

УДК 550.42:552.321.6

## О ПРИРОДЕ ПОВЫШЕННЫХ СОДЕРЖАНИЙ УРАНА В ОЛИВИНАХ АЛЬПИНОТИПНЫХ ГИПЕРБАЗИТОВ

**Фомин Ю.А.** кандидат геол.- мин. наук, ст.н.с. ГУ «Институт геохимии окружающей среды НАН Украины» yaf1941@ gmail.com

*Приведены данные по распределению урана, золота, а также изотопов кислорода в оливинах различных петроструктурных типов ряда массивов альпинотипных гипербазитов. Показано, что при противоположных тенденциях поведения урана и золота в процессах эволюции пород на уровне мантия-кора повышенные концентрации урана имеют наложенный характер и связаны именно с коровым этапом становления массивов. Распределение золота в оливинах изученных гипербазитов, как и урана, с одной стороны, отражает вариации его содержания в исходных магматических расплавах, генерируемых на различных уровнях верхней мантии, с другой же, теснейшим образом связано с особенностями их пластического деформирования и рекристаллизации в процессе мантийно-коровой эволюции. Наиболее отчетливо противоположные тенденции поведения элементов видны на примере Билинского массива. Количество урана здесь систематически возрастает с усилением степени деформации гипербазитов, достигая максимальных значений в оливинах, деформированных в условиях динамической рекристаллизации на сравнительно высоких уровнях коры. Содержание золота, наоборот, на уровне коры снижается. Из этого ряда выпадают оливины лейстовые, золотоносность которых увеличивается по сравнению с протогранулярными (ураноносность меняется незначительно). Данный факт объяснен исходя из деформации названных типов оливинов *in situ*, т.е. в условиях верхней мантии. Полученные выводы важны для понимания взаимосвязи мантийно-коровой проблематики с процессами рудообразования, что демонстрируется изучением рудоносных структур Кировоградского мегаблока Украинского щита.*

**Ключевые слова:** альпинотипные гипербазиты, оливин, золото, уран, изотопный состав, Алтае-Саянская складчатая область, Кировоградский рудный район, Украинский щит.

### **Введение.**

В последнее время в области металлогении Украинского щита наметилось новое научное направление, которое с учетом глубинных геофизических исследований [1] предполагает пространственную, структурную и генетическую взаимосвязь между коровыми, мантийными интрузиями и рудными месторождениями [2, 3]. Авторы этих работ, в частности, совершенно справедливо указывают на «пространственную связь поверхностных структур Кировоградского рудного района (концентрирующих месторождения урана и золота) с глубинными неоднородностями, включая раздел кора – мантия». Возражение вызывает другое, а именно то, что некоторые последователи «мантийно-флюидной гипотезы» [29] настаивают на «генерації спеціалізованих на уран мантийних флюїдних потоків і формуванні родовищ урану на верхніх структурних поверхнях земної кори з мантийних рудогенних компонентів...». Т. е. по существу бездоказательно, на основе общих фраз, относят урановые месторождения Кировоградского блока к мантийным образованиям, ссылаясь, в том числе и на наши изотопные данные [4]. Хотя в цитированной

ими нашей работе приведены факты, свидетельствующие о более сложной связи глубинных (не обязательно мантийных) и коровых (на современном срезе) процессов.

Возвращаясь к проблеме «кора – мантия», мы как раз и хотим показать (конкретно для урана) эту сложность процессов эволюции вещества, мигрирующего на этих уровнях и взаимодействующего с преодолеваемым субстратом, а также требуемую скрупулёзность работы с этим веществом. В качестве такого вещества в нашем случае используется оливиновый эдукт альпинотипных гипербазитов, мантийно-коровая эволюция которого вполне обоснована [5].

#### Объект, методика, история исследований

Ранее нами совместно с А.И. Гончаренко [6-12] было исследовано распределение урана, золота (с участием А.Ф. Коробейникова) и изотопов кислорода в оливинах ряда динамометаморфизованных дунит-гарцбургитовых (альпинотипных) массивов Алтае-Саянской складчатой области.

По особенностям геотектонического положения изученные массивы гипербазитов объединяются в две группы. К первой относятся массивы, локализованные в докембрийских жестких консолидированных структурах типа срединных массивов и миогеосинклинальных зон. Это Билинский, Водораздельный, Тарлашкинский, Сольджерский массивы, находящиеся в Туве, и Северный-Зеленый – в Кузнецком Алатау. Вторая группа представлена массивами, структурная позиция которых определяется их приуроченностью к офиолитовым эвгеосинклинальным прогибам раннекаледонской консолидации. Сюда относятся: Агардагский в Туве, Иджимский, Борусский, Березовский в Западном Саяне, Среднетерсинский, Бархатный в Кузнецком Алатау [13].

Основным объектом нашего внимания явился оливин, который во всех перечисленных массивах постоянно обнаруживает признаки пластической деформации и рекристаллизации (рис.1).

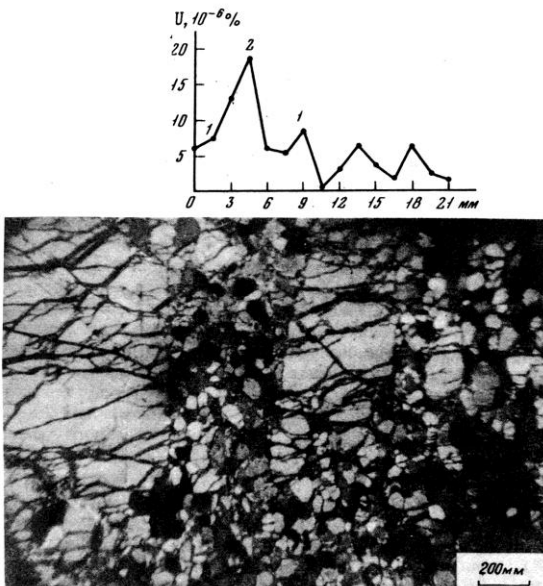


Рис. 1. Распределение урана в профиле дунитов с различным характером рекристаллизации оливинов. Билинский массив, Юго-Восточная Тува [6].

