

УДК 552.331 (477.62)

## Закономерности распределения Y, PЗЭ, редких металлов и фтора в гранитах Каменномогильского комплекса (Восточное Приазовье)

Седова Е. В.

*Донецкий национальный технический университет, Донецк, Украина*

Поступила в редакцию 05.07.10, принята к печати 15.10.10.

### Аннотация

Гранитные массивы каменномогильского комплекса (возраст ~1,8 млрд. лет) характеризуются уникальной металлогенической специализацией, сочетающей редкометальные (Nb, Ta, Li, Be) рудопроявления с Y-PЗЭ минерализацией. Выделены два типа гранитов комплекса: роговообманковые ( $\pm$ биотит) иттрий-редкоземельные, бедные F и редкими металлами, и высокодифференцированные биотитовые ( $\pm$ мусковит) литий-фтористые редкометальные, но обедненные Y и PЗЭ. Их сочетание обусловило специфическую редкометально-редкоземельную специализацию комплекса.

Ключевые слова: каменномогильский комплекс, граниты роговообманковые, граниты биотитовые и двуслюдяные, геохимия, иттрий-редкоземельная минерализация, редкометальная минерализация, литий-фтористые граниты, минералы-концентраторы, апогранитные породы.

В строении гранитного каменномогильского комплекса Восточного Приазовья принимают участие четыре небольших массива: Каменные Могилы, Екатерининский, Ново-Янисольский и Стародубовский (площадь выходов от 4 до 30 км<sup>2</sup>). Они представлены штокообразными телами – типичные трещинные интрузии, приуроченные к зонам крупных разломов и к пересечениям разломов. Все массивы прорывают гнейсово-мигматитовые толщи архея. Наиболее точные изотопные датировки комплекса дают возраст около 1,8 млрд. лет [11]. К данному комплексу также относят многочисленные дайки кварцевых порфиров и гранит-порфиров, прорывающие породы рамы массивов. Также выделяются мелкие сателлитные штоки и ряд закрытых тел, выявленные по геофизическим данным и единичным скважинам. В строении массивов комплекса принимают участие как неизмененные гранитоиды, так и породы, возникшие в результате их метасоматической переработки.

Массивы каменномогильского комплекса характеризуются уникальной металлогенической специализацией. Это проявляется в сочетании редкометального (Nb, Ta, Li, Be) рудопроявления в пегматитах, грейзенах, апогранитных породах с иттрий-редкоземельными в микроклин-мусковит-альбитовых апогранитах [10]. Причем, Y-PЗЭ оруденение в Стародубовском и Екатерининском массивах, по данным поисково-разведочных работ, приближается по своим масштабам к промышленному.

В работах [2, 8] было показано, что в массивах комплекса широко развиты породы, отвечающие геохимическому типу литий-фтористых редкометальных гранитов. Они представлены биотитовыми и двуслюдяными гранитами, в которых постоянно присутствует флюорит (в среднем 0,4 вес.% по данным количественного анализа протолочек), а также топаз (в среднем 0,2 вес.%). Оба минерала находятся в гранитах как в виде рассеянной вкрапленности, образованной по структурным и химическим признакам на магматической стадии, так и в виде жил, шпир и гнезд в постмагматических образованиях (грейзены, кварц-флюоритовые жилы и т.п.). Следует отметить, что широкое развитие позднемагматических и постмагматических-

метасоматических образований представляет собой характерную особенность массивов гранитов литий-фтористого типа [3, 4].

Для гранитов этого типа закономерно наличие рудопоявлений и месторождений Nb, Ta, Li, Be, Sn, W. Классические примеры редкометальных Li-F гранитов приведены в работе [9]. Это, в частности, мезозойские формации Монголо-Охотского пояса (Забайкалье, Монголия и др.) и герцинские – Центральной Европы (Рудные горы, Центральный массив Франции). В этих случаях редкометальные литий-фтористые граниты целиком слагают небольшие массивы. Для нас представляют особый интерес протерозойские граниты данного типа с редкометальной специализацией в составе крупных плутонов рапакиви Балтийского щита, где они образуют самые поздние магматические фазы [13]. Однако иттрий-редкоземельное оруденение для данного типа гранитов в любых его разновидностях совершенно не характерно.

В чем же особенность ситуации в массивах каменномогильского комплекса, где пространственно сближены или даже совмещены проявления Y-Yb и Nb-Ta-Li-Be-Sn-W минерализации? Для ответа на этот вопрос необходимо учесть тот факт, что полученные выводы в указанных выше работах [2, 8] основывались главным образом на данные по обнаженным частям массивов. Особенно массива Каменные Могилы, рассматриваемого обычно в качестве петротипного для данного комплекса. Практически не были учтены результаты поисковых работ, проводившихся на массивах в 1960-1990-х гг., в ходе которых массивы были разбурены многочисленными скважинами до глубин 100-200 м от поверхности.

