

УДК 552.3 + 551.14

Е.М. Шеремет<sup>1</sup>, Е.В. Седова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт геохимии, минералогии и рудообразования  
им. Н.П. Семеново НАН Украины  
03680, г. Киев-142, Украина, пр. Акад. Палладина, 34  
E-mail: EvgSheremet@yandex.ru

<sup>2</sup>Донецкий национальный технический университет (ДонНТУ)  
85300, г. Покровск, Украина, пл. Шибанкова, 2

## ПЕТРО- И ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОТЕРОЗОЙСКИХ И ФАНЕРОЗОЙСКИХ РЕДКОМЕТАЛЛЬНЫХ ГРАНИТОВ

На основании петрогеохимического сопоставления редкометалльных гранитов протерозойской тектономагматической активизации с редкометалльными гранитами более поздних временных интервалов (фанеро- и мезозойского) делается вывод об их тождественности. Но между ними существуют различия в металлогенической специализации. Для древних редкометалльных гранитов с редкоземельной специализацией они обусловлены, по мнению авторов, вовлечением в процесс субдукционного магмообразования океанических пелагических осадков, богатых редкоземельными элементами. Редкометалльные граниты фанеро- и мезозойской тектономагматической активизации с редкометалльной минерализацией (олово-молибден-вольфрамовой) образовались в процессе рифтогенного растяжения за счет подтока мантийных флюидов с более глубинных горизонтов мантии.

*Ключевые слова:* фанерозой, мезозой, редкометалльные граниты, петрогеохимические особенности, области тектономагматической активизации, редкометалльные провинции мира.

**Введение.** Сравнение вещественного состава редкометалльных гранитоидов областей протерозойской тектономагматической активизации (ТМА) с редкометалльными гранитами областей фанеро- и мезозойской ТМА имеет смысл в плане выяснения тождества и различия проявлений магматизма в пределах древних щитов и в обстановке растяжения континентальных рифтовых систем (Нигерия, Запад и Восток Африки, кайнозой северо-запада США, Забайкалье и др.). В конечном итоге такое сравнение позволит ответить на вопрос, что главенствует в формировании редкометалльной специфики заключительных стадий рассматриваемых эпох ТМА. Или это глубинный мантийный источник рудообразующих флюидов, или рудообразование определяется в большей мере составом переработанного субстрата (наличием в нем повышенных концентраций рудных компонентов, экстрагируемых в процессе расплавления и уходящих во флюиды).

С редкометалльными гранитами областей фанеро- и мезозойской ТМА связаны оловянные, олово-вольфрамовые, молибденовые, молибден-вольфрамовые, редкометалльные (тантал-ниобиевые и бериллиевые) и редкоземельные месторождения и рудопроявления.

Месторождения этих металлов в различных регионах мира приурочены к гранитоидам орогенного или субсеквентного магматизма. Сравнение между собой редкометалльных гранитов мира областей протеро-, фанеро- и мезозойской ТМА в случае их тождественности дает ответ на вопрос о подобии процессов рудообразования на орогенных этапах заключительного развития регионов Земли. И, следовательно, рассматриваемое оруденение определяется глубинными мантийными источниками. Если же между ними существуют различия, то рудообразование определяется преимущественно составом переработанного субстрата.

Так как петрогеохимическое сравнение редкометалльных гранитов протерозойской ТМА различных регионов приведено в работе [9],

то в настоящей статье оно детально не рассматривается.

**Редкометалльные граниты некоторых редкометалльных провинций мира. Мезозойские граниты Забайкалья.** Описание редкометалльных гранитов Забайкалья дается по работе Е.М. Шеремет и В.Д. Козлов [11].

Все Забайкалье разделено глубинным Монголо-Охотским разломом на две части. В Забайкалье есть два огромных металлогенических пояса: молибденовый в Западном и олово-вольфрамовый в Восточном. К редкометалльным гранитам в Западном Забайкалье относится юрский гуджирский комплекс, а в Восточном Забайкалье — юрские комплексы: кукульбейский, харалгинский, асакан-шумиловский. Редкометалльные граниты Забайкалья представлены лейкократовыми и аляскиотовыми разностями с содержанием SiO<sub>2</sub> от 73,2 до 76,9 % и K<sub>2</sub>O + Na<sub>2</sub>O — 8,1—8,9 %.

Камерная дифференциация в редкометалльных гранитах Забайкалья происходила главным образом за счет накопления летучих (фтора, бора) в апикальных частях массивов и сопровождалась раскислением состава и накоплением редких элементов — рубидия, лития, бериллия, олова, молибдена, вольфрама, тантала, ниобия. Редкометалльные граниты характеризуются по отношению ко всем предшествующим рассматриваемым образованиям более высокой концентрацией рубидия, бериллия, лития, олова, молибдена, вольфрама, более высокой железистостью биотитов и примерно одинаковым уровнем содержания всех остальных редких элементов (табл. 1).

Рассмотрение геохимических особенностей гранитов редкометалльных провинций мира выполнено на примере: Западной Европы (Рудные Горы, Центральный Французский массив, п-ов Корнуолл); Восточно-Австралийского пояса; Нигерийского пояса (север Африки). Принцип выбора именно этих регионов определялся, прежде всего, их геохимической изученностью по данным зарубежных публикаций. По ряду остальных редкометалльных провинций приведен лишь краткий обзор особенностей магматизма.

Из общего обзора распределения значимых поясов редкометалльного олово-, молибдено-вольфрамового, бериллиевого оруденения в мире очевидна приуроченность большинства из них к окраинам континентов на границе с океанами.

Главные проявления позднепалеозойского магматизма известны: в грабене Осло (щелочной вулcano-плутонический комплекс); в Юго-Восточной Англии (олово-вольфрамовые гранитоиды провинции п-ова Корнуолл); в Центральном и Армориканском массивах Франции с редкометалльной минерализацией; в Германии и Чехии — редкометалльные граниты Рудных Гор; в Чешском массиве — интрузии гранодиорит-гранитного состава.

Рассмотрим петрогеохимические особенности редкометалльных гранитоидов ряда редкометалльных провинций.

**Герцинская редкометалльная провинция запада Европы (Рудные Горы, п-ов Корнуолл, Центральный Французский массив).** Рудные Горы (Германия и Чехия), согласно [35, 36]. Рудногор-

Таблица 1. Геохимическая характеристика редкометалльных гранитов Забайкалья (усредненные данные), по Е.М. Шеремет и др. [11]

Table 1. Geochemical characteristics of rare-metal granites of Transbaikalia (average data), by Ye.M. Sheremet, and others [11]

%			г/т										
Na	K	F	Li	Rb	Be	Sr	Ba	B	Sn	W	Mo	Zn	Pb
Западное Забайкалье — гуджирский комплекс ( $J_2$ – $J_3$ ), граниты лейкократовые молибденоносные													
2,2	4,0	0,04	50	170	4,0	130	200	~80	2,1	4,6	~17	17	25
Граниты лейкократовые													
3,1	3,8	0,09	52	270	4,8	170	500	17	4,4	2,1	1,8	43	20
Восточное Забайкалье — харалгинский комплекс ( $J_2$ – $J_3$ ), граниты лейкократовые порфиroidные													
2,8	4,1	0,28	72	360	8,5	90	260	17	9,7	3,7	~3,5	40	31
кукульбейский комплекс ( $J_2$ – $J_3$ ), граниты биотитовые порфиroidные													
2,7	3,6	0,10	120	300	7,0	180	450	35	10,0	5,8	~3	42	38

ский плутон вытянут с юго-запада на северо-восток и имеет размеры 60 × 150 км. Только 20 % его площади находится под наносами.

В петрологическом отношении плутон неоднороден, состоит из нескольких интрузивных фаз в ранге комплексов, один из которых (горский, *gorskij*) образовался раньше, другой (рудогорский, *rudogorskij*) позже [35, 36]. Время их становления — от верхнего карбона до нижней перми (305—240 млн лет). В оловорудных месторождениях, связанных с рудогорскими гранитами, часто встречается вольфрам, но чисто вольфрамовые месторождения ассоциируют только с горскими гранитами.