Шлиф на микроуровне демонстрирует зонки тонкозернистой рекристаллизации оливина среди кристаллической протогранулярной его разновидности. Николи скрещены.

На графике распределения урана ( $n \cdot 10^{-6} \%$ ) цифрами обозначены различные структурные типы оливина: 1 – протогранулярный; 2 – рекристаллизованный.

Именно установленные в альпинотипных гипербазитах иерархические ряды деформационных структур, находящие отражение и в особенностях кристаллической структуры оливина, по мнению А.И. Гончаренко и других авторов [5, 14]), являются следствием динамометаморфизма пород в ходе их мантийно-коровой эволюции. Структуры оливинов в массивах первой группы (тип Билинский) образуют ряды: протогранулярный – лейстовый и протогранулярный – порфинокластический – мозаичный. Структурные разновидности оливинов в массивах второй группы (тип Среднетерсинский) определяются

рядом протогранулярный – мезогранулярный – порфирокластический – лейстовидный [5, 12].

Течение пород прото- и мезогранулярного типов является следствием деформации скольжения зерен оливина по системе {OKL} [100], реализуемой в условиях верхней мантии [14]. В аналогичных условиях протогранулярный оливин мог преобразовываться в лейстовый (Билинский массив). Частично образование мезогранулярной структуры, осуществляемое скольжением по низкотемпературной системе (100) [001], возможно и на уровне коры, причём оба этих типа мезогранулярных структур установлены в пределах Среднетерсинского массива [5]. Течение пород с порфирокластической, лейстовой и мозаичной структурами осуществлялось при внедрении гипербазитов в кору с деформацией и рекристаллизацией оливинов на разных её уровнях.

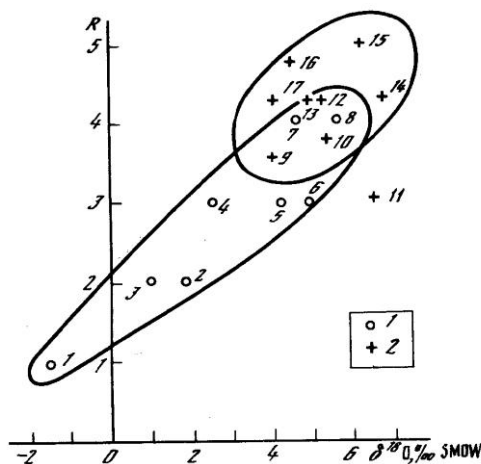
**Таблица 1.** Изотопный состав кислорода оливинов Билинского и Среднетерсинского массивов [10-12].

Структурный тип оливинов	Билинский массив		Среднетерсинский массив	
	n	$\delta^{18}\text{O},\text{‰}$	n	$\delta^{18}\text{O},\text{‰}$
Протогранулярный	2	4,0-5,3 (4,6)	1	-1,5
Мезогранулярный			2	1,0-1,9 (1,4)
Порфирокластический	4	5,0-6,8 (5,9)	3	2,5-5,0 (3,9)
Лейстовый	2	4,0-4,2 (4,1)	2	4,6-5,7 (5,2)
Мозаичный и микрогранулярный	1	6,1		

**Примечание.** Определения сделаны в лаборатории стабильных изотопов НАН Украины [12]. Точность измерения  $\delta^{18}\text{O}$  относительно стандарта SMOW равна  $\pm 0,3 \text{‰}$  (МИ-1309). В скобках приведены средние значения; n – число проб.

### Результаты исследований

С вышеизложенными представлениями о мантийно-коревой эволюции альпинотипных гипербазитов хорошо согласуются вариации изотопного состава кислорода оливинов, полученные для двух массивов, характеризующих обе выше названные группы (табл. 1, рис. 2).



**Рис. 2.** Распределение изотопов кислорода ( $\delta^{18}\text{O}$ , ‰ SMOW) в оливинах из альпинотипных гипербазитов в зависимости от степени их пластической деформации R (условные единицы) [10].

1 – Среднетерсинский массив, Кузнецкий Алатау – образцы 1-8, в том числе: протогранулярный – 1,6; мезогранулярный – 2,3; порфирокластический – 4,5; лейстовый – 7,8. 2 – Билинский массив, Юго-Восточная Тува – образцы 9-17, в том числе: мезогранулярный – 9; порфирокластический – 10,11; мозаичный – 15; мозаично-лейстовый – 12-14, 16-17.

Различные соотношения изотопов кислорода в протогранулярных оливинах обеих массивов могут свидетельствовать об изотопной неоднородности верхней мантии, а также,

возможно, о разных глубинах зарождения источников питания [15]. Причём, по мнению Г.В. Пинуса и Е.И. Донцовой составу именно альпинотипных гипербазитов отвечают самые верхние горизонты верхней мантии (с последующим проникновением выплавленной части субстрата по разломам в земную кору).

Протогранулярный оливин Среднетерсинского массива по значениям  $\delta^{18}\text{O}$  соответствует оливину углистых хондритов (от -2,4 до +3,6 ‰), представляющих наиболее низкий уровень кристаллизационного фракционирования изотопов кислорода – «изначальную материю» [16, 17]. Такие же оливины Билинского массива по кислороду близки к оливинам обыкновенных хондритов групп L и LL (4,1-4,8 ‰ [17, 18]), лунных изверженных пород (5,1-5,3 ‰ [19]) и океанических базальтов мантийной природы (4,8-5,1 ‰ [20]). А также и «усредненному значению  $\delta^{18}\text{O}$  оливина (5,19 ± 0,26 ‰)... как изотопной характеристики кислорода для мантийных пород (на примере кимберлитов Якутии) [25]».