Поисковыми работами было установлено, что на относительно глубоких горизонтах массивов Каменные Могилы, Екатериновского и Стародубовского широко развиты роговообманковые и биотит-роговообманковые граниты, а также количественно подчиненные им граносиениты, отличные по химизму от гранитов литий-фтористого типа. Причем, в Ново-Янисольском массиве эти породы преобладают и на поверхности.

Автором было предпринято сравнительное изучение геохимии и особенностей вещественного состава в целом двух указанных групп гранитов каменномогильского комплекса: биотитовых и двуслюдяных, отнесенных в работах предшественников [2, 9, 10] к Li-F типу с одной стороны, и роговообманковых и биотит-роговообманковых – с другой. Главный акцент делался при этом на сопоставление концентраций Y, лантаноидов, F, Zr, Nb, Ta, Li, Be в гранитах каждой из этих групп. Для указанных целей использовались только первично-магматические разности гранитов существенно не измененные наложенными процессами. Последние, как отмечалось нами в предыдущей работе [6], в массивах каменномогильского комплекса включают по классификации [5] позднемагматические преобразования, отвечающие фельдшпатолитовой формации и постмагматические-метасоматические, отвечающие грейзеновой формации, с характерными для этих образований типами минерализации.

Критерии, по которым разбракованы первично-магматические разности, с одной стороны, и позднемагматические и постмагматические с другой, были разработаны автором ранее [6]. Это количественно-минералогический состав пород, петрохимические критерии, минеральные парагенезисы, реакционные взаимоотношения минералов, псевдоморфные замещения и структурные особенности пород.

Для выполнения этой работы было использовано более 300 разнообразных анализов: количественных и полуколичественных спектральных, химических (петрохимия и редкие металлы), рентген-флюоресцентных (для РЗЭ) и др., а также данные количественно-минералогического анализа протолок (для аксессуариев) и изучения шлифов.

Кратко охарактеризуем главные особенности вещественного состава гранитов обеих выделенных выше групп.

Роговообманковые ( $\pm$ биотит) граниты от биотитовых и двуслюдяных отличаются заметно более высоким содержанием калишпата (порядка 45% по сравнению с 25 - 30% в слюдяных); количество плагиоклаза (обычно – олигоклаз  $An_{15-28}$ ) в них заметно ниже, чем в слюдяных; альбит, как правило, отсутствует. Ассоциация аксессуарных минералов в роговообманковых ( $\pm$ биотит)

гранитах типична для щелочных гранитов (и щелочных пород в целом). Здесь преобладают минералы Zr: циркон (в среднем 245 г/т), еще больше циртолит (до 300 г/т); распространен ксенотим. Как правило, присутствуют ортит, сфен, фергюсонит, чевкениит. Флюорит встречается в этих породах редко, преимущественно в богатых биотитом разностях.

В биотитовых и двуслюдяных гранитах набор аксессуаров совсем иной. Здесь, как было отмечено выше много флюорита и топаза (в среднем 0,4 и 0,2 вес.% соответственно). Из минералов циркония присутствует только циртолит, причем в существенно меньших количествах, чем в роговообманковых гранитах (в среднем ~ 150 г/т). Довольно обычен колумбит-танталит, ильменит, встречаются литиевые слюды.

Различия между роговообманковыми и слюдястыми гранитами достаточно ясно выражены и на уровне главных петрогенных компонентов. Кроме того, отчетливые различия между указанными типами гранитов установлены в распределении иттрия, РЗЭ, фтора и редких металлов. Выявление этих сравнительных соотношений, которые варьируют в зависимости от степени переработанности процессами метасоматоза - основная цель данной работы (табл.1).

**Табл. 1.** Сравнительная петрохимическая и геохимическая характеристика роговообманковых и слюдяных гранитов каменноугольного комплекса

Характеристики	Роговообманковые (±биотит)	Биотитовые и двуслюдяные
Средние содержания главных петрогенных компонентов (вес.%) (n – число проб)	SiO <sub>2</sub> – 73,2; Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> – 13,1; FeO* – 2,05; CaO – 1,05; K <sub>2</sub> O – 4,65; Na <sub>2</sub> O/K <sub>2</sub> O – 0,73 (n = 16)	SiO <sub>2</sub> – 74, 9; Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> – 12,7; FeO* – 1,88; CaO – 0,78; K <sub>2</sub> O – 5,27; Na <sub>2</sub> O/K <sub>2</sub> O – 0,58 (n = 31)
Средние содержания фтора в породе (вес.%)	F – 0,22	<b>F – 0,56</b>
Средние содержания Y и редких земель (Σ TR), (г/т)	<b>Σ TR – 700</b> <b>Y – 280</b> <b>Yb – 30</b> <b>La – 140</b>	Σ TR – 170 Y – 13 Yb – 1 La – 30
Содержания (средние) редких металлов (г/т)	Li <sub>2</sub> O – 30 Rb <sub>2</sub> O – 290 BeO – 5 Ta – 15 Nb – 60	<b>Li<sub>2</sub>O – 270</b> <b>Rb<sub>2</sub>O – 950</b> <b>BeO – 30</b> <b>Ta – 45</b> <b>Nb – 290</b>