Олово-вольфрамовая минерализация приурочена к грейзеновым телам (штокам), штокверкам, жилам и т. д. Минеральные ассоциации в них таковы: сульфидно-касситерит-хлоридная, касситерит-турмалиновая, касситерит-амфиболовая, касситерит-циннвальдит-топазовая, касситерит-мусковит-топазовая. В Западных Рудных горах проявлено еще оруденение вольфрам-молибденовой (вольфрамит-молибденит-пирит-кварцевые жилы) формации [17, 36].

Пояс оловянных месторождений и рудопроявлений протягивается от Восточных Рудных гор к Фогланду и далее. В длину он достигает 180 км при ширине 25 км. Концентрированное

расположение оловорудных месторождений связывается с куполовидными выступами плутона [36].

Согласно [36], по минеральному и химическому составу рудогорские и горские граниты не различаются. Они содержат, %: кварц — 29—36, калиевые полевые шпаты — 27—40, плагиоклазы — 20—36, биотит — 3—5, мусковит — 1—6.

Различия между ними проявлены в химическом составе темных слюд. Слюды горских гранитов имеют железистость в интервале 57—70 %, содержание  $Li_2O$  — 0,2—0,5; рудогорские граниты, соответственно, — 81—95; 0,7—2,0 % (табл. 2). Различия между рассматриваемыми гранитами четко проявлены в особенностях их редкометалльного состава (табл. 3).

Из табл. 3 видно, что от ранних к поздним фазам в рудогорских гранитах происходит увеличение концентрации фтора, лития, рубидия, олова, в то время как в горских гранитах содержание олова постоянно, содержание рубидия возрастает. Рудогорские граниты имеют значительно более высокое, чем горские, содержание фтора, бериллия, лития, рубидия, олова и более низкое — хрома, никеля, галлия. Но по отношению к кларковым горские граниты имеют также более высокое содержание бериллия, лития, рубидия, олова и хрома при кларковом или ниже него содержании фтора.

Таблица 2. Химический состав слюд горских и рудогорских гранитов

Table 2. Chemical compositions of the micas of the Gorsky and Erzgebirge granites

Компонент	Горские граниты							Рудогорские граниты					
	Кирхбергский массив			Бергенский массив		Рандмассивы		Промежуточный	Айбенштокский массив			Крупка	
	к/з порфи-ровид-ные	м/з-с/з	м/з	с/з порфир. двуслю-дьяные	м/з	м/з-с/з	с/з двуслю-дьяные		м/з-с/з двуслю-дьяные	к/з	с/з	м/з	Пегматит
SiO <sub>2</sub>	34,3	34,5	34,5	34,0	33,2	33,8	35,8	34,9	37,3	38,3	40,2	38,1	42,4
TiO <sub>2</sub>	3,6	3,3	2,8	2,6	2,6	3,43	2,02	2,7	1,4	1,1	0,9	0,6	0,06
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,8	16,8	17,6	17,3	18,6	18,0	21,1	19,8	22,3	22,4	21,7	21,4	22,3
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9,2	7,5	7,6	7,2	8,5	7,8	8,9	5,8	4,0	4,1	3,3	2,6	2,6
FeO	13,0	13,5	17,1	14,7	15,5	14,7	12,8	17,2	16,5	15,1	13,4	18,4	14,0
MnO	0,58	0,6	0,46	0,75	0,85	0,48	0,41	0,27	0,27	0,23	0,23	0,6	0,36
MgO	8,7	7,5	4,9	5,1	6,3	7,8	4,9	2,9	2,1	1,6	1,7	2,2	0,19
CaO	1,4	1,1	1,6	1,6	0,75	1,9	1,6	1,0	0,84	0,94	1,01	0,25	0,74
Na <sub>2</sub> O	0,2	0,25	0,19	0,4	0,21	0,22	0,21	0,23	0,3	0,22	0,22	0,23	0,23
K <sub>2</sub> O	7,4	7,6	7,0	6,9	7,0	6,5	5,6	7,7	8,8	8,9	9,3	7,7	8,5
H <sub>2</sub> O	0,23	0,46	0,54	0,5	0,38	0,23	0,35	0,75	1,06	1,64	1,9	1,3	2,03
F	1,08	1,4	1,3	1,02	1,34	0,71	0,96	1,72	3,16	4,0	4,9	3,7	4,37
Fe/Fe + Mg	27,5	62,6	73,0	70,0	67,0	61,0	69,5	81,5	85,0	87,0	83,3	84,5	94,7
Число проб	6	5	1	6	2	6	5	5	15	6	7	2	3

Среди аксессуарных минералов в рудогорских гранитах установлены, мас. % (приведено к 100 %): топаз — 65—94, флюорит — 3,1—20,0, циркон — 0,6—6,2; в горских гранитах: топаз отсутствует, флюорит — 0,2—0,6, циркон — 17—20.

Рассмотренные комплексы гранитов Рудных Гор, несомненно, являются редкометалльными в геохимическом отношении гранитами. В.И. Коваленко [5], Тишендорф и др. [36] относят рудогорские граниты к литий-фтористому геохимическому типу, горские — к редкометалльным гранитам стандартного геохимического типа. В соответствии с классификацией Л.В. Таусона [10], рудогорские граниты наиболее соответствуют палингенным редкометалльным плюмазитовым гранитам, а горские — редкометалльным палингенным гранитам щелочного ряда; согласно М.И. Кузьмину [7], горские граниты следует отнести к геохимическому типу гранитов латитового ряда.

Соответственно, если сравнивать граниты Рудных Гор с редкометалльными гранитами областей ТМА, то рудогорские граниты отвечают гранитам литий-фтористого типа: мезозойским Забайкалья — кукульбейскому, харалгинскому, асакан-шумиловскому комплексам; протерозойским запада Восточно-Европейской платформы — каменномогильским, лезниковским, пержанским гранитам Украинского щита (УЩ); салминским, штока Эурайоки, штока Кюми Балтийского щита [23]. Горские граниты отвечают гранитам стандартного геохимического типа: мезозойским в Забайкалье — гуджирскому комплексу, протерозой-

ским запада Восточно-Европейской платформы — ювоайвскому комплексу Кольско-го п-ова.

*П-ов Корнуолл (Юго-Западная Англия).* Массивы редкометалльных оловоносных гранитов на п-ове Корнуолл (Cornwall) по геофизическим данным интерпретированы как выступы Корнубийской интрузии, вытянутой в восток-северо-восточном направлении на 220 км при ширине 50—150 км и на глубине, прослеженной до 8—20 км [28, 29, 33].

Массивы сложены биотитовыми порфировидными и протолитионитовыми адамеллитами и лейкогранитами. Абсолютный возраст гранитов — 300—280 млн лет [28]. В завершающую стадию формирования гранитных массивов произошло внедрение даек эльванов (калиевые-, турмалинсодержащие кварцевые порфиры и фельзиты), возраст которых составляет  $269 \pm 8$  млн лет [29]. Соответственно, двум этапам гранитообразования на п-ове Корнуолл отвечают два типа оруденения. С биотитовыми протолитионитовыми адамеллитами и лейкогранитами связывают оруденение касситерит-вольфрамит-кварцевой формации преимущественно штокверкового, а также жильного типов с преобладающей вольфрамитовой минерализацией [26]. С дайками эльванов связано образование касситерит-силикатно-сульфидной формации, оказавшейся наиболее значимым промышленным типом оруденения.

По петрохимическим параметрам редкометалльные граниты п-ова Корнуолл тождественны гранитам Рудных Гор [26—29].