В процессе трансформации протогранулярного оливина в лейстовый, происходящей *in situ*, изотопный состав кислорода не меняется. Эволюция оливинов в рядах протогранулярный – порфиروкластический – мозаичный (Билинский массив) и протогранулярный – мезогранулярный – порфирокластический – лейстовый (Среднетерсинский массив), наоборот, сопровождается закономерным утяжелением кислорода, причём исходные различия двух массивов нивелируются в завершающих членах рядов (рис. 2). Указанную тенденцию мы [12] связали, прежде всего, с постепенно усиливающимся на разных уровнях коры изотопно-кислородным обменом между оливинами и силикатным материалом, обогащенным изотопом  $^{18}\text{O}$ . Вместе с тем, установленное для характеризуемых оливинов закономерное уменьшение их железистости с увеличением степени рекристаллизации [5] позволяет в определённой степени увязать утяжеление кислорода в структурных рядах оливинов с преимущественным химическим сродством между Fe и  $^{16}\text{O}$  [21]

Переходя к вопросу о распределении урана в массивах гипербазитов, отметим, что наиболее широко и детально изучена ураноносность оливина, в меньшей мере – энстатита, в единичных образцах – клинопироксена, тремолита, талька (по энстатиту), магнезита. Содержание урана в перечисленных минералах определено методом осколочной (f) радиографии (И.Г. Берзина, 1967) в прозрачных шлифах, облученных в тепловом потоке нейтронов (интенсивностью  $1 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$ ). В качестве эталона использовано стекло с равномерным распределением элемента ( $0,8 \cdot 10^{-4}\%$ ) [8]. Содержания урана, рассчитанные, исходя из плотности треков индуцированного деления урана на лавсановых детекторах, отражено в табл. 2-5.

Гипербазиты изученных массивов различаются между собой как по содержанию в них урана, так и по особенностям его распределения, весьма неравномерного даже в пределах одного шлифа (график на рис.1). Выявленные вариации содержания урана в ультраосновных породах и слагающих их минералах, прежде всего, в оливиновых агрегатах, обусловлены интенсивностью и условиями их деформации (табл.2, 3).

Общая тенденция, отраженная в табл. 2 и описанная нами ранее [6, 8, 12], заключается в повышении содержания урана с усилением степени деформации гипербазитов и, особенно, с возрастанием интенсивности динамической рекристаллизации оливина. Минимальные концентрации урана ( $n \cdot 10^{-6} \%$ ) фиксируются в оливинах протогранулярного типа (0,8-4,8) с неизменной тенденцией повышения в оливинах мезогранулярных и порфирокластических (1,3-6,6) и с достигшем максимальных значений (3,9-23,3) в микрогранулированных разностях. Вместе с тем, ураноносность пластически деформированных на уровнях верхней мантии оливинов (протогранулярный, частично мезогранулярный и порфирокластический типы) в процессе их рекристаллизации *in situ* возрастает незначительно (лейстовый, частично мозаичный типы). Эта особенность хорошо иллюстрируется на примере Билинского массива

(табл. 2). Резкое увеличение содержания урана происходит в оливинах, деформированных на более высоких уровнях земной коры, в условиях динамической рекристаллизации.

Синхронное возрастание количества урана установлено и для пироксенов, в том числе и псевдоморфно замещенных (автометаморфический тальк по энстатиту), которые ассоциируют с соответствующими структурными типами оливинов (табл. 3). Что же касается типично метасоматических тремолита и магнезита, как и метасоматического оливина (Водораздельный массив), то содержание урана в них устойчиво повышенное (до  $10,3 \cdot 10^{-6}$  %).

На различных уровнях верхней мантии – коры меняется и характер распределения треков. Если для прото-мезогранулярного типов оливинов (верхняя мантия) характерен равномерно-рассеянный уран с соответствующими треками, то в микрогранулярных структурных типах оливина (кора) формы нахождения урана меняются.

**Таблица 2.** Средние содержания урана ( $n \cdot 10^{-6}$  %) в структурных типах оливинов.

Массив	Структурные типы оливинов						
	1	2	3	4	5	6	7
<b>Первая группа массивов в докембрийских жестких структурах</b>							
Билинский	2,5 (2)	5,1 (3)	5,1 (4)	6,2 (2)	11,1 (5)	17,0 (2)	-
Водораздельный	5,6 (1)	-	4,7 (2)	-	16,2 (2)	14,7 (1)	10,3 (1)
Тарлашкинский	-	5,8 (2)	11,1 (1)	-	9,4 (2)	-	-
Сольджерский	-	4,2 (1)	-	-	6,6 (1)	-	-
Северный-Зеленый	5,0 (3)	-	-	-	12,4 (1)	-	-
Среднее по группе	4,3 (6)	5,2 (6)	5,9 (7)	6,2 (2)	11,4 (11)	16,2 (3)	10,3 (1)
<b>Вторая группа массивов в раннекаледонских прогибах (офиолитовых)</b>							
Агардагский	1,6 (2)	-	-	-	-	-	-
Иджимский	3,1 (7)	2,3 (2)	-	-	6,2 (3)	18,1 (1)	-
Борусский	4,8 (1)	-	-	-	-	-	-
Березовский	4,6 (1)	-	-	-	-	-	-
Среднетерсинский	4,5 (1)	3,9 (2)*	-	-	-	-	-
Бархатный	3,7 (1)	-	-	-	-	-	-
Среднее по группе	3,3 (13)	3,1 (4)	-	-	6,2 (3)	18,1 (1)	-
<b>Среднее в целом</b>	<b>3,6 (19)</b>	<b>4,4 (10)</b>	<b>5,9 (7)</b>	<b>6,2 (2)</b>	<b>10,3 (14)</b>	<b>16,7 (4)</b>	<b>10,3 (1)</b>

**Примечание.** Типы оливинов: 1. Прото- и мезогранулярный. 2. Порфирокластический. 3. Лейстовый. 4. Мозаичный. 5. Микрогранулированный. 6. Микрогранулированный в линейных зонках. 7. Метасоматический. \*Кливажированный. В скобках указано количество образцов.

Здесь, наряду с равномерно-рассеянными треками, существенную роль играют скопления треков, приуроченные к межзерновым границам и микротрещинам, т.е. явно относящиеся к наложенному урану (по А.А. Смыслову [22]).

Для подтверждения этой (основной) закономерности, так или иначе проявленной на всех изученных массивах, полученные (по ураноносности оливина) данные некоторых образцов с разными типами структур обработаны статистически (табл. 4).

