

УДК 553.411:553.21/.24

**М.В. Рузина, д-р. геол. наук, доц.,  
Н.В. Билан, канд. геол. наук,  
В.В. Соболев, д-р. техн. наук, проф.**

Государственное высшее учебное заведение  
„Национальный горный университет“, г. Днепропетровск,  
Украина, e-mail: ruzinamarina@rambler.ru

## **ВОЗДЕЙСТВИЕ ЭЛЕКТРОТЕРМИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ НА ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЕ МИНЕРАЛЬНОГО ВЕЩЕСТВА РУДОНОСНЫХ МЕТАСОМАТИТОВ**

**M.V. Ruzina, Dr. Sci. (Geol.), Associate Professor,  
N.V. Bilan, Cand. Sci. (Geol.),  
V.V. Sobolev, Dr. Sci. (Tech.), Professor**

State Higher Educational Institution  
“National Mining University”, Dnepropetrovsk, Ukraine,  
e-mail: ruzinamarina@rambler.ru

## **ELECTROTHERMAL FIELDS ACTION UPON MINERAL MATTER REDISTRIBUTION IN ORE-BEARING METASOMATITES**

Приведены результаты экспериментальных исследований по электротермической обработке метасоматитов зон катаклаза и милонитизации Конкской и Белозерской зеленокаменных структур Среднеприднепровского мегаблока. Установлено появление видимой минерализации серебра в пределах отдельных кварцевых зерен и проявление процесса сборной кристаллизации, что подтверждается проявлением структурных признаков микродеформаций пород. Полученные структурно-вещественные преобразования в горных породах происходили лишь при одновременном воздействии теплового и электрического полей.

**Ключевые слова:** *электротермическая обработка, метасоматиты, благородные металлы, структурно-вещественные преобразования, собирательная кристаллизация, минералообразование*

Последние 50 лет в геологической литературе активно обсуждаются закономерности природных процессов с использованием моделей электрического поля. Результаты экспериментальных исследований свидетельствуют о том, что при разных сочетаниях физических параметров, влияющих на структурно-вещественные преобразования в горных породах и минералах, воздействие электрических полей на метаморфические и метасоматические процессы оказывается весьма значительным. Убедительно доказано, что большинство эффектов в области превращения минералогических систем без участия электрических полей или проявляются слабо, или вообще не наблюдаются, и этот факт имеет принципиальное значение при исследованиях физического механизма, способного объяснить причины значительного влияния электрических полей [1]. По данным А.А. Воробьева (1980), И.А. Хайретдинова (1980, 1983) и других авторов одним из источников естественных электрических полей являются глубинные разломы. Ранее установлено, что проявление дислокационного метаморфизма в Белозерской зеленокаменной структуре

связано с неоднократной тектонической активизацией пересекающихся систем глубинных разломов [2].

Основная идея экспериментальных исследований заключалась в изучении одновременного воздействия теплового и электрического (электротермических) полей на процессы минералообразования и перераспределения рудных компонентов в золотосодержащих метасоматитах зон катаклаза и милонитизации, то есть в „тектонически подготовленной среде“.

В качестве исходного фактического материала для экспериментальных исследований авторами были использованы образцы тектонитов (катаклазитов, филлонитов, милонитов) и метасоматитов, пространственно связанных с узлами пересечения глубинных разломов в Белозерской, Конкской и Верховцевской зеленокаменных структурах Среднего Приднепровья, а также образцы рудоносных метасоматитов Бобринского золоторудного месторождения и образцы фрагментов кварцевых жил, контролирующих орудование. Кварцевые прожилки использовались для электротермической обработки, поскольку кварц является наиболее характерным „сквозным“ минералом гидротермально-метасоматических формаций, устойчивым в широком диапазоне температур.

© Рузина М.В., Билан Н.В., Соболев В.В., 2011

Все образцы, отобранные для исследований, содержали аномальные концентрации минерализации благородных металлов. Общими критериями отбора образцов являлось отсутствие видимой под микроскопом минерализации благородных металлов, а также подтвержденное по данным полевых наблюдений и микроскопических исследований околорудное местоположение изучаемых образцов. При этом наличие минерализации в интервалах отбора образцов подтверждено другими методами исследований (спектрозолотометрия ЦЛ КП „Южкргеология“, квантометрический экспресс-анализ, выполненный ЦАТИ НГУ и др.). Кроме того, использовались структурно-минералогические критерии, подтