

Значительные экономические потери и экологический ущерб от карстовых провалов определяют необходимость глубокого изучения карста и выработки прогнозов его активности на этапах проектирования и эксплуатации сооружений.

### Библиографический список

1. Карст. – М: Мысль, 1981 – 214 с.
2. Гвоздецкий Н.А. Проблемы изучения карста и практика. – М.: Мысль, 1972. – 392 с.
3. Максимович Г.А. Основы карстоведения. – Пермь, 1969. - Т.2. – 529 с.
4. Максимович Г.А. Основы карстоведения. – Пермь, 1963. - Т.1. – 444 с.
5. Максимович Г.А. Карст. - М., 1960. - 115 с.
6. Соколов Д.С. Основные условия развития карста. – М.: Госгеолтехиздат, 1962. – 322 с.
7. Якуч Л. Морфогенез карстовых областей. – М.: Прогресс, 1979. – 388 с.
8. Чикишев А.Г. Методы изучения карста. – М., 1973. - 90 с.

© Рудоквас О.Н., Проскурня Ю.А., 2008

УДК 553.521 (477.62)

Инж. СЕДОВА Е.В. (Донецкий национальный технический университет)

### МЕТАСОМАТИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ РУДОНОСНОСТИ ГРАНИТОВ КАМЕННОМОГИЛЬСКОГО КОМПЛЕКСА ПРИАЗОВЬЯ

Граниты каменномогильского интрузивного комплекса пород Восточного Приазовья образуют 4 небольших массива: петротипный собственно Каменномогильский (площадь 11 км<sup>2</sup>), а также Екатериновский (30 км<sup>2</sup>), Ново-Янисольский (около 5 км<sup>2</sup>) и Стародубовский (около 4 км<sup>2</sup>). Все массивы расположены на относительно небольшой территории (около 40 км с севера на юг и около 20 км с запада на восток). Они прорывают гнейсовые толщи архея и приурочены к крупным разломам или пересечениям разломов.

По картировочным и геофизическим данным все массивы представляют собой неглубоко вскрытые куполовидные или штокообразные тела. В выходах на поверхность (или под подошву маломощного чехла мезо-кайнозойских отложений, как в Стародубовском массиве) представлены апикальные части массивов.

Наиболее надежные определения абсолютного возраста каменномогильских гранитов выполнены уран-свинцовым методом по циркону [1] – 1800 млн.лет. Породы этого комплекса близки по возрасту интрузивным образованиям габбро-сиенит-щелочногранитного Южно-Кальчикского комплекса (1800 млн.лет), а также щелочным и нефелиновым сиенитам Октябрьского комплекса (1750 млн.лет).

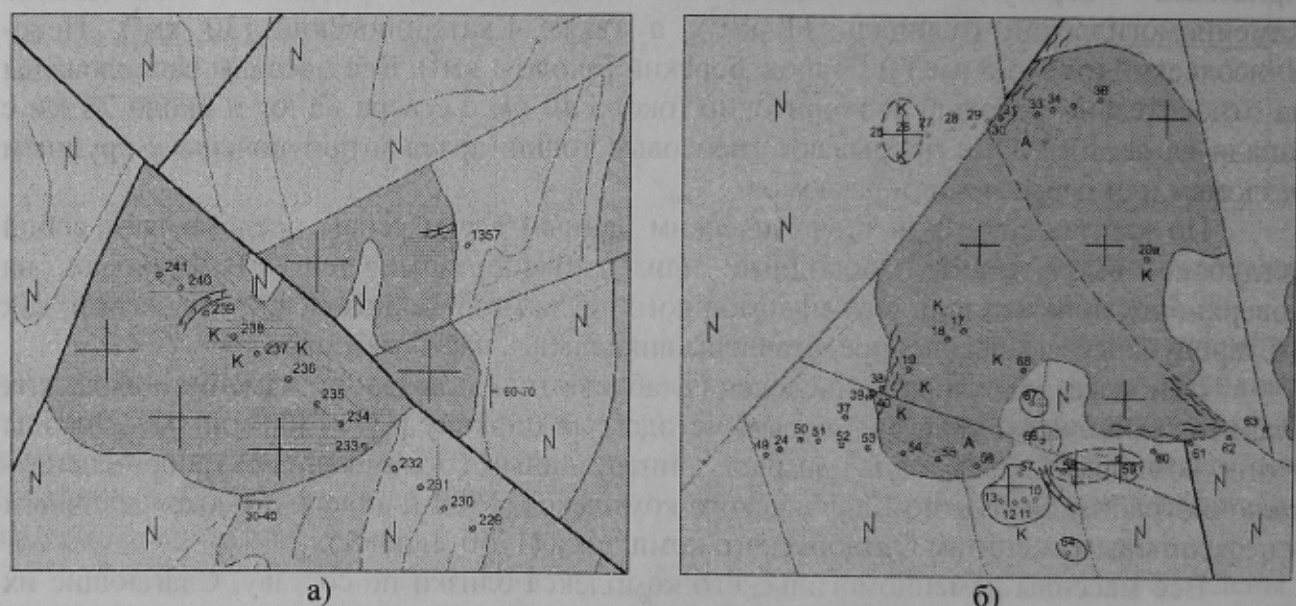
Все массивы каменномогильского комплекса близки по составу. Слагающие их первично-магматические разности представлены биотитовыми и, реже, амфибол-биотитовыми гранитами, с преобладанием К-На полевого шпата над плагиоклазом. Содержание темноцветных минералов в них обычно не превышает 5-7%. Это позволяет отнести их к лейкократовым, реже – мезократовым разностям, учитывая, что к нормальным гранитам относятся разности с 5–10% темноцветных [2].