**Таблица 3.** Средние содержания урана ( $n \cdot 10^{-6} \%$ ) в минералах гипербазитовых массивов.

Минерал	Число образцов	Вариации	Средние значения
Оливин	57	0,8-23,3	6,8
Энстатит	8	1,8-9,3	5,0
Клинопироксен	1	-	0,9
Тальк по энстатиту	5	1,4-13,9	5,8
Тремолит	1	-	10,7
Магнезит	2	2,5-23,8	13,1

Распределение урана в оливинах, деформированных в мантийных условиях (прото- и мезогранулярный типы), подчиняется нормальному закону, а в рекристаллизованных *in situ*, т.е. также в мантийных условиях (порфирокласты оливина в лейстовой основной массе) логнормальному. Лучшую сходимость с логнормальным распределением в этом образце можно объяснить как следствие превалирующей роли рекристаллизации *in situ* по сравнению с внутрикристаллическим скольжением, что приводило к некоторому перераспределению урана.

**Таблица 4.** Параметры распределения урана в оливинах различных структурных типов.

№ обр.	Тип структуры	n	X	$\sigma$	A	E	$S_v$	Закон
АГ-37-10	Протогранулярный	33	2,88	1,61	0,71	0,31	56,1	Норм.
БР-13-5	Мезогранулярный	30	9,73	5,38	1,09	1,77	55,3	Норм.
Би-14	Порфирокластический с лейстовой массой	36	9,97	7,09	1,72	2,81	71,1	Логнорм.
Т-25	Порфирокластический с микрогранулярной массой	37	12,43	8,49	1,03	-0,02	68,3	Сложный
С-6041/2	Микрогранулярный	26	13,53	4,19	-0,32	-0,36	31,0	Норм.

**Примечание.** Образцы: АГ – Агардагский массив, дунит. БР – Борусский массив, дунит. Би – Билинский массив, дунит. Т – Водораздельный массив, гарцбургит. С – массив гор Северная-Зеленая, дунит. Условные обозначения: n – количество замеров плотности треков; X – среднее значение плотности треков;  $\sigma$  – стандартное отклонение; A – асимметрия; E – эксцесс;  $S_v$  – коэффициент вариации.

Резкое изменение условий деформации, связанное с наложенными процессами динамической рекристаллизации в земной коре, сопровождалось возникновением неравновесных структурных типов оливина. Распределение урана в этих случаях не соответствует ни нормальному, ни логнормальному законам. Лишь при достижении полного структурного равновесия под влиянием полной динамической рекристаллизации распределение урана в оливинах «возвращается» к нормальному закону.

Таким образом, подтверждая более ранний наш вывод [8], подчеркнем, что соотношение процессов деформации и динамической рекристаллизации оливина на уровне верхней мантия – кора находит отражение в геохимической эволюции урана и законах его распределения. *Глубинный динамометаморфизм гипербазитов не сопровождался*

существенными вариациями концентрации в них урана, а его содержание в изученных ультраосновных породах хорошо сопоставляется с данными по содержанию радиоактивных элементов в верхней мантии [23]. Привнос урана в гипербазиты осуществляется под влиянием их динамометаморфического преобразования на уровнях земной коры.

Сделанный вывод подтверждается сопоставлением радиоактивности гипербазитов, слагающих массивы двух групп, а именно: в структурах докембрийской (1) и раннекаледонской (2) консолидаций (табл. 5).

**Таблица 5.** Среднее содержание урана ( $n \cdot 10^{-6} \%$ ) в гипербазитах юга Сибири.

Группа массивов	n	X	$\sigma$	S <sub>v</sub>	Значение t-критерия	
					t	t <sub>0,1</sub>
1	23	7,91	5,81	73,5	3,04	2,99
2	19	3,69	1,41	38,2		

**Примечание.** 1 – Массивы гипербазитов, локализованные в структурах докембрийской складчатости.  
2 – Массивы гипербазитов, залегающие в структурах каледонид. Параметры распределения см. табл. 4.  
t - критерий Стьюдента (%), показывающий существенность различия.

Значимость различий в содержаниях урана между породами этих групп достоверна с вероятностью 99%, что позволяет уверенно выделить два радиогеохимических типа гипербазитов. Вариации содержания в них урана обусловлены радиогеохимической спецификой эвгеосинклинальных и миогеосинклинальных структурно-формационных зон как важнейших элементов структуры складчатых областей [22].

Геологические формации эвгеосинклинальных зон с офиолитовым типом разреза характеризуются крайне низким содержанием урана и относятся (по А.А. Смыслову) к категории слабодифференцированных радиогеохимических провинций. В нашем случае, как следует из табл. 5, минимальные содержания урана фиксируются в гипербазитах массивов, локализованных в эвгеосинклинальных прогибах каледонид (группа 2). Внутренняя деформационная структура этих массивов дискомфортна по отношению к структуре вмещающих их пород. Гипербазиты этого типа демонстрируют признаки высокотемпературного течения в верхней мантии, а устанавливаемые в них проявления синтетектонической рекристаллизации оливина на этом уровне не оказывают существенного влияния на изменение концентрации в них урана [7].

Накопление же урана, согласно А.А. Смыслову, осуществлялось в дифференцированных провинциях складчатых областей типа геоантиклинальных поднятий и миогеосинклинальных зон, чем и объясняется существенное повышение радиоактивности (в нашем случае, более чем в 2 раза) в гипербазитах массивов, приуроченных к структурам докембрийской консолидации. Привнос урана в гипербазиты, по нашему мнению [7], осуществлялся в обстановке их синметаморфической рекристаллизации на уровне коры с образованием на месте ранних пластических деформаций мелкозернистых агрегатов новообразованных ненапряженных зерен и создания деформационных структур, конформных с вмещающей рамой.

Распределение золота в оливинах изученных гипербазитов, как и урана, с одной стороны, отражает вариации его содержания в исходных магматических расплавах, генерируемых на различных уровнях верхней мантии [9], с другой же, теснейшим образом связано с особенностями их пластического деформирования и рекристаллизации в процессе мантийно-коровой эволюции. При этом важно отметить, что эти элементы, как показано на примере минералов Билинского массива, ведут себя альтернативно (табл. 6 [11, 12]).