Таблица 3. Химический состав и содержание редких элементов в гранитах фаз горского комплекса (ДГ) и рудогорского комплекса (МГ), включая промежуточные оловоносные граниты (ПГ), по [36]

Table 3. Chemical composition and content of rare elements in granites of the phases of the complex Gorsky (ДГ) and Erzgebirge complex (МГ), including intermediate tin-bearing granites (ПГ), by [36]

Фаза	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	F	Be	Cr	Ga	Li	Ni	Rb	Sn
<i>Рудогорские граниты</i>														
ДГ-3	74,5	0,06	0,13	0,4	3,5	4,6	0,7	11	12	32	600	2	1200	35
ДГ-2	73,4	0,06	0,15	0,6	3,5	4,2	0,6	11	4	33	600	3	1300	40
ДГ-1	74,8	0,10	0,15	0,5	3,5	4,6	0,5	10	3	26	400	3	900	25
ПГ-2	74,0	0,18	0,33	0,5	3,2	4,4	0,3	11	4	24	240	3	550	28
ПГ-1	73,4	0,17	0,22	0,5	3,7	5,0	0,2	7	5	25	190	3	460	25
<i>Горские граниты</i>														
МГ-3	75,6	0,13	0,30	0,8	3,4	4,6	0,04	6	2	14	80	3	400	10
МГ-2	73,6	0,25	0,40	1,0	3,3	4,5	0,07	6	8	20	150	5	340	14
МГ-1	71,4	0,44	1,10	1,6	3,4	4,3	0,09	5	10	17	110	7	220	12
Кларк, по [2]	74,3	0,20	0,26	0,7	3,5	5,1	0,09	3	4	17	40	8	170	—

Эльваны имеют очень низкое содержание натрия 0,5—0,1 %. Считается [27], что они образуются из флюидов, насыщенных рудными компонентами и ответственных за формирование оловоносного оруденения.

Граниты массивов характеризуются повышенным содержанием фтора (0,1—0,38 до 1,2—1,4 % в отдельных лейкогранитах и аплитах); лития — 120—700 г/т, в некоторых разностях — 1300—2400; олова — 13—54; вольфрама — 9—30; рублидия — единичные определения (700); стронция — единичные определения (180); бария — единичные определения (150); бора — 300—900, иногда до 1400 г/т [16, 27, 33].

Содержание олова в протолитионитах составляет 36—32 г/т; вольфрама — 40—98; в мусковитах — олова — 306—66, вольфрама — 78—115 г/т [16].

Специфическая геохимическая особенность редкометалльных гранитов провинции Корнуолл — чрезвычайно высокое содержание фтора и бора, что выражается в развитии в гранитах акцессорного топаза и турмалина, вплоть до появления жильных турмалиновых гранитов.

Из геохимической характеристики видно, что редкометалльные граниты п-ова Корнуолл юго-запада Англии относятся к типичным литий-фтористым гранитам и подобны литий-фтористым (рудогорским) гранитам Рудных Гор (Германия и Чехия). Соответственно, они подобны литий-фтористым гранитам областей протерозойской тектономагматической активизации.

*Северо-западная часть Центрального Французского массива Франции.* Согласно [13, 19], западная часть Центрального Французского массива, в которой рудная минерализация ассоциирует с кислым магматизмом, имеет площадь 200 × 100 км. Абсолютный возраст гранитоидов составляет, млн лет: 530—550; 400; 360—340; 325—315; 300—285.

В северо-западной части Французского массива на основании происхождения, глубины формирования, геохимических и минералогических характеристик выделяются три группы лейкогранитов.

Наиболее интересной с точки зрения редкометалльности оказалась третья группа "ксенолейкогранитов", сформировавшихся в конце каменноугольного периода — гипабиссальных и аллохтонных. Площадь массивов колеблется от 300 до 100 км<sup>2</sup>, иногда менее 10 км<sup>2</sup>. К гранитам третьей группы приурочено большинство оловорудных месторождений. Последние

представлены двумя типами. Первый — внутригранитные зоны в верхних частях массивов с концентрацией бериллия до 20 г/т. Второй — кварцевые месторождения вольфрама во внешней ореольной зоне массивов. Основная оловянная минерализация связана с фазой альбитизации. Это кварцевые жилы с вольфрамом и оловом в контактах с вмещающими породами, калиевые и натрий-калиевые пегматиты с бериллом и внутригранитные жилы с вольфрамом и оловом [13, 19].

Породы редкометалльных гранитов однотипны по минералогическому и петрохимическому составу. Они сложены, %: кварцем — 35, калишпатом — 30, плагиоклазом — 25, биотитом — примерно 3, мусковитом — 6,6 [13, 19]. Субщелочные ксенолейкограниты, соответственно, содержат: Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O — 7,7—8,5 % и SiO<sub>2</sub> — 72—73 [13, 19].

Содержание редких элементов приведено в табл. 4, из которой видно, что лейкограниты Центрального Французского массива тождественны двум типам гранитов Рудных Гор Германии и Чехии — "горские" сопоставляются с "монцолейкогранитами", а "рудогорские" — с "ксенолейкогранитами". Ксенолейкограниты — это литий-фтористые граниты (по [5]).

Соответственно, сопоставляются с ними однотипные редкометалльные граниты областей протеро- и мезозойской тектономагматической активизации.

**Восточно-Австралийский пояс редкометалльных месторождений (провинции Блю-Тир, Новая Англия, Харбертон, Куктаун, Западная Тасмания)** протягивается вдоль восточного побережья Австралии — от мыса Йорк на севере до о-ва Тасмания на юге.

Это область герцинской складчатости шириной в 200—300 км и протяженностью около 3500 км [37]. По простиранию пояса локализован ряд рудных районов (Чиллагоэ, Харбертон, Кетонг, Кинг, Ренисон Белл и др.) вольфрамового и оловянного оруденения. В пределах пояса установлены разновозрастные металлогенические зоны — палеозойская, пермо-триасовая и поздне меловая [12]. Граниты слагают до 25 % площади пояса. Их формирование, так же, как и редкометалльных олово-вольфрамовых месторождений, связывается с орогенно-посторогенным этапом [21, 22, 30, 32]. Гранитоиды представлены двумя типами — гранодиоритами и биотитовыми адамеллитами-лейкогранитами.

В Восточно-Австралийском редкометалльном поясе выделяется ряд провинций олово-вольфрамового и олово-молибден-вольфрамового оруденения.

Таблица 4. Среднее содержание редких элементов и фтора в лейкогранитах Центрального Французского массива, по [19], г/т

Table 4. The average content of rare elements and fluorine in the leucogranites in the French Central massif [19], ppm

Элемент	Массив				
	Жоншер (LaSonchere) n = 5	Блонд (Blond) n = 42	Коллет (Colletes) n = 2	Гранд-Рош (Grand-Roch) n = 1	
	Порода				
	Мусковитовые	Двуслюдяные		Двуслюдяные с турмалином	
F	4180	5250	3556	3100	3850
Sn	48	67	143	151	164
Li <sub>2</sub> O	960	2100	1916	1070-	1080
Rb	—	—	—	15	—
Be	23	29	20,6	—	—
B	40	49	35	—	276
W	—	—	—	—	163
Pb	29	23	17	—	—
Cu	—	40	—	—	—
Ga	—	—	—	—	—
Sr	—	15	—	—	—
Ba	—	120	—	—	—
V	10	6	—	—	—

Примечание. n — число проб.

Note. n — number of tests.

Таблица 5. Среднее содержание редких и щелочных элементов в гранитах интрузии Блю-Тир, по [22]

Table 5. The average content of rare and alkaline elements in granites of the Blue Tier batolith, by [22]

Компонент	Двуслюдяные граниты					
	Констей-блес	Хоррор	Вильям	Каме-рон	Перис	Лоттах
	%					
Na <sub>2</sub> O	2,9	3,1	3,85	3,5	3,3	3,3
K <sub>2</sub> O	4,55	5,1	4,4	4,2	4,3	4,6
F	0,06	0,07	0,06	0,29	0,49	1,02
	г/т					
Li	35	85	45	138	220	160
Rb	440	470	435	958	962	1015
Ba	70	290	35	12	28	Н. д.
Sr	5	36	7	6	4	4
Sn	6	26	15	47	33	50
W	4	4	8	23	25	Н. д.
Zr	75	100	75	70	55	"

Примечание. Н. д. — нет данных.

Note. Н. д. — there are no data.

К наиболее богатым редкометалльным оловорудным провинциям относятся Харбертон и Блю-Тир (Тасмания). Гранитоиды изучены лучше всего в провинциях Блю-Тир (Тасмания) и Новая Англия.

Провинция Блю-Тир, северо-восток Тасмании. В зарубежной литературе наиболее полно в геохимическом отношении охарактеризованы рудоносные граниты массива Блю-Тир (Blue Tier) в северо-восточной Тасмании [21, 22, 31].

Оловоносные граниты представлены двуслюдяными олигоклаз-альбитовыми лейкогранитами с аксессуарной минерализацией — турмалином, топазом, флюоритом и касситеритом. Лейкограниты — самые молодые образования среди гранитов батолита, о чем свидетельствуют резкие рвущие контакты. Оловянная и олово-вольфрамовая минерализация приурочена к мусковит-биотитовым гранитным интрузиям, главным образом к массивам Перис (Peris) и Лоттах (Lottah). Представлена она штокверковыми телами грейзенов, жилообразными и трубчатыми грейзеновыми зонами, кварц-вольфрамит-касситеритовыми жилами.

В петрохимическом отношении биотитовые граниты/адамеллиты, слагающие основную часть массива Блю-Тир, являются субщелочными (Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O = 7,7 %) лейкогранитами (SiO<sub>2</sub> = 73,5 %). От слюдяных редкометалльных лейкогранитов они отличаются несколько более высоким содержанием железо-магнезиальных компонентов (FeO + MgO) и относительно пониженным содержанием кремнезема.

Редкометалльные лейкограниты характеризуются субщелочным составом (Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O = 7,9—8,3 %) и высоким содержанием SiO<sub>2</sub> — 75—77,8 %.

Биотиты гранит-адамеллитов массива Блю-Тир имеют железистость лейкогранитов (f = 95—98 %). Исключение составляют только двуслюдяные граниты массива Хоррор, железистость биотитов которых приближается к железистости биотитов адамеллитов.

Из табл. 5 видно, что редкометалльные лейкограниты разделяются по содержанию редких элементов и фтора на две группы. Редкометалльные лейкограниты с высоким содержанием фтора характеризуются типичной для литий-фтористых гранитов повышенной концентрацией лития, рубидия, олова, вольфрама в породах и биотитах и пониженной — стронция и бария. Редкометалльные лейкограниты с пониженным содержанием фтора имеют по-

вышенное по отношению к кларковому в гранитах и биотитах содержание лития, рубидия, олова, вольфрама и, вполне вероятно, являются глубоко эродированными массивами литий-фтористых гранитов. Этот вывод подтверждают довольно значительные колебания содержания редких элементов по вертикали в пределах массивов литий-фтористых гранитов.

Двуслюдяные граниты массива Блю-Тир о-ва Тасмания — это литий-фтористые граниты и группа массивов с высоким содержанием фтора тождественна литий-фтористым гранитам Рудных Гор (рудогорские граниты), п-ова Корнуолл (юго-запад Англии), ксенолейкогранитам центрального Французского массива, кукульбейскому, харалгинскому, асаканшумиловскому комплексам Забайкалья, пержанским, каменно-могильским, лезниковским гранитам УЩ, житковичским гранитам Белорусского кристаллического массива, салминским, штока Эурайоки массива Лайтила, штока Кюми Выборгского массива Балтийского щита.

*Провинция Харбертон.* Согласно [34], представляет собой наиболее важный в промышленном отношении оловорудный район. Он занимает площадь около 15 000 км<sup>2</sup>. Интенсивное гранитообразование здесь происходило в течение верхней перми и нижнего карбона.

Гранитный батолит провинции Харбертон имеет сложное строение и содержит большое количество отдельных плутонических тел гипабиссальных интрузий. Адамеллиты (субщелочные граниты) и лейкограниты — последовательные фазы батолита, хотя обнаружены и кварцевые диориты и гранодиориты. Среди вулканитов преобладают риолиты и риодациты с потоками туфов.

Оловорудные месторождения связываются со специфической интрузией Элизабет Крик (*Elizabeth Creek*), но несомненна связь их и с другими гипабиссальными интрузиями.

Согласно [34], рудная минерализация локализована в экзоконтактовых ореолах гранитных интрузий. Выделяются две фазы минерализации: ранняя олово-вольфрамовая с грейзенами и кварцевыми жилами и более поздняя свинцово-цинковая с сульфидно-турмалин-хлорит-кварцевыми жилами и трубчатыми телами.

К сожалению, в литературе отсутствуют данные о геохимических особенностях гранитоидов. Можно только предполагать, по аналогии

с провинцией Блю-Тир (Тасмания), что они подобны литий-фтористым гранитам.

*Провинция Куктаун, Северный Квисленд* расположена в северо-восточном окончании Ходкинского складчатого пояса, где распространена небольшая группа посторогенных пермских гранитоидов [34].

Оруденение приурочено к контактовым частям. Главный тип оруденения — группы кварц-турмалиновых жил, ассоциирующих с богатыми турмалином гранитами и аплитами. Месторождения олова (типа Блю-Тир) также связаны с гидротермально измененными гранитами, в которых присутствует вольфрамит, а сульфиды редки.

Граниты мало изучены, но, несомненно, подобны литий-фтористым гранитам провинции Блю-Тир.

*Западно-Тасманийская провинция* является относительно небольшим, но важным оловорудным районом Австралии, в который входят такие известные копи, как Рэнисон (*Renison*) и Кливленд (*Cleveland*) [34].

Девонские гранитоиды представлены в районе небольшими отдельными интрузиями. Главные породные типы — адамеллиты, но несколько куполов сложены апофизами гранитов и их дайками.

Согласно [34], рудная минерализация представлена: изолированными сульфидно-касситеритовыми рудными телами, которые встречены в участках контактов гранитных куполов с доломитами Рэнисон, Кливленд, Бишофф (*Mt. Bishoff*); мелкими кварц-турмалиновыми жилами в гранитах Химскек (*Heemskirk*) с сульфидным свинцово-цинковым оруденением с ведущей цинковой минерализацией. В районе Химскек выделены три типа гранитов: Ред, Вайт А. и Вайт В. Граниты Вайт — наиболее поздние дифференциаты гранитной интрузии. В петрохимическом отношении это субщелочные ( $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} = 7,5\text{—}8,5\%$ ) лейкограниты ( $\text{SiO}_2 = 74\text{—}76\%$ ). Они обладают высоким содержанием рубидия — 330 до 544 г/т и, соответственно, низким К/Rb отношением. С гранитами Вайт ассоциируют касситерит и турмалин.

Из этого краткого описания гранитов Химскек Западной Тасмании можно сделать вывод, что они ближе всего к гранитам литий-фтористого типа.

*Нигерийский пояс редкометалльных гранитов (север Африки).* Главное оловянное и ниобиевое оруденение локализовано в районах плато

Джос, Баучи. Пояс продолжается далее к северу через весь Нигер. Это рудоносные массивы молодых гранитов — Чуни Зарницкий, Гуре, а на севере Аир (рудные районы Тарауджи, Эль-Мека) с оловянным оруденением в кварц-мусковитовых грейзенах и кварцевых жилах [12].

Формирование Нигерийского редкометалльного пояса происходило в условиях еще не раскрывшегося рифта на его пересечении с разломами северо-восточного и северо-западного простирания [38]. Считается [14], что в северной нераскрытой части рифта происходило сводообразование в результате раскрытия рифтовой системы в ее южной части. Наиболее легкоплавкие силикатные компоненты, которые выплавлялись из мантии [15], концентрировались под образованным сводом, способствуя магмообразованию. По мнению В.И. Коваленко [5], образование Нигерийского редкометалльного пояса и провинций Зиндер и Аир могло происходить раньше раскрытия Атлантики в условиях растяжения на всем протяжении рифтовой системы. Именно этим можно объяснить близость силикатных пород Нигерийской редкометалльной провинции и современных рифтовых систем.

В геохимическом отношении в Нигерийском редкометалльном поясе наиболее полно изучены граниты Молодой Гранитной Провинции (*Younger Granitic Province*) плато Джос, с которыми связано оруденение колумбита и касситерита, занимающее ведущее место в мировой добыче этого сырья [19].

Согласно [19], рудоносные граниты составляют комплекс Букуру (*Bukuru*), расположенный на севере центральной части плато Джос и занимающий площадь порядка 400 км<sup>2</sup>. Возраст гранитов определен как юрский (165 ± 3 млн лет).