В формационном отношении граниты данного комплекса – субщелочные высокоглиноземистые, калий-натровые лейкограниты со следующими характеристиками среднего состава: SiO<sub>2</sub>=73,1%, Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O=8,2%, al'=5,5. Они отвечают литий-фтористым редкометальным гранитам по классификации В.И.Коваленко [3]. Приазовские редкометальные граниты характеризуются типичными для этой формации повышенными содержаниями Li, Be, Sn, Nb, W [4]. Вместе с тем,

специфической особенностью каменноугольного комплекса является устойчивое сочетание редкометальной минерализации с редкоземельной Y–Yb. Причем иттриевые редкие земли здесь встречаются в концентрациях и масштабах, близких к промышленным (Екатериновский массив) и образуют перспективные аномалии на площади Каменноугольного (восточный блок) и Стародубовского массивов [5].

Содержания фтора и литофильных элементов в гранитах данного типа в целом в 3-5 раз выше кларкового для гранитов, а позднемагматическая дифференциация и постмагматические процессы перераспределения компонентов ведут к дальнейшему обогащению пород этими элементами. Различными исследователями отмечались повышенные содержания тех или иных рудных компонентов в различных жильных образованиях: в пегматитах, аплитах, дайках кварцевых порфиров и онгонитов, кварц-флюоритовых жилах. Нередко они наблюдаются и в различных эндоконтактовых, часто заведомо низкотемпературных образованиях. Например, в хлоритизированных и карбонатизированных апогранитах. Однако наиболее перспективными в пределах массивов являются зоны альбитизации и грейзенизации. Это относительно высокотемпературные позднемагматические и постмагматические преобразования гранитов, формирующие крупные площадные геохимические аномалии. Позднемагматические преобразования отвечают фельдшпатолитовой, а постмагматические – грейзеновой формации, с характерными для этих образований типами минерализации [6].

Автором изучались пространственные закономерности метасоматических изменений гранитов в шлифах из керна скважин в Стародубовском (рис. 1а) и Ново-Янисольском (рис. 1б) массивах.



- + - лейко-граниты биотитовые;
 -A- - лейко-граниты амфибол-биотитовые;
 +++ - гранит-порфиры, аплиты;
- n/n/n - пегматиты;
 ~ - милониты, катаклазиты;
 K K K - калишпатизация (аляскитовые и близкие к ним граниты, богатые микроклином);
- / / / - альбитизация;
 = - грейзенизация;
- h h h - гнейсы и мигматиты;
 v v v - диабазы;
 ⊕ - спутные тела;
 ⊕ - апофизы;
- 237 - точки опробования

Рис. 1. Геологическое строение Стародубовского (а) и Ново-Янисольского (б) массивов

В Стародубовском массиве изучались шлифы из керна скважин по профилю. Все шлифы отобраны с глубин 26-35 м и представляют современную поверхность незатронутых процессами выветривания пород массива под наносами и корой выветривания. В Ново-Янисольском массиве изучались шлифы из скважин, пробуренных в северной, западной, южной и восточной частях массива. Он включает помимо основного тела, разбуренные мелкие тела, расположенные к югу и северу от него. Некоторые из них (рис. 16) сложены полнокристаллическими гранитами («сателлитные» тела). Другие, более мелкие, жильными гранит-порфиrowыми, кварц-порфиrowыми разностями («апофизы»).