Количество урана систематически возрастает с усилением степени деформации гипербазитов, достигая максимальных значений в оливинах, деформированных в условиях динамической рекристаллизации на сравнительно высоких уровнях коры.

**Таблица 6.** Содержание U ( $n \cdot 10^{-6} \%$ ) и Au ( $n \cdot 10^{-7} \%$ ) в оливинах Билинского массива.

Структурный тип оливина	n	U, $n \cdot 10^{-6} \%$	n	Au, $n \cdot 10^{-7} \%$
Протогранулярный	2	1,6-3,4 (2,5)	17	1,8-5,2 (3,4)
Порфирокластический	3	4,5-5,6 (5,1)	4	1,6-3,4 (2,4)
Мозаичный и микрогранулярный	9	4,4-17,9 (11,3)	2	1,8-2,7 (2,2)
Лейстовый	4	3,5-6,2 (5,1)	4	3,3-11,0 (6,2)

**Примечание.** Определение золота в пробах проведено полярографическим или нейтронно-активационным методами (Томский политехнический институт [9]). В скобках указано среднее содержание.

Содержание золота, наоборот, на уровне коры (порфирокластический, мозаичный типы оливинов) снижается. Из этого ряда выпадают оливины лейстовые, золотоносность которых заметно увеличивается по сравнению с протогранулярными (ураноносность меняется незначительно). Данный факт объяснен выше, исходя из деформации названных типов оливинов, и именно для Билинского массива, *in situ*, т.е. в условиях верхней мантии.

### Заключение

Таким образом, мантийные оливины относительно обогащены золотом и обеднены ураном, а их структурное преобразование на уровне коры сопровождается значительным перераспределением элементов: выносом первого и привносом второго. Интерес, на наш взгляд, представляет заключение [9] о существенной роли в перераспределении золота метасоматических процессов. Этот вывод вполне согласуется с описанием находок золоторудных проявлений в альпинотипных гипербазитах Урала [26, 27].

Возвращаясь к дискуссии, обозначенной в начале статьи, считаем необходимым отметить следующее. Различие между веществом Кировоградского сегмента коры и альпинотипными гипербазитами с точки зрения вероятной мантийно-коровой эволюции этого вещества не является принципиальным, оно скорее кажущееся. В том и другом случае между проникающей из мантии в кору и поднимающейся на более высокие уровни коры вещественной субстанцией (будь то магматический расплав, протрузия или флюидный поток) и веществом коры неизбежно возникает взаимодействие. Это взаимодействие также неизбежно приводит к геолого-структурному и минералого-геохимическому перераспределению мигрирующего вещества.

Присутствие в коровых структурах геологических объектов с мантийно-коровой природой либо тектоно-метасоматических зон с признаками глубинных процессов, как это имеет место в пределах урановорудной Кировоградской зоны [4], действительно отражает сложную эволюцию этих структур. Но такие факты отнюдь не означают, что уран в эти зоны обязательно привнесён с названными образованиями из верхней мантии. Гораздо более вероятными является ассимиляция урана в период (и в процессе) миграции их на разных уровнях коры или же рециклирование геологического вещества на месте в ходе рудообразующих гидротермально-метасоматических процессов. Весьма показательным в этом отношении является противоположное поведение урана и золота в геологических телах, прошедших динамическое преобразование в системе мантия – кора, кстати, в том числе и в пределах Кировоградской тектоно-метасоматической зоны.



Исследование поведения урана в тектонитах зон урановорудных альбититов методом f-радиографии [24] показало результаты, аналогичные полученным нами относительно поведения элемента в ходе динамометаморфизма альпинотипных гипербазитов. Согласно этим данным в период пластических деформаций наиболее ранних структурных элементов зон сингенетический уран во вмещающей метаморфогенной триаде (гнейсы, мигматиты, граниты) хотя и имеет признаки перераспределения в связи с наложенными минералами, но без дополнительного его поступления. Существенное увеличение его концентрации связано со сменой пластических деформаций более поздними хрупкими, причем особенно интенсивный его привнос характерен для участков локального постальбититового (предрудного) катаклаза.

Эти выводы вполне соответствуют нашим представлениям, в том числе изложенным в общей монографии по урановым месторождениям Украины [4]. Приводя изотопные признаки глубинного вещества в зонах ураноносных альбититов, как в диафторитах, так и в рудных альбититах, мы уточняем источник этого вещества для конкретных генераций минералов. Предположительно это – архейские метабазиты более глубоких горизонтов фундамента (отнюдь не мантия). Что же касается воды флюида, то в одном образце калиевого полевого шпата действительно установлена вода, которую по кислороду и водороду мы относим к магматогенной или метаморфогенной, подчёркивая, что «источником такой воды могли быть вмещающие породы, испытавшие ультраметаморфическое плавление». Приводим и температуру образования этого минерала, предположительно ортоклаза, – 680-740 °С. Таким образом, наши данные совершенно не согласуются, например, с интерпретацией этих данных, приведенной А.В. Кузьминым [28]: «изотопный состав серы, углерода и кислорода безрудных метасоматитов характерен для мантийных образований, а для рудных и пострудных имеет значения, свойственные полигенным образованиям с участием глубинных и метеорных вод». Такого в наших работах нет.

В итоге мы считаем, что занимаясь проблемой «кора-мантия», вопросами весьма важными и актуальными в теории рудообразования и металлогении, необходимо всегда видеть разницу между «действительным» и «очевидным».