Комплекс Букуру плато Джос в Нигерии — один из важнейших рудоносных комплексов

Молодой Гранитной Провинции. К нему приурочены наиболее важные и богатые в промышленном отношении месторождения касситерита и танталита-колумбита [19]. Доказана генетическая связь рудопроявлений касситерита и колумбита с этими гранитами.

Преобладающим породным типом комплекса Букуру служат биотитовые граниты. Они состоят, %: кварц — 28—35, калиевые полевые шпаты — 50—56, альбит — 5—10, биотит — 3, акцессорные минералы (флюорит, циркон, торит, ксенотим, колумбит) — 2.

По химическому составу биотитовые граниты комплекса Букуру плато Джос относятся к субщелочным ( $Na_2O + K_2O = 8,0-9,4\%$ ) лейкогранитам ( $SiO_2 = 74,8-76,0\%$ ) с низким содержанием кальция ( $CaO = 0,2-0,3\%$ ).

По редкоэлементному составу лейкограниты комплекса Букуру отвечают типичным литий-фтористым гранитам (табл. 6). Для них характерно высокое содержания фтора, лития, бериллия, олова, цинка, ниобия и низкое — бария и стронция, а также низкое значение отношения калия к рубидию и бария к рубидию.

Специфическая особенность редкометалльных литий-фтористых гранитов комплекса Букуру плато Джос Нигер — очень высокое содержание цинка, превышающее среднее для гранита в 2,5—4 раза. Как было рассмотрено нами ранее, ряд докембрийских литий-фтористых (пержанские, житковичские и др.) гранитов также обладают подобной геохимической особенностью — высоким содержанием цинка.

**Другие редкометалльные провинции мира.** Подобные рассмотренным выше граниты распространены и в других редкометалльных провинциях мира, где с ними связано большинство оловорудных, олово-вольфрамовых, тантал-ниобиевых и бериллиевых рудопроявлений. Можно отметить ряд характерных особенностей магматизма отдельных редкоме-

Таблица 6. Редкоэлементный состав лейкогранитов комплекса Букуру плато Джос, по [19]

Table 6. Trace-element composition of leucogranites of complex Bukuru Jos plateau, by [19]

Тип гранита	F	Li	Rb	Ba	Sr	Be	Sn	Pb	Zn	Nb	K/Rb	Ba/Rb
	%	ε/m										
Джос	0,34	50	433	285	24	5	10	18	150	81	105	0,87
Куру	0,25	50	413	129	5	5	4	13	240	159	103	0,38
Нгелл	0,23	71	563	77	7	14	17	20	164	177	69	0,13
Рэй	0,35	106	657	84	9	8	21	19	183	150	64	0,10
Букуру	0,35	100	687	73	7	8	18	26	162	133	62	0,10
Сабон	0,47	100	704	63	6	16	31	29	190	126	60	0,09



талльных поясов мира в дополнение к описанным.

*Кордильерский (Североамериканский) пояс* приурочен к зоне герцинской складчатости на севере и киммерийской, альпийской складчатостям на юге Северной Америки. Он вытянут вдоль Североамериканского континента от Аляски до Юкатана на 85 тыс. км [12]. Североамериканская редкометалльная провинция рассечена глубинными разломами Кордильер. В нее входят многочисленные рудные районы. Редкометалльное оруденение представлено молибденовым, бериллиевым, оловянным и др. Оно связано с юрско-меловыми и третичными интрузиями гранитоидного состава. Среди кислых эффузивов выделяются щелочноземельные литий-фтористые и частично комендитовые разности [5]. Формирование магматизма, в том числе и редкометалльных эффузивов, согласно Зоненшайну и др. [4], связано с раскрытием Калифорнийского залива, с характерным для рифтовых зон высоким тепловым потоком. Магматизм обусловлен подъемом к подошве коры крупного выступа астеносферы, как это считается свойственным рифтовым зонам.

*Восточноафриканский редкометалльный пояс* представляет собой типичную континентальную рифтовую систему, протягивающуюся вдоль юго-восточного края материка от Драконовых гор на юге до п-ова Сомали [12].

Для этой провинции характерны редкометалльные пантеллериты и комендиты — аналоги, по [5], щелочных гранитов, трахитов. Известны бериллиеносные пегматиты в древних допалеозойских гранитах с танталом, ниобием, литием и редкоземельными элементами — районы Лимпопо, Ньюпурт, Бикита, Бушвельд, Альто-Лигонья, Сомали и др. [12].

*Западноафриканский пояс.* Редкометалльная провинция вытянута вдоль края Африканского континента с юго-запада. Она охватывает складчатые пояса Маюмбе, Дамара, Кейс возрастом 580—1000 млн лет. В нее входят рудные районы с редкометалльными пегматитами (бериллий, литий, тантал, ниобий, редкоземельные элементы, олово). Карбонатитовые месторождения связываются с вулканоплутоническим комплексом Дамаринда послетриасового возраста [12].

*Центральноафриканский редкометалльный пояс* совпадает с одноименным грабеном складчатой системы Кибара, возраст которой 1050—

890 млн лет, в него входят рудные районы с оловом, вольфрамом, молибденом и бериллий-ниобиевым оруденением в виде грейзенов, кварцевых жил, пегматитов. Оруденение связывают с древними Кибаро-Урундийскими гранитами. Большое значение здесь также имеют карбонатитовые месторождения с пироксеном и апатитом в провинции Киву [12].

В заключительной табл. 7 приведено содержание редких элементов в редкометалльных гранитоидах разных временных эпох мира.

**Выводы.** Детальное рассмотрение редкометалльных гранитов в различных разновозрастных редкометалльных провинциях мира и сравнение их с редкометалльными гранитами областей ТМА свидетельствуют:

1. О существовании среди них двух геохимических типов — редкометалльных гранитов стандартного геохимического типа и редкометалльных литий-фтористых гранитов. Первые характеризуются умеренной концентрацией фтора, рубидия, лития, бериллия, олова, вольфрама (превышающим кларк для гранитов в 1,5—2 раза), умеренной железистостью биотитов ( $f = 50—70\%$ , железо-магнезиальные биотиты), пониженным содержанием стронция и бария (табл. 7). С ними преимущественно связывается редкометалльно-молибденовое и молибден-вольфрамовое, вольфрамовое оруденение. Вторые обладают резко повышенным содержанием фтора, лития, бериллия, олова, вольфрама (превышающим кларк для гранитов в 10—60 раз); высокой железистостью биотитов ( $f = 80—95\%$ , сидерофиллиты, лепидомеланы, протолитиониты) и резко пониженным содержанием стронция и бария. С ними связано преимущественно редкометалльное оловянное, олово-вольфрамовое оруденение.

2. Редкометалльные граниты областей ТМА протеро-, фанеро- и мезозойского возраста тождественны по вещественному и редкоэлементному составу редкометалльным гранитам мира (табл. 7).

3. Большинство редкометалльных провинций мира приурочено к окраинам континентов на границе их с океанами.

4. Редкометалльные граниты мира фанеро- и мезозойского возраста часто образуются в обстановках растяжения, соответствующих континентальным рифтовым системам (Нигерия, Запад и Восток Африки, кайнозой северо-запада США, Забайкалье и др.).

5. Наиболее часто редкометалльные граниты ассоциируют с субщелочными (монцитонитидными) гранитами, реже со щелочными магматитами (Нигерийская провинция).

6. Редкометалльные граниты областей протерозойской ТМА наиболее часто ассоциируют с гранитами формации рапакиви (Украинский, Балтийский щиты), реже с монцитонитидными гранитами (Белоруссия, Кольский п-ов) и субщелочными гранит-граносиенитами (Приазовский блок УЩ).

Для них не характерно широкое развитие молибден-вольфрамового и олово-вольфрамового оруденения. Напротив, как показано в работе [8], им присуще развитие редкометалльно-редкоземельной минерализации.

7. Формирование литий-фтористых гранитов фанерозойских редкометалльных провинций мира, мезозоя Забайкалья, субплатформенного протерозоя Восточно-Европейской платформы обусловлено, скорее всего, глубинными (подастеносферными) флюидами. Об этом говорят петрогеохимические особенности литий-фтористых гранитов: высокожелезистый состав биотитов, свидетельствующих о формировании гранитов в резко восстановительных условиях; тождественность редкоэлементного состава этих гранитов начиная с протерозоя и до настоящего времени.