С первым массивом связана комплексная многоэлементная аномалия Y–Yb–Li–Sn–Nb–W, охватывающая всю площадь массива. Для Ново-Янисольского массива, хотя и известны отдельные точки редкометалльно-редкоземельной минерализации, подобной аномалии не установлено.

Наряду с указанными процессами альбитизации и грейзенизации, к числу широко проявленных в массивах метасоматических преобразований необходимо отнести и калишпатизацию, которая четко отмечена нами в шлифах.

К наиболее общим петрографическим признакам процессов калишпатизации, альбитизации и грейзенизации, которые проявлены в изучавшихся породах, относятся реакционные взаимоотношения минералов, псевдоморфные замещения и другие структурные особенности пород, а также количественно-минеральный состав пород.

В качестве неизменных, первично-магматических пород с учетом исследований предшественников [7] автором рассматривались граниты западного блока массива Каменные Могилы. Они обладают следующим устойчивым составом: кварц – 30%, альбит-олигоклаз – 30%, микроклин-пертит – 35%, биотит – 5-7%. Помимо выдержанного количественно-минерального состава они характеризуются гипидиоморфнозернистыми структурами и отсутствием реакционных взаимоотношений минералов, обусловленных описанными ниже метасоматическими процессами. Идентичны указанным и многие граниты Ново-Янисольского массива. Однако здесь, наряду с биотитом иногда присутствует и явно магматическая роговая обманка. Проявление метасоматических преобразований гранитов приводит к заметным изменениям количественно-минерального состава. Например, содержания микроклина могут возрастать до 50-55%, а плагиоклаза понижаться до 10%. Но в большинстве случаев, преобразования не приводят к формированию собственно метасоматитов, целиком или в существенной степени сложенных новообразованными минералами. Обычно они носят частичный характер: так, альбитизация не приводит к образованию собственно альбититов (>70% альбита), а для грейзенизации не характерны породы развитых зон грейзеновых колонок. По аналогии с хорошо обнаженным восточным блоком массива Каменные Могилы, где полевыми исследованиями установлено наличие, особенно в эндоконтактах, редких маленьких (до 10–25 см) линз кварц-мусковит-флюоритовых грейзенов, подобные образования могут быть и в изучавшихся массивах. Грейзенизация, наблюдаемая автором, была лишь частичной.

*Калишпатизация* (микроклинизация) проявлена наиболее заметно в виде замещения плагиоклаза, часто псевдоморфного, микроклин-пертитом. В калишпатизированных породах наблюдается также резко ксеноморфный микроклин, корродирующий зерна альбита (и кварца?), в интерстициях которых он развивается. Результатом калишпатизации является появление аляскитовых и приближающихся к ним разностей, в которых содержание альбита понижается до ~10%, а содержание микроклина возрастает до ~50-55%. Это – наиболее ранний из проявленных на площади массивов по петрографическим признакам процесс изменения пород.

Поскольку, альбитизация и грейзенизация часто накладываются на ранее микроклинизированные породы, но не наоборот. В калишпатизированных породах часто присутствует апатит, содержание которого в этих разностях выше, чем в других (~1% и более). В целом, ассоциация акцессорных минералов калишпатизированных гранитов, по данным наблюдения в шлифах и в протолочках, примерно та же, что и в неизмененных гранитах. Она представлена флюоритом, апатитом, цирконом, ортитом, монацитом, пирохлором, сфеном и рутилом. Наряду с этим между содержаниями указанных минералов в калишпатизированных и в неизмененных разностях могут быть количественные различия, как это было отмечено для апатита.

Альбитизация накладывается как на первично-магматические, так и на ранее микроклинизированные разности гранитов, а также на пегматиты. При альбитизации наблюдается развитие плагиоклаза по микроклину – противоположное вышеописанному. Но часто также псевдоморфное, избирательное – по микротрещинам, по деформационным изгибам зерен, с образованием на ранних стадиях пертитов замещения в микроклине. Альбит может также корродировать зерна кварца и развиваться по нему. Псевдоморфный по калишпату плагиоклаз иногда содержит ориентированные по спайности и двойниковым швам пластинки мусковита. Однако, биотит остается в альбитизированных породах устойчив, по крайней мере, на начальных, наиболее широко проявленных стадиях процесса. Содержание плагиоклаза может возрастать до ~40%, тогда как КПШ – снижается до 20%. Наиболее типичная рудная ассоциация альбитизированных пород, ранее установленная в протолочках и, частично, в шлифах – циркон, колумбит, монацит, ксенотим, паризит.