## ЛИТЕРАТУРА

1. Гинтов О.Б. Коростенский сложный плутон как гигантская кольцевая тектоно-магматическая структура / Р.П. Патрикян, А.И. Тимошенко // Геол. журнал. – 1974. – Т.34. – Вып. 3. – С. 73-81.
2. Казанский В.И., Глубинное строение и металлогения полиметального Кировоградского рудного района (Украинский щит)/ В.И.Казанский, Н.И.Попов // Новые горизонты в изучении процессов магмо- и рудообразования: Материалы Международной научной конференции(8-11 ноября 2010 года).– Москва:ИГЕМ РАН, 2010. – С. 460-461.
3. Казанский В.И. Глубинное строение Кировоградского полиметального рудного района (Украинский щит): корреляция геологических и сейсмических данных/ О.Ф. Макивчук, Н.И. Попов // Геол. рудн. месторожд. – 2012. – 54, №1. – С. 22.
4. Генетические типы и закономерности размещения урановых месторождений Украины /Отв. ред. Белевцев Я.Н., Коваль В.Б // Киев: Наук. Думка, 1995.-396 с.
5. Гончаренко А.И. Деформация и петроструктурная эволюция альпинотипных гипербазитов/ А.И. Гончаренко.– Томск: Изд-во ТГУ, 1989. – 404 с.
6. Гончаренко А.И. О роли пластической деформации и рекристаллизации оливина в распределении урана /А.И.Гончаренко, Ю.А. Фомин // Докл. АН СССР. – 1981. –Т.256. - №3. – С. 684-686.
7. Гончаренко А.И., Фомин Ю.А. Радиогеохимические типы альпинотипных гипербазитов юга Сибири/ Ультраосновные магмы и их металлогения: тезисы докл. Всесоюзн.симп., Владивосток, 1983. - С. 110-112.
8. Гончаренко А.И. Роль динамометаморфизма альпинотипных гипербазитов в распределении урана / А.И. Гончаренко, Ю.А. Фомин // Вопросы структурной геологии; под общ. ред. А.И. Родыгина; Томский университет.– Томск,1987. – С. 86-100.
9. Коробейников А.Ф. Золото в офиолитовых комплексах Алтае-Саянской складчатой области / А.Ф. Коробейников, А.И. Гончаренко // Геохимия. – 1986. – № 1. – С. 49-61.

10. Гончаренко А.И. Распределение изотопов кислорода в пластически деформированных и рекристаллизованных оливинах из альпинотипных гипербазитов / А.И. Гончаренко, Ю.А. Фомин // Докл. АН СССР.-1991.- Т.317. - №2.- С. 434-436.
11. Фомин Ю.А., Гончаренко А.И. Уран, золото и изотопно-кислородное отношение в пластически деформированных и рекристаллизованных оливинах альпинотипных гипербазитов / Радиогеохимические методы исследования в радиогеохимии и смежных областях: материалы научной конференции.–Новосибирск. 1991. – С. 34-35.
12. Фомин Ю.А. Распределение урана, золота и изотопов кислорода в пластически деформированных и рекристаллизованных оливинах альпинотипных гипербазитов/ Ю.А. Фомин, А.И. Гончаренко // Докл. АН УССР. - 1991.- №4.- С. 101-104.
13. Пинус Г.В. Альпинотипные гипербазиты юга Сибири / Пинус Г.В., Колесник Ю.Н. – М.: Наука, 1966. – 210с.
14. Nicolas A. Crystalline plasticity and solid state flow in metamorphic rocks/ Nicolas A., Poirier J.P. // London: Wiley Interscience, 1976. – 444p.
15. Пинус Г.В.Изотопные отношения кислорода оливина ультраосновных пород различного генезиса / Г.В.Пинус, Е.И. Донцова // Геология и геофизика. – 1971. – № 12. – С. 3-8.
16. Onuma N. Oxygen isotope cosmo thermometer/ N. Onuma, R.N. Clayton, T.K. Mayeda // Geochim. et cosmochim. acta. – 1972. – 36. P. 169-188.
17. Taylor H.P. Oxygen isotope studies of minerals in stony meteorites / H.P.Taylor, M.B. Duke, I.T. Silver S. Epstein // Ibid. – 1965. – 29. – P. 489-512.
18. Onuma N. Oxygen isotope temperatures of equilibrated ordinary chondrites / N. Onuma, R.N. Clayton, T.K. Mayeda // Ibid. – 1972. – 36. – P. 157-168.
19. Clayton R.N., Onuma N., Mayeda T.K. Oxygen isotope fractionation in Apollo 12 rocks and soils / Proceedings of Apollo 12 Lunar Science Conference, 1971. – P. 1417-1420.
20. Anderson A.T. Oxygen isotope thermometry of mafic igneous rocks / A.T. Anderson, R.N. Clayton, T.K. Mayeda // J. Geol. – 1971. – 79. – P. 715-729.
21. Маракушев А.А.Закономерности распределения изотопов кислорода между минералами горных пород и метеоритов / А.А.Маракушев, Н.Н. Безмен // Минерал. журн. – 1988. – 10. – № 3. – С. 20-34.
22. Смыслов А.А. Уран и торий в земной коре / А.А. Смыслов.– Ленинград: Недра,1974. – 231 с.
23. Житков А.С. Содержание и распределение урана в основных и ультраосновных породах: автореф. дис. на соискание уч. степени канд. геол.-мин. наук./ А.С. Житков.– Ленинград,1975. – 24 с.
24. Дмитриев В.И.Поведение урана в процессе формирования тектонитов зон глубинных разломов / В.И. Дмитриев, Л.А. Березина, Л.А.Санников// Докл. АН СССР.– 1977. – Т. 232. - № 1. – С. 209-212.
25. Костровицкий С.И. Изотопный состав кислорода в минералах мантийных парагенезисов из кимберлитов Якутии./ С.И. Костровицкий, Л.В. Соловьёва, М.А. Горнова // Докл. РАН. – 2012. – 444. - №1. – С. 61-65.
26. Зайков В.В. Благородные металлы в гипербазитовых комплексах Южного Урала / Рудоносность осадочно-вулканогенных комплексов: материалы 17 Научной молодёжной школы. – Миасс: ИМ УрО РАН, 2011.– С. 59-64.
27. Кисин А.Ю., Мурзин В.В. Малые структурные формы в ультрабазитах горы Карабаш / Геодинамика, рудные месторождения и глубинное строение литосферы: материалы 15 Чтения памяти А.Н. Заварицкого. – Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2012. – С. 117-119.
28. Кузьмин А.В. Генетические особенности оруденения урановой формации в приразломных натриевых метасоматитах фундамента Украинского щита. // Збірник наукових праць ІГНС НАН України. – Київ, 2014. – Вип. 23. – С.186-198.
29. Калашник Г.А. Глибинні фактори формування промислових родовищ урану Українського щита: автореф. дис. на соискание уч. степени д-ра геол. наук./ Г.А. Калашник.– Київ, 2013.