Руководствуясь полученными результатами можно сделать следующий вывод: распределение между выделенными группами гранитов иттрия и редких земель, с одной стороны, и редких металлов с другой, носит контрастный характер. Это выражается в том, что средние содержания иттрия и РЗЭ в роговообманковых гранитах существенно – часто на порядок, иногда и на два порядка выше, чем в биотитовых и двуслюдяных. Тогда как в распределении редких металлов наблюдается противоположная картина. Биотитовые и двуслюдяные граниты содержат в несколько раз более высокие их концентрации, чем роговообманковые и биотит-роговообманковые разности.

Содержания фтора в биотитовых и двуслюдяных гранитах характерны для литий-фтористого типа: типичные содержания F ~ 0,3 – 0,4 вес.% [3]. Необходимо отметить, что в протерозойских гранитах данного типа (в составе финских плутонов рапакиви), представляющих самые поздние фракции расплава, средние содержания фтора достигают 0,5 – 1 вес.% [13]. В то же время средние содержания F (~ 0,2 вес.%) в роговообманковых разностях каменноугольного комплекса близки к указанным гранитам более ранних фаз (также роговообманковых ± биотит) тех же протерозойских плутонов (0,1 – 0,15 вес.%).

Содержания редких металлов в гранитах литий-фтористого типа могут колебаться в очень широких пределах. Это объясняется тем, что в рамках данного типа существуют специализированные подтипы на разные группы редких металлов. Так, например, средние содержания Li могут колебаться от 80 до 340 г/т [3]. В нашем случае эта величина составляет 270 г/т. В целом, средние содержания редких металлов в биотитовых и двуслюдяных гранитах находятся в том диапазоне значений, который характерен для литий-фтористого типа.

В предыдущих исследованиях [7] нами было показано, что состав гранитов каменноугольного комплекса, в сущности, отвечает гранитам А-типа [12]. Выделенные нами два типа гранитов представляют разные этапы кристаллизационной дифференциации исходного гранитоидного расплава. Литий-фтористые редкометальные биотитовые и двуслюдяные граниты являются наиболее высокодифференцированными конечными продуктами этого процесса, тогда как роговообманковые иттрий-редкоземельные кристаллизовались на более ранней его стадии. Роговообманковые и биотит-роговообманковые граниты залегают во всех случаях на более глубоких горизонтах массивов, чем биотитовые и биотит-мусковитовые разности. Вследствие чего, они должны считаться более ранними продуктами кристаллизации расплава, чем последние. На это указывают и их петрографические отличия – смена более основного плагиоклаза более кислым, параллельно со сменой роговой обманки биотитом, а затем и мусковитом.

Эволюционные тренды, аналогичные установленному в массивах каменноугольного комплекса известны в массивах рапакиви [13], также принадлежащих А-типу.

Увеличение концентраций редких металлов, вплоть до уровня рудных, в процессе дифференциации рассматривается в настоящее время как общий механизм генезиса оруденения в редкометальных гранитах А-типа [1, 4]. В массивах каменноугольного комплекса формирование рудных концентраций, как редких металлов, так и У-РЗЭ, продолжается и в постмагматический этап. В особенности это характерно для иттрий-редкоземельного оруденения, связанного с телами апогранитных микроклин-мусковит-альбитовых пород, развившихся по роговообманковому и биотит-роговообманковому гранитам.

Позднемагматические и постмагматические процессы способствуют формированию общих геохимических ореолов У-РЗЭ и редких металлов, что находит свое подтверждение в массивах рассматриваемого комплекса [10]. Следует заметить, что в ходе этих процессов первично-магматические концентрации в породах редких земель и редких металлов могут увеличиваться в десятки и сотни раз. Однако преемственность по отношению к исходным породам сохраняется и в ходе наложенных преобразований.

Установленные автором закономерности распределения в гранитах разных типов У-РЗЭ и редких металлов дают возможность совмещения разных типов минерализации в массивах каменноугольного комплекса, а также объясняют различия в металлогенической специализации отдельных массивов.