8. Вне всякого сомнения, существуют различия между рудной специализацией редкометалльных гранитов протерозойской ТМА и бо-

Таблица 7. Среднее содержание химических элементов в редкометалльных гранитах [20]  
Table 7. The average content of chemical elements in rare-metal granites [20]

Элемент	Литий-фтористые граниты									Редкометалльные стандартные граниты				
	СССР				Другие страны					СССР		Другие страны		
	Mz		Протерозой (1,7–1,6 млрд лет)		C <sub>3</sub> –P <sub>1</sub>	C <sub>3</sub> –P <sub>1</sub>	C <sub>3</sub>	D <sub>3</sub>	I <sub>2</sub>	Mz	PR <sub>2</sub>	C <sub>3</sub> –P <sub>1</sub>	C <sub>3</sub>	P <sub>1</sub>
	Забайкалье	Белоруссия	УЩ	Балтийский щит	Рудные Горы (Германия, Чехия)	Корнуолл (Англия)	Франция	Тасмания (Австралия)	Нигерия	Зап. Забайкалье	Кольский п-ов	Рудные горы	Франция	Тасмания (Австралия)
	%													
K	3,9	3,9	3,7	4,2	3,6	4,3	3,5	3,6	4,0	4,0	4,0	3,6	4,0	3,85
Na	2,7	2,8	2,6	2,5	2,6	2,3	2,6	3,3	3,2	3,1	2,5	2,5	2,5	2,2
F	0,2	0,14	0,2	0,83	0,46	0,3	0,3	0,6	0,33	0,135	—	0,07	0,098	0,14
	г/т													
Li	89	42	163	742	406	445	578	172	68	69	—	110	193	95
Rb	317	222	580	11	882	700	—	978	494	314	300	320	303	365
Be	7,3	9,4	9,4	104	10	—	17,5	—	7,3	5,5	—	5,7	5,8	—
Ba	376	196	46	40	100	150	245	20	101	424	535	290	347	—
Sr	138	74	59	34	12	180	23	5	8	136	100	91	60	7,5
Sn	9,5	11,5	9,9	—	30,6	25	81	43	14,6	5	16	12	31	9
Mo	2,3	2,1	4,1	—	—	—	—	—	2,7	—	—	—	—	—
Pb	31,0	57	68	—	22	—	27	—	18	22	122	38	38	—
Zn	44,0	231	79	—	39	—	—	—	156	52	—	50	—	—
V	—	14,4	3,6	—	—	—	8,6	—	—	9	12	—	7,7	—
Cu	—	17	6	—	5,6	—	—	—	—	10	10	6,7	—	—
Co	—	6	2,8	—	—	—	—	—	—	5	—	—	—	—
Ni	—	12	5	—	3	—	—	—	—	6	12,5	5	—	—
K/Rb	123	175	61	57,0	41	61	—	—	80	127	133	113	132	—
Ba/Rb	1,2	0,9	0,08	0,14	0,11	0,21	—	—	0,2	1,3	1,4	0,9	1,01	—
n	3889	39	109	1787	по (1)	по (2)	по (3)	по (4)	по (5)	163	по (6)	по (7)	по (8)	по (9)
f, %	80–95	86	85–95	91–97	85–95	95	—	95–98	—	35–60	53	57,5–70,0	—	72

Примечание. n — число проб; f — железистость биотитов по публикациям (в скобках ссылка): 1 — Тишendorf и др. [36]; 2 — Холл [26], Хевкис и др. [29], Алдертон и др. [16], Стоун [33]; 3 — Бюрнолл [13, 19]; 4 — Гровс [22]; 5 — Боудэн и др. [18]; 6 — Батиева и др. [3]; 7 — Великославинский и др. [1]; Хаапала [24, 25, 33]; 9 — Козлов [6].

Note. n — the number of tests; f — iron of biotite by publications (reference in circles): 1 — Tishendorf et al. [36]; 2 — Hall [26], Hevkis et al. [29], Alderton et al. [16], Stoun [33]; 3 — Byurnoll [13, 19]; 4 — Grovs [22]; 5 — Bouden et al. [18]; 6 — Batieva et al. [3]; 7 — Velikoslavinskiy et al. [1]; Haapala [24, 25, 33]; 9 — Kozlov [6].

лее молодых эпох ТМА. Редкоземельная специализация древних редкометалльных гранитов, скорее всего, вызвана вовлечением в процесс субдукционного магмообразования океанических пелагических осадков, богатых редкоземельными элементами (Сорохтин). В фане-

ро- и мезозойской ТМА редкометалльные граниты образовывались в процессе рифтогенного растяжения, что приводило к подтоку мантийных флюидов из более глубоких горизонтов мантии. В этом и состоит их отличие от редкометалльных гранитов протерозойского ТМА.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Анортозит-рапакивигранитная* формация Восточно-Европейской платформы / Д.А. Великославинский, А.П. Биркис, О.А. Богатиков; Отв. ред. Ф.П. Митрофанов. — Л. : Наука, 1978. — 296 с.
2. *Виноградов А.П.* Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных горных пород // *Геохимия*. — 1962. — № 7. — С. 560—561.
3. *Гранитоидные* формации докембрия северо-восточной части Балтийского щита / И.Д. Батиева, И.В. Бельков, В.Р. Ветрин, А.Н. Виноградов, Г.В. Виноградова, М.И. Дубровский. — Л. : Наука, 1978. — 264 с.
4. *Зоненшайн Л.П., Кузьмин М.И., Моралев В.П.* Глобальная тектоника, магматизм и металлогения. — М. : Недра, 1976. — 231 с.
5. *Коваленко В.И.* Петрология и геохимия редкометалльных гранитоидов. — Новосибирск : Наука, 1977. — 208 с.
6. *Козлов В.Д.* Геохимия и рудоносность гранитоидов редкометалльных провинций. — М. : Наука, 1985. — 303 с.
7. *Кузьмин М.И.* Геохимия магматических пород фанерозойских подвижных поясов. — Новосибирск : Наука, 1985. — 198 с.
8. *Редкометалльные* граниты Украинского щита (петрология, геохимия, геофизика и рудоносность) / Е.М. Шеремет, С.Г. Кривдик, Е.В. Седова; Ред. А.Н. Пономаренко, А.В. Анциферов. — Донецк : Ноулидж, 2014. — 250 с.
9. *Седова Е.В., Шеремет Е.М.* Сравнение протерозойских редкометалльных гранитов УЩ с протерозойскими редкометалльными гранитами мира // *Наук. пр. Донецьк. нац. техн. ун-ту. Сер. Гірн.-геол.* — 2014. — Вип. 1 (20). — С. 38—48.
10. *Таусон Л.В.* Геохимические типы и потенциальная рудоносность гранитоидов. — М. : Наука, 1977. — 279 с.
11. *Шеремет Е.М., Козлов В.Д.* Петрология, геохимия и рудоносность гранитоидов молибденового пояса Забайкалья. — Новосибирск : Наука, 1981. — 132 с.
12. *Щерба Г.Н.* Грейзеновые месторождения // *Генезис эндогенных рудных месторождений*. — М. : Недра, 1968. — С. 378—442.
13. *Acid granites and associated mineralization in the North-Western part French Central massif* / L. Burnol, A. Autran, J.P. Bonnici, J. Geffroy // *Excursion guide book C, IGCP, Metallization Associated with Acid Magmatism*. — Karlovy Vary, Czechoslovakia, Paris, France : BRGM, 1974. — No 26. — P. 116—205.
14. *Ajakaiye D.E.* A gravity measurement interpretation of the Liruel Younger Granite ring complex of Northern Nigeria // *Geol. Mag.* — 1968. — **105**. — P. 256—263.
15. *Ajakaiye D.E.* Gravity measurement over the Nigerian Younger Granite Province // *Nature*. — 1973. — **225**. — P. 50—52.
16. *Alderton D.H.M., Moore F.* New determinations of tin and tungsten in granites from South-west England // *Miner. Mag.* — 1981. — **244**, No 335. — P. 354—356.
17. *Banewitz P.* Remarks concerning the development of the Erzgebirge pluton // *Metallization associated with acid magmatism*. — 1978. — **3**. — P. 159—167.
18. *Bowden P., Jones J.A.* Mineralization in the Younger Granite Province of Northern Nigeria // *Metallization associated with acid magmatism*. — 1978. — **3**. — P. 179—190.
19. *Burnol L.* Different types of leucogranites and classification of the types of mineralization associated with acid magmatism in the French Massif Central // *Metallization associated with acid magmatism*. — 1978. — **3**. — P. 191—203.
20. *Flinter B.H., Hesp W.R., Rigby D.* Selected geochemical, mineralogical and petrological features of granitoids of the New England complex, Australia and relation to Sn, W, Mo and Cu mineralization // *Econ. Geol.* — 1972. — **67**, No 8. — P. 1241—1268.
21. *Groves D.J.* The geochemical evolution of tin-bearing granite in the Blue Tier batholith, NE Tasmania // *Econ. Geol.* — 1972. — **67**, No 4. — P. 445—457.
22. *Groves D.J.* Vertical geochemical zonation tin-bearing granite sheets, Blue Tier batholith, NE Tasmania // *Metallization associated with acid magmatism*. — 1978. — **3**. — P. 205—215.
23. *Haapala J., Ojanperä P.* Gentelvite-bearing greisens in Southern Finland // *Geol. Surv. Finland. Bull.* — 1972. — **259**. — P. 5—22.
24. *Haapala J.* Some petrological and geochemical characteristics of rapakivi granites varieties associated with greisens-type Sn, Be and W mineralization in the Eurajoki and Kumi areas Southern Finland // *Metallization associated with acid magmatism*. — 1974. — **7**. — P. 159—169.
25. *Haapala J.* Petrographic and geochemical characteristics of rapakivi granite variety associated with greisens-type Sn, Be and W mineralization in the Eurajoki and Kumi areas, Southern Finland // *Metallization associated with acid magmatism*. — 1978. — **3**. — P. 217—225.