## REFERENCES

1. O. Gintov, R. Patrikyan, A. Timoshchenko (1974). Korostenskii slozhnyi pluton kak gigantskaya koltsevaya tektono-magmatischeeskaya struktura [Korosten complex pluton as a giant ring tectonic and magmatic structure]. Geol. zhurn. – Geol. Journ. Vol.34, 3, 73-81 [in Russian].
2. V. Kazanskii, N. Popov (2010). Glubinnoe stroenie i metallogeniya polimetalnogo Kirovogradskogo rudnogo rayona (Ukrainskiy shchit) [Deep structure and metallogeny of the polymetallic Kirovograd ore district (Ukrainian shield)]. Proceedings from New horizons in the study of magmatic processes and ore formation: Mezhdunarodnaia nauchnaya konferentsiia (8-11 noiabria 201 hoda) – International Scientific Conference. (pp. 460-461). Moscow:IGEM RAN [in Russian].
3. V. Kazanskiy, O. Makivchuk, N. Popov (2012). Glubinnoe stroenie Kirovogradskogo polimetalnogo rudnogo rayona (Ukrainskiy shchit): korrelyatsiya geologicheskikh i seysmicheskikh danykh. [Deep structure of the Kirovograd polymetallic ore district (Ukrainian shield): correlation of geological and seismic data]. Geologiya rudnykh mestorozhdenii. –Geology of Ore Deposits, Vol.54, 1, 22 [in Russian].
4. Ya. Belevtsev, V. Koval (Eds.). (1995). Geneticheskie tipy i zakonomernosti razmeshcheniya uranovykh mestorojdeniy Ukrainy [Genetic types and patterns of distribution of uranium deposits in Ukraine]. Kiev: Naukova Dumka [in Russian].
5. A. Goncharenko (1989) Deformatsiya i petrostrukturnaya evolyuciya alpinotipnykh giperbazitov [Deformation and petrostructural evolution of Alpine ultramafic rocks]. Tomsk. [in Russian].
6. A. Goncharenko, Yu. Fomin (1981). O roli plasticheskoy deformatsii i rekristallizatsii olivina v raspredelenii urana [About the role of plastic deformation and recrystallization of olivine in the distribution of uranium]. Doklady Akademii nauk SSSR. – Reports of Sciences Academy of the USSR, Vol.256, 3, 684-686 [in Russian].

7. A. Goncharenko, Yu. Fomin (1983). Radiogeochemicheskie tipy alpinotipnyh giperbazitov yuga Sibiri [Radiogeochemical types Alpine ultramafic southern Siberia]. Proceedings of the scientific symposium Ultrabasic magma and metallogeny (pp. 110-112). Vladivostok. [in Russian]
8. A. Goncharenko, Yu. Fomin (1987). Rol dinamometamorfizma alpinotipnyh giperbazitov v raspredelenii urana. Questions of the structural geology. Rodygin A.I. (Ed.); Tomskii universitet. Tomsk.
9. A. Korobeynikov, A. Goncharenko (1986). Zoloto v ofiolitovykh kompleksah Altae-Sayanskoj skladchatoy oblasti [Gold in ophiolite complexes of the Altai-Sayan folded area] Geohimiya.– Geochemistry, 1, 49-61 [in Russian].
10. A. Goncharenko, Yu. Fomin (1991) Raspredelenie izotopov kisloroda v plasticheski deformirovannyh i rekristallizovannyh olivinah iz alpinotipnyh giperbazitov [Distribution of oxygen isotopes in plastically deformed and recrystallized olivines from Alpine ultramafic rocks] Doklady Akademii nauk SSSR. – Reports of Sciences Academy of the USSR, Vol.317, 2, 434-436 [in Russian].
11. Yu. Fomin, A. Goncharenko, (1991). Uran, zoloto i izotopno-kislorodnoe otnoshenie v plasticheski deformirovannyh i rekristallizovannyh olivinah alpinotipnyh giperbazitov [Uranium, gold and oxygen isotope ratio in the plastically deformed and recrystallized olivine Alpine ultramafic]. Proceedings of the scientific conference Radiogeochemical research methods in geochemistry and related fields. (pp. 34-35). Novosibirsk. [in Russian].
12. Yu. Fomin, A. Goncharenko (1991). Raspredelenie urana, zolota i izotopov kisloroda v plasticheski deformirovannyh i rekristallizovannyh olivinah alpinotipnyh giperbazitov [Distribution of uranium, gold and oxygen isotopes in plastically deformed and recrystallized olivine of Alpine ultramafic rocks] Doklady Akademii nauk SSSR. – Reports of Sciences Academy of the USSR, 4, 101-104 [in Russian].
13. G. Pinus, Yu. Kolesnik (1966) Alpinotipnye giperbazity yuga Sibiri [Alpine ultramafic rocks of the southern Siberia] Moskva: Nauka. [in Russian].
14. A. Nicolas, J. Poirier, (1976). Crystalline plasticity and solid state flow in metamorphic rocks. London: Wiley Interscience [in English].
15. G. Pinus, E. Dontsova (1971). Izotopnye otnosheniya kisloroda olivina ultraosnovnykh porod razlichnogo genezisa [Isotopical ratios of Oxygen in olivine of ultrabasic rocks of different genesis]. Geologiya i geofizika. – Geology and geophysics, 12, 3-8 [in Russian].
16. N. Onuma, R. Clayton., T. Mayeda (1972). Oxygen isotope cosmo thermometer. *Geochim. et cosmochim. Acta*, 36, 169-188 [in English].
17. H. Taylor, M. Duke, I. Silver, S. Epstein (1965). Oxygen isotope studies of minerals in stony meteorites. *Ibid*, 29, 489-512 [in English].
18. N. Onuma, R. Clayton, T. Mayeda (1972). Oxygen isotope temperatures of equilibrated ordinary chondrites. *Ibid*, 36, 157-168 [in English].
19. R. Clayton, N. Onuma, T. Mayeda (1971). Oxygen isotope fractionation in Apollo 12 rocks and soils. Proceedings of Apollo 12 Lunar Science Conference, 2, (pp.1417-1420) [in English].
20. A. Anderson, R. Clayton, T. Mayeda. (1971). Oxygen isotope thermometry of mafic igneous rocks. *J. Geol.*, 79, 715-729 [in English].
21. A. Marakushev, N. Bezmen (1988). Zakonomernosti raspredeleniya izotopov kisloroda mezhdu mineralami gornyh porod i meteoritov [Laws of distribution of oxygen isotopes between minerals of rocks and meteorites]. Mineral. zhurn. – Mineral. Journ. Vol.10, 3, 20-34c. [in Russian].
22. A. Smyslov. (1974). Uran i toriy v zemnoy kore. [Uranium and thorium in the Earth crust] Leningrad: Nedra. [in Russian].
23. A. Zhitkov (1975). Soderzhanie i raspredelenie urana v osnovnykh i ultraosnovnykh porodah [The content and the distribution of uranium in the basic and ultrabasic rocks]. Extended abstract of candidate's thesis. Leningrad. [in Russian].
24. V. Dmitriev, L. Berezina, L. Sannikov (1977). Povedenie urana v processe formirovaniya tektonitov zon glubinyh razlomov [The behavior of uranium in the formation of tectonites of deep fault zones] Doklady Akademii nauk SSSR. – Reports of Sciences Academy of the USSR, 1, 209-212 [in Russian].
25. S. Kostrovitskiy, L. Solovieva, M. Gornova (2012) Izotopnyy sostav kisloroda v mineralah mantiynykh paragenezisov iz kimberlitov Yakutii [The isotopic composition of oxygen in minerals of the mantle parageneses of kimberlites of Yakutia] Doklady Akademii nauk SSSR. – Reports of Sciences Academy of the USSR, 1, 61-65 [in Russian].
26. V. Zaikov (2011). Blagorodnye metally v giperbazitovykh kompleksah Yuzhnogo Urala [Precious metals in ultramafic complexes of the Southern Urals]. Proceedings from Ore of sedimentary-volcanic complexes: XVII Nauchnaya molodezhnaya shkola – 17th Scientific youth school. (pp.59-64). Miass: IM UrO RAN [in Russian].
27. A. Kisin, V. Murzin (2012). Malye strukturnye formy v ultrabazitah gory Karabash [Small structural forms in ultramafic Mountain Karabash]. Proceedings from Geodynamics, ore deposits and deep structure of the lithosphere: 15 Chlenie pamyati A.N. Zavaritskogo – 15<sup>th</sup> Reading in memory of A.N. Zavaritskii. (pp.117-119). Ekaterinburg: IGG UrO RAN [in Russian].
28. A. Kuzmin (2014) Geneticheskie osobennosti orudneniya uranovoy formacii v prirazlomnykh natrievykh metasomatitah fundamenta Ukrainskogo shchita [Genetic features of formation of uranium mineralization in the near-fault sodium metasomatic of foundation of the Ukrainian shield] Geohymiya ta ekologiya – Geochemistry and ecology. Proceedings of the Institute of environmental Geochemistry, 23, 186-198 [in Russian].
29. G. Kalashnik (2013). Glybinni faktory formuvannya promislovih rodovishchuranu Ukrainskogo shchita [Deep factors of industrial uranium deposits Ukrainian shield]. Extended abstract of Doctor's thesis. Kyiv [in Ukrainian].

