоутворюючий характер вивченого флюїду. Серед гранітоїдів дніпропетровського комплексу відзначаються ділянки аналогічні графіт-карбонатним породам гданцівської світи, в тому числі і за ізотопним складом, які характеризуються інтенсивними тектонічними порушеннями. У таких зонах розширення спостерігається істотне падіння температури. Все це дає підставу припустити наявність в цьому районі Кривбасу системи великих скидань (тектонічних клинів) із зануренням фрагментів, складених породами криворізької серії у більш древні гранітоїди.

Ключові слова: архей, палеопротерозой, родовища урану і золота, карбонати, ізотопний склад, Український щит, архейські зеленокам'яні структури.

CARBONATES OF ORE DEPOSITS OF PRECAMBRIAN OF THE CENTRAL PART OF THE UKRAINIAN SHIELD

Fomin Yu.O., PhD (Geol-min), leading researcher, State Institution «The Institute of Environmental Geochemistry of National Academy of Sciences of Ukraine», <https://orcid.org/0000-0002-3043-8359>, yaf1941@gmail.com

Demikhov Yu.M., PhD (Geol-min), senior research fellow, head of the laboratory, SI State Institution «The Institute of Environmental Geochemistry of National Academy of Sciences of Ukraine», <https://orcid.org/0000-0002-3576-6570>, y_demikhov@ukr.net

Verkhovtsev V.G., D. (Geol.S), senior research fellow, head of department, SI State Institution «The Institute of Environmental Geochemistry of National Academy of Sciences of Ukraine», <https://orcid.org/0000-0002-1015-6725>, Verkhovtsev@ukr.net

Borisova N.M., Lead Engineer, State Institution «The Institute of Environmental Geochemistry of National Academy of Sciences of Ukraine», <https://orcid.org/0000-0002-7169-1430>, IGNS_Borysova@nas.gov.ua

Chuprinova S.F., Lead Engineer, SI State Institution «The Institute of Environmental Geochemistry of National Academy of Sciences of Ukraine», <https://orcid.org/0000-0002-1466-9333>, IGNS_Chuprynova@nas.gov.ua

The article presents the results of study of the isotopic composition of oxygen and carbon of carbonates in ore deposits of the Early Precambrian of the Ukrainian Shield. The following objects were studied: 1. Iron ore formations of the Kryvyi Rih ultra-deep well, where carbonates were extracted from all units of the Kryvyi Rih Paleoproterozoic series, as well as from the Archean rocks of the Dnipropetrovsk complex. 2. Uranium ores and host rocks of the Severynivsky deposit of the uranium-albite formation of the Paleoproterozoic age. 3. Gold deposits of Archean greenstone structures of the Dnieper, including: Sergiivske (Au-pyrite and Au-Bi-Te ores) and Balka Shyroka (Au-glandular and Au-Ag-Pb-Zn ores). Genetically, the carbonates of the compared areas show signs of primary sedimentary carbonate formations that have experienced the influence of hydrothermal-metasomatic processes. The temperature conditions of their formation indicate a change in the mode of carbonate formation from progressive in the temperature range of 70-150°C (diaphoresis) - 220-300°C (metasomatosis) to regressive: up to 180-80°C (late veins). Compared to Archean carbonates, Proterozoic carbonates are inherently heavier oxygen and light carbon. The scarnoid mechanism of the formation of the ore halo in a highly magnesian environment explains the sequence and metasomatic nature of carbonation. The environment and conditions of mineral formation are favourable for the growth of large metacrystals of dolomite, calcite, actinolite and tremolite; as confirmed by the study of fluid inclusions. The presence of ore minerals in inclusions in calcite confirms the ore-forming nature of the studied fluid. Among the granitoids of the Dnipropetrovsk complex, sites similar to the graphite-carbonate rocks of the Gdantsev Formation are noted, including the isotopic composition, which are characterized by intense tectonic disturbances. In such zones of decompression, a significant drop in temperature is observed. All this suggests that there is a system of large faults (tectonic wedges) in this region of Kryvbass, with the immersion of fragments composed of rocks of the Kryvyi Rih series into more ancient granitoids.

Key words: Archean, Paleoproterozoic, deposits of uranium and gold, carbonates, isotopic composition, Ukrainian shield, Archean greenstone structures.