26. Hall A. Greisenization of the granite of Gligga Head Cornwall // Proc. Geol. Assoc. — 1971. — **82**. — P. 209—230.
27. Hall A. Geochemical des granites varisques du Sud-Ouest de L'Augleterre // Bull. Soc. geol. France. — 1973. — **15**, No 3—4. — P. 229—238.
28. Hawkes J.R. Volcanism and metallogenesis. The tin province of South-West England // Bull. Geol. Surv. Great Britain. — 1974. — **38**, No 4. — P. 1125—1146.
29. Hawkes J.R., Harding R.R., Darbyshire D.P.F. Petrology and Rb/Sr age of the Brannel, South Crofty and Wherry Elvan dykes Cornwall // Bull. Geol. Surv. Great Britain. — 1975. — No 52. — P. 27—42.
30. Hesp W.R., Rigby D. Aspects of tin metallogenesis in the Tasman geosynclines, eastern Australia, as reflected by cluster and factor analyses // J. Geochem. Explor. — 1975. — **4**, No 3. — P. 331—347.
31. Imeokparia Ebo Gab. Ore-bearing potential of Granitex rocks from the Jos-Bucuru complexes, Northern Nigeria // Chem. Geol. — 1980. — **28**. — P. 69—77.
32. Solomon M., Groves D.J., Klominsky J. Metallogenic provinces and districts in the Tasman orogenic zone of eastern Australia // Proc. Austral. Inst. Mining and Met. — 1972. — No 242. — P. 9—24.
33. Stone M. Structure and petrology of the Tregonning-Goldophin granite, Cornwall // Proc. Geol. Assoc. — 1975. — **86**, No 2. — P. 155—170.
34. Taylor R.G. Five tin provinces in eastern Australia approach to the classification in genesis of tin deposits // Metallization associated with acid magmatism. — 1978. — **3**. — P. 43—55.
35. Tischendorf G., Friese G., Shindler R. Die Duncrngrimmer der westergebirgish-vogtlandischen Granite und ihre Bedeutungspetro genetische and metallogenetische indikatoren // Geologie. — 1969. — **18**, No 9. — P. 384—399, 1024—1044.
36. Tischendorf G., Shust F., Lange H. Relation between granites and tin deposits in the Erzgebirge, GDR // Metallization associated with acid magmatism. — 1978. — **3**. — P. 123—137.
37. White A.J.R., Chappel B.W., Cleary I.R. Geologic setting and emplacement of some Australian Paleozoic Batholiths and implications for intrusive mechanism // Pasif. Geol. — 1974. — No 8. — P. 159—171.
38. Wright J.B. South Atlantic continental drift the Benue Trough // Tectonophysics. — 1969. — **6**. — P. 301—310.

Поступила 10.02.2016

## REFERENCES

1. Velikoslavinskij, D.A., Birkis, A.P. and Bogatkov, O.A. (1978), *Anortozit-rapakivi granitnaya formaciya Vostochno-Evropejskoj platformy*, in Mitrofanov, F.P. (ed.), Nauka, Leningrad, 296 p.
2. Vinogradov, A.P. (1962), *Geohimiya*, No 7, pp. 560-561.
3. Batieva, I.D., Bel'kov, I.V., Vetrin, V.R., Vinogradov, A.N., Vinogradova, G.V. and Dubrovskiy, M.I. (1978), *Granitoidnye formacii dokembriya severo-vostochnoj chasti Baltijskogo shchita*, Nauka, Leningrad, 264 p.
4. Zonenshajn, L.P., Kuz'min, M.I. and Moralev, V.P. (1976), *Global'naya tektonika, magmatizm i metallogeniya*, Nedra, Moskva, 231 p.
5. Kovalenko, V.I. (1977), *Petrologiya i geohimiya redkometal'nyh granitoidov*, Nauka, Novosibirsk, 208 p.
6. Kozlov, V.D. (1985), *Geohimiya i rudonosnost' granitoidov redkometal'nyh provincij*, Nauka, Moskva, 303 p.
7. Kuz'min, M.I. (1985), *Geohimiya magmaticeskikh porod fanerozojskikh podvizhnyh poyasov*, Nauka, Novosibirsk, 198 p.
8. Sheremet, E.M., Kryvdik, S.G. and Sedova, E.V. (2014), *Redkometal'nye granity Ukrainського shchita (petrologiya, geohimiya, geofizica i rudonosnost)*, in Ponomarenko, O.M. and Antsiferov, A.V. (eds), Noulidzh, Donetsk, Ukraine, 250 p.
9. Sedova, E.V. and Sheremet, E.M. (2014), *Nauk. pr. Donets'k. nacional. tekhnich. Univ., Ser. Girn.-geol.*, Donetsk, Vyp. 1 (20), pp. 38-48.
10. Tauson, L.V. (1977), *Geohimicheskie tipy i potencial'naya rudonosnost' granitoidov*, Nauka, Moskva, 279 p.
11. Sheremet, E.M. and Kozlov, V.D. (1981), *Petrologiya, geohimiya i rudonosnost' granitoidov molibdenovogo poyasa Zabajkal'ya*, Nauka, Novosibirsk, 132 p.
12. Shcherba, G.N. (1968), *Genezis endogennyh rudnyh mestorozhdenij*, Nedra, Moskva, pp. 378-442.
13. Burnol, L., Autran, A., Bonnici, J.P. and Geffroy, J. (1974), *Acid granites and associated mineralization in the North-Western part French Central massif, Excursion guide book C, IGCP, Metallization Associated with Acid Magmatism*, BRGM, Karlovy Vary, Czechoslovakia, Paris, France, No 26, pp. 116-205.
14. Ajakaiye, D.E. (1968), *Geol. Mag.*, Vol. 105, pp. 256-263.
15. Ajakaiye, D.E. (1973), *Nature*, Vol. 225, pp. 50-52.
16. Alderton, D.H.M. and Moore, F. (1981), *Miner. Mag.*, Vol. 244 No 335, pp. 354-356.
17. Banewitz, P. (1978), *Metallization associated with acid magmatism*, Vol. 3, pp. 159-167.
18. Bowden, P. and Jones, J.A. (1978), *Metallization associated with acid magmatism*, Vol. 3, pp. 179-190.
19. Burol, L. (1978), *Metallization associated with acid magmatism*, Vol. 3, pp. 191-203.
20. Flinter, B.H., Hesp, W.R. and Rigby, D. (1972), *Econ. Geol.*, Vol. 67 No 8, pp. 1241-1268.
21. Groves, D.J. (1972), *Econ. Geol.*, Vol. 67 No 4, pp. 445-457.
22. Groves, D.J. (1978), *Metallization associated with acid magmatism*, Vol. 3, pp. 205-215.
23. Haapala, J. and Ojanperä, P. (1972), *Geol. Surv. Finland. Bull.*, Vol. 259, pp. 5-22.