## ПРО ПРИРОДУ ПІДВИЩЕНОГО ВМІСТУ УРАНУ В ОЛІВІНАХ АЛЬПНОТИПНИХ ГІПЕРБАЗИТІВ

**Фомін Ю. О.** канд. г.-м. н., ст. н. с., ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України», Київ, Україна, yaf1941@gmail.com

*Наведено дані з розподілу урану, золота, а також ізотопів кисню в олівінах різних петроструктурних типів з деяких масивів альпінотипних гіпербазитів. Показано, що при альтернативних тенденціях поведінки урану і золота у процесах еволюції порід на рівні мантія-кора підвищені концентрації урану мають вторинний (накладений) характер і пов'язані саме з коровим етапом становлення масивів. Отримані висновки важливі для розуміння взаємозв'язку мантійно-корової проблематики з процесами рудоутворення.*

**Ключові слова:** альпінотипні гіпербазити, олівін, золото, уран, ізотопний склад, Алтай-Саянська складчаста область, Кіровоградський рудний район, Український щит.

## THE NATURE OF HIGHER URANIUM CONTENT IN OLIVINS OF ALPINOTYPE HIPERBASITES

**Fomin Yu. A.** Ph.D. (Geol.), Principal Specialist, State Institution «Institute of Environmental Geochemistry of National Academy of Sciences of Ukraine», Kyiv, Ukraine, yaf1941@gmail.com

*The data about uranium, gold and oxygen isotopes distribution in the olivine of different petro structural types from same alpinotype ultrabasite massifs are proposed. They demonstrate that at the time of contrary tendency of uranium and gold behavior in processes of rocks evolution on the crust-mantle level the higher uranium contents have secondary nature. These uranium concentrations are connected with crust stage of massifs formation. Gold distribution in the olivine's, as well as uranium, from one hand, reflect its content variations in the initial magmatic melts, which were generated on the different levels of upper mantle, from the other hand, closely connected with peculiarities of its plastic deformation and recrystallization at the processes of crust-mantle evolution. The different tendencies of elements are observed on the example of Bilinski massif investigation. There, the uranium quantity is systematically increasing apart stage of ultrabasite deformation with maximum in deformed olivine's on the high crust levels. On the contrary gold connection on in crust levels is decreasing. Exception from that row makes a list of olivines with high gold concentration that was explained by its deformation in city at the condition of upper mantle. Obtained results are important for understanding of mutual correlation crust-mantle problems and ore forming processes, which were demonstrated by investigation of the ore structures of Kirovograd mega block of the Ukrainian Shield.*

**Keywords:** alpinotype ultrabasite rocks, olivine, gold, uranium, isotopic composition, Altai-Sayan folded region, Kirovograd ore district, Ukrainian Shield.