Так, рудные тела У-РЗЭ минерализации Екатериновского и Стародубовского массивов, залегающие на более глубоких горизонтах, приурочены к биотит-роговообманковым гранитам и апогранитным породам. А для пород более высоких горизонтов восточного блока Каменные Могилы, напротив, характерна редкометальная минерализация в апогранитных породах по литий-фтористым гранитам, грейзенах и пегматитах.

### Библиографический список

1. Волкова Т.П. Роль процессов дифференциации в формировании месторождений полезных ископаемых // Доповіді НАНУ, 2003, №4, с.107-110.
2. Есипчук К.Е., Шеремет Е.М., Зинченко О.В. и др. Петрология, геохимия и рудоносность интрузивных гранитоидов Украинского щита. – Киев: Наукова думка, 1990. - 236 с.
3. Коваленко В.И. Петрология и геохимия редкометальных гранитоидов. – Новосибирск: Наука, 1977. – 198 с.
4. Костицын Ю.А. Накопление редких элементов в гранитах. Часть 2 // Природа. - 2000. - №2. С. 26-34.

5. Плющев Е.В., Шатов В.В. Геохимия и рудоносность гидротермально-метасоматических образований. – Л.: Недра, 1985. – 247 с.
6. Седова Е.В. Метасоматические критерии рудоносности гранитов каменногильского комплекса Приазовья // Наукові праці ДонНТУ. Сер. гірничо-геологічна. – 2008. – Вип.8 (136). – С. 189 – 194.
7. Седова Е. В. Каменногильский комплекс: граниты А-типа, их дифференциация и особенности металлогении // Збірник наукових праць НГУ №32 – Дніпропетровськ: РВК НГУ, 2009. – С.42-48.
8. Шеремет Е.М. Происхождение гранитоидов областей тектономагматической активизации запада Восточно-Европейской платформы // Изв. АН СССР: Сер. геол. – 1990. – №5 – С. 22-34.
9. Шеремет Е.М. Докембрийские редкометалльные граниты Украинского щита в сравнении с редкометалльными гранитами мира // Мінералогічний Журнал. – 2005. – Вип. 27, №3, С.50 – 56.
10. Шеремет Е.М., Стрекозов С.Н., Кривдик С.Г., Волкова Т.П. и др. Прогнозирование рудопроявлений редких элементов Украинского щита. – Донецк: „Вебер” (Донецкое отделение), 2007. – 220с.
11. Щербак Н.П., Бартницкий Е.Н. Реперные изотопные даты геологических процессов и стратиграфическая схема докембрия УЩ // Геохимия и рудообразование. - 1995. - №21. - С.3-24.
12. Eby G.N. The A-type granitoids: a review of their occurrence and chemical characteristics and speculations on their petrogenesis // Lithos. - 1990, 26. – P. 115-134.
13. Lukkari S. Magmatic evolution of topaz-bearing granite stocks within the Wiborg rapakivi granite batholith // Publications of the Department of Geology D12. - University of Helsinki, 2007. – P. 29.

© Седова Е. В., 2011.

### Анотація

Гранітні масиви кам'яногогильського комплексу (вік~1,8 млрд. років) характеризуються унікальною металогенічною спеціалізацією, що поєднує рідкіснометалеві (Nb, Ta, Li, Be) рудопрояви з Y-РЗЕ мінералізацією. Виявлено два типи гранітів комплексу: роговообманкові (±біотит) ітрій-рідкісноземельні, бідні на F та рідкісні метали, і високодиференційовані біотитові (±мусковіт) літій-фтористі рідкіснометалеві, але бідні на Y і РЗЕ. Їх сполучення обумовило специфічну рідкіснометалево-рідкісноземельну спеціалізацію комплексу.

Ключові слова: кам'яногогильський комплекс, граніти роговообманкові, граніти біотитові і двуслюдяні, геохімія, ітрій-рідкісноземельна мінералізація, рідкіснометалева мінералізація, літій-фтористі граніти, мінерали-концентратори, апогранітні породи.

### Abstract

Mezoproterozoic (~1,8 Ga) subalkalic peraluminous granites of Kamennye Mogily formation are characterized by unique rare metals - rare earth metallogeny. There are two subtypes of these granites: hornblend (±biotite) Y-TR rich granites, with low F and rare metals concentrations, and highly differentiated biotite (±muscovite) lithium-fluor rare-metalliferous (Nb, Ta, Li, Be) but Y-TR barren granites. The unique metallogeny of Kamennye Mogily magmatic formation caused by combination of these granite subtypes.

Keywords: Kamennye Mogily Complex, biotite and bimicaceous granites, Y – rare earth mineralization, rare metal mineralization, Li – fluoric granites, mineral-concentrator, apogranitic rocks