24. Naapala, J. (1974), *Metallization associated with acid magmatism*, Vol. 7, pp. 159-169.
25. Naapala, J. (1978), *Metallization associated with acid magmatism*, Vol. 3, pp. 217-225.
26. Hall, A. (1971), *Proc. Geol. Assoc.*, Vol. 82, pp. 209-230.
27. Hall, A. (1973), *Bull. Soc. geol. France*, Vol. 5 No 3-4, pp. 229-238.
28. Hawkes, J.R. (1974), *Bull. Geol. Surv. Great Britain*, Vol. 38 No 4, pp. 1125-1146.
29. Hawkes, J.R., Harding, R.R. and Darbyshire, D.P.F. (1975), *Bull. Geol. Surv. Great Britain*, No 52, pp. 27-42.
30. Hesp, W.R. and Rigby, D. (1975), *J. Geochem. Explor.*, Vol. 4 No 3, pp. 331-347.
31. Imeokparia, Ebo Gab (1980), *Chem. Geol.*, Vol. 28, pp. 69-77.
32. Solomon, M., Groves, D.J. and Klominsky, J. (1972), *Proc. Austral. Inst. Mining and Met.*, No 242, pp. 9-24.
33. Stone, M. (1975), *Proc. Geol. Assoc.*, Vol. 86 No 2, pp. 155-170.
34. Taylor, R.G. (1978), *Metallization associated with acid magmatism*, Vol. 3, pp. 43-55.
35. Tischendorf, G., Friese, G. and Shindler, R. (1969), *Geologie*, Vol. 18 No 9, pp. 384-399, 1024-1044.
36. Tischendorf, G., Shust, F. and Lange, H. (1978), *Metallization associated with acid magmatism*, Vol. 3, pp. 123-137.
37. White, A.J.R., Chappel, B.W. and Cleary, I.R. (1974), *Pasif. Geol.*, No 8, pp. 159-171.
38. Wright, J.B. (1969), *Tectonophysics*, Vol. 6, pp. 301-310.

Received 10.02.2016

Є.М. Шеремет <sup>1</sup>, О.В. Седова <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення  
ім. М.П. Семененка НАН України  
03680, м. Київ-142, Україна, пр. Акад. Палладіна, 34  
E-mail: EvgSheremet@yandex.ru

<sup>2</sup> Донецький національний технічний університет (ДонНТУ)  
85300, м. Покровськ, Україна, пл. Шибанкова, 2

#### ПЕТРО- І ГЕОХІМІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ПРОТЕРОЗОЙСЬКИХ І ФАНЕРОЗОЙСЬКИХ РІДКІСНОМЕТАЛЕВИХ ГРАНИТІВ

За результатами петрогеохімічного зіставлення рідкіснометалевих гранітів протерозойської тектоно-магматичної активзації з рідкіснометалевими гранітами пізніших часових інтервалів (фанеро- й мезозойського) зроблено висновок про їхню тотожність. Але між ними є відмінності у металогенічній спеціалізації. Для древніх рідкіснометалевих гранітів із рідкісноземельною спеціалізацією вони обумовлені, на думку авторів, залученням у процес субдукційного магноутворення океанічних пелагічних осадків багатих на рідкісноземельні елементи. Рідкіснометалеві граніти фанеро- та мезозойської тектоно-магматичної активзації з рідкіснометалевою мінералізацією (олово-молібден-вольфрамовою) утворилися у процесі рифтогенного розтягування за рахунок підтікання мантийних флюїдів із більш глибоких горизонтів мантиї.

**Ключові слова:** фанерозой, мезозой, рідкіснометалеві граніти, петрогеохімічні особливості, області тектоно-магматичної активзації, рідкіснометалеві провінції світу.

Ye. M. Sheremet <sup>1</sup>, E. V. Sedova <sup>2</sup>

<sup>1</sup> M.P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy  
and Ore Formation of the NAS of Ukraine  
34, Acad. Palladina Pr., Kyiv-142, Ukraine, 03680  
E-mail: EvgSheremet@yandex.ru

<sup>2</sup> Donetsk National Technical University (DonNTU),  
2, Shibankova Square, Pokrovsk, Ukraine, 85300

#### PETROGEOCHEMICAL AND GEOCHEMICAL FEATURES OF PROTEROZOIC AND PHANEROZOIC RARE-METAL GRANITES

A detailed consideration of rare-metal granites in various rare-metal provinces of different ages all over the world and their comparison with rare-metal granites from the areas of tectono-magmatic activation indicates an existence of two different types of rare-metal granites, that include rare-metal granites of the "standard" geochemical type, and rare-metal Li-F granites. The first type is characterized by moderate concentrations of F, Li, Be, Sn, and W (concentrations of these elements are 1.5–2 times higher than the clarke value), moderate iron content in biotite ( $f = 50–70\%$ , Fe-Mg biotite), and low concentrations of Sr and Ba. Rare-metal-Mo, Mo-W, and W ores are usually linked to this type of granites. The rare metal granites of the second type have extremely high concentrations of F, Li, Be, Sn, W (concentrations of these elements are 10–60 times higher than the clarke value for granite), high iron content in biotite ( $f = 80–95\%$ , siderophillite, lepidomelane, protolithionite), and sharply decreased concentrations of Sr and Ba. This type of granites is typically linked to rare-metal-Sn and Sn-W mineralization. The rare-metal granites of the areas of tectono-magmatic activation of Proterozoic, Phanerozoic, and Mesozoic ages are identical, with respect to their composition, to rare-metal granites of the world. Most of the rare-

metal provinces in the world are confined to the continental margins along their borders with oceans. The rare-metal granites of the Phanerozoic and Mesozoic ages occur often in an extension setting that corresponds to the continental rift systems (Nigeria, West and East Africa, Cenozoic of the northwestern USA, Trans-Baikal area, etc.). Most often the rare-metal granites worldwide associate with sub-alkaline (monzonitic) granites, less often — with alkaline igneous rocks (Nigeria province). The rare-metal granites of the areas of the Proterozoic tectono-magmatic activation associate predominantly with granites rapakivi (Ukrainian and Fennoscandian Shields), rarely with monzonitic granites (Belarus, the Kola Peninsula), and sub-alkaline granites and granosyenites (Azov terrain of the Ukrainian Shield). These are not widely linked to Mo-W and Sn-W mineralization. By contrast, they are characterized by rare-metal-REE mineralization. The formation of the Li-F granites of the Phanerozoic rare-metal provinces worldwide, of the Mesozoic of the Trans-Baikal area, of the subplatformal Proterozoic of the East European craton is likely related to the depth (subasthenospheric) fluids. There are several geochemical lines of evidences in favor of this assumption, which include high iron content in biotites that indicates the sharply reducing conditions, the identity of the trace element composition of these granites irrespective of their age (from Proterozoic until now). There are, however, certain differences between the ore mineralization of granites that belong to the Proterozoic areas of tectono-magmatic activation, and Phanerozoic granites. The REE specialization of the ancient rare-metal granites is likely caused by the involvement of the REE-rich pelagic oceanic sediments into the process of magma generation in the zones of subduction. The Phanerozoic and Mesozoic rare-metal granites in the areas of tectono-magmatic activation were formed in the course of rift-related extension that resulted in inflow of mantle fluids from the deeper mantle horizons.

*Keywords:* Phanerozoic, Mesozoic, rare-metal granites, geochemistry, areas of tectono-magmatic activation, rare-metal provinces worldwide.