Грейзенизация является наиболее поздним из всех рассматриваемых процессов и наиболее важным в минерагеническом отношении. Частичной грейзенизации подвергаются как первичные породы, так и породы, испытавшие до этого щелочной метасоматоз – калишпатизацию и альбитизацию. Повсеместным признаком начальной грейзенизации служит разложение биотита с образованием псевдоморфоз по нему мусковита, реже, характерных мусковит-флюорит-магнетитовых (гематитовых) агрегатов. Непосредственно в этих агрегатах или вблизи них могут также присутствовать скопления мелких кристалликов фосфатов редких земель – ксенотима (зерна ромбического и квадратного сечения) и более округлые – монацита. Нами также установлено, что при полном исчезновении биотита (центральная часть Стародубовского массива), довольно часто содержание мусковита не превосходит 5-6%. В породах появляется новообразованный кварц, содержание кварца в целом возрастает, но незначительно (до 35-40%). Даже слабо грейзенизированные породы обычно обогащены флюоритом (до 3-5%). Постоянно присутствует в них и топаз. Рудная минеральная ассоциация грейзенизированных пород по изучению протолочек (данные Приазовской КПП ГП «Южургеология») представлена бериллом, литиевыми слюдами, касситеритом, вольфрамитом, шеелитом, молибденитом, колумбитом и танталитом. Берилл и тонкие пластинки колумбита иногда удается наблюдать и в шлифах. Также, в шлифах постоянно присутствует циркон, причем нескольких (не менее 2-х) генераций. Ксенотим и монацит тоже образуют в грейзенизированных гранитах по меньшей мере две генерации: первая представляет предшествующий этап щелочного метасоматоза, вторая – это отмеченные выше продукты разложения биотита.

Установлена следующая пространственная зональность метасоматических изменений в изучавшихся массивах. В южной части *Стародубовского массива* от контакта на расстояние порядка 400 м вглубь наблюдается зона частичной грейзенизации гранитов, которые до нее, по-видимому, подверглись более или менее значительной калишпатизации и альбитизации (в некоторых образцах до 3-х

генераций минералов). Далее, по профилю на север, на расстоянии ~1,5 км наблюдается ареал альбитизации, которой в некоторых случаях явно предшествовала калишпатизация. На альбитизированные породы в центре и на севере массива местами накладываются и процессы грейзенизации. В породах можно наблюдать не менее трех генераций минералов, отвечающих трем последовательно проявившимся метасоматическим процессам. Наряду с гранитами, альбитизации подвергаются и пегматиты, жила которых была пересечена, в частности, скважиной 239 в северной части массива.

Можно утверждать, что в Стародубовском массиве (рис. 1а), особенно в его центральной части, практически все граниты, в той или иной степени, подверглись метасоматическим изменениям. Косвенно это отражается даже в силикатных анализах «номинально-неизмененных» пород. В частности, содержания суммы щелочей в таких породах заметно выше (8,6–9,5%), чем содержания  $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$  в «эталонных» неизмененных разностях западного блока массива Каменные Могилы (7,7–8,6%), и близки (частью перекрываются) к таковым частично альбитизированных (8,2–10,3%) и частично грейзенизированных стародубовских апогранитов (7,9–9,7%).

В *Ново-Янисольском массиве* (рис. 1б) относительно широко развиты первичные, практически неизмененные разности пород – биотитовые и амфибол-биотитовые лейко- и мезократовые граниты, обычно с незначительным преобладанием микроклина над плагиоклазом. Наблюдавшиеся метасоматические изменения в данном массиве представлены калишпатизацией и альбитизацией. Первая – широко проявлена в небольших телах-сателлитах к северу и югу от основного тела, а в последнем встречена лишь в западной части массива и вблизи его восточного контакта с гнейсами и мигматитами темрюкской серии архея. Несколько шире проявлена альбитизация гранитов. Слабо альбитизированные разности образуют прерывистую полосу на севере массива и сплошую полосу на юго-западе. Непосредственно в эндоконтактах степень изменения повышается (больше новообразованного альбита, пертитов замещения, мусковита). Альбитизация охватывает также одно из сателлитных тел к югу от массива. В целом, для Ново-Янисольского массива, по сравнению со Стародубовским, характерна незначительная измененность пород метасоматическими процессами: меньшее площадное развитие этих процессов и практически полное отсутствие площадной грейзенизации.

Вопреки ранее высказывавшимся утверждениям (данные Приазовской КГП ГП «Южургеология») о наличии грейзенизированных разностей в южном и северном эндоконтактах Ново-Янисольского массива, автором признаков грейзенизации не обнаружено. По-видимому, в грейзенизированных разностях были описаны существенно измененные при альбитизации микроклин-альбит-мусковитовые апограниты. Однако в них сохраняется и биотит, что не позволяет связывать образование этих пород с грейзенизацией – кислотным выщелачиванием.

В результате пространственного сближения или наложения частичной грейзенизации на частично же альбитизированные породы возникают мусковит-микроклин-альбитовые (с кварцем) «граниты» (или апограниты), с которыми и связана в основном  $\text{Y}-\text{Yb}-\text{Li}-\text{Sn}-\text{Nb}-\text{W}$  минерализация в Стародубовском (и Екатериновском) массиве. Характерный набор минералов этих зон, по данным [8], включает как минералы, типичные для зон кислотного выщелачивания (грейзенизации): флюорит, топаз, берилл, литиевые слюды, колумбит-танталит, касситерит, вольфрамит, шеелит, молибденит, так и те, которые в большей мере характерны для зон альбитизации (умеренно-щелочного метасоматоза) – циркон, ксенотим, монацит, циртолит и др.

Неполнота протекания метасоматических процессов и «телескопирование» - наложение продуктов последующих изменений на предшествовавшие обуславливают

возникновение такого набора минералов в рудных зонах массивов Каменномогильского комплекса.

Геохимические аномалии, возникшие в результате наложения разных процессов, оказываются «кумулятивными», возможно, с этим обстоятельством связана неустойчивость и невыдержанность по простиранию и по падению первичных ореолов большинства типоморфных элементов в пределах комплексной аномалии Стародубовского массива [8], приуроченной к альбитизированным и грейзенизированным гранитам.

Размещение зон относительно интенсивного изменения пород в эндоконтактах массивов, по-видимому, указывает на определенный структурный контроль оруденения (роль зон повышенной проницаемости), однако широкое площадное распространение слабо автometасоматизированных пород зависимости от такого контроля не обнаруживает: похоже, что рассредоточенный поток флюидов прорабатывает значительные объемы пород в апикальных частях массивов в целом.

Хотя рудная минерализация в массивах связана и с пегматитами, и с аплитами в их краевых частях, решающее значение в формировании площадных аномалий Y–Yb–Li–Sn–Nb–W имеют, видимо, все же зоны автometасоматических изменений пород – альбитизации и, в особенности, грейзенизации. Характерно, что в Ново-Янисольском массиве, где последние не выявлены, не установлено и геохимической аномалии.

Таким образом, «площадные», даже относительно слабые метасоматические изменения гранитов, сопровождающиеся появлением характерных рудных минеральных ассоциаций, должны рассматриваться как важный критерий рудоносности в гранитных массивах каменномогильского комплекса.

### Библиографический список

1. Есипчук К.Ю., Щербак Н.П., Глеваський Е.Б. та інші. Уточнення кореляційної стратиграфічної схеми докемрію Українського щита // *Минералогический журнал*. - 1999. - №1. - С.5-19.
2. **Магматические горные породы: Классификация, номенклатура, петрография** / Андреева Е.Д., Баскина В.А., Богатиков О.А. и др. - М.: Наука, 1983. - Т.4 - 373 с.
3. **Коваленко В.И.** Петрология и геохимия редкометалльных гранитоидов. – Новосибирск: Наука, 1977. – 198 с.
4. **Волкова Т.П., Стрекозов С.Н.** Минералого-геохимические критерии редкометалльной специализации докембрийских комплексов Приазовья // *Труды Дон НТУ. Сер. горно-геолог.* – 2001. - Вып. 24. - С. 120-126.
5. **Петрология, геохимия и рудоносность интрузивных гранитоидов Украинского щита** / Есипчук К.Е., Шеремет Е.М., Зинченко О.В. и др. – Киев: Наукова думка, 1990. – 236 с.
6. **Плющев Е.В., Шатов В.В.** Геохимия и рудоносность гидротермально-метасоматических образований. – Л.: Недра, 1985. – 247 с.
7. **Федотова Л.А., Герасименко Ю.С.** Особенности геологического строения массива гранитов «Каменные могилы» // *Труды Пятого Международного научного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященного 100-летию горно-геологического образования в Сибири*. - Томск, 2001. - С 231-233.
8. **Шеремет Е.М., Стрекозов С.Н., Кривдик С.Г., Волкова Т.П.** и др. Прогнозирование рудопроявлений редких элементов Украинского щита / Под ред. С.Г.Кривдика. – Донецк: «Вебер», 2007. – 220 с.

© Седова Е.В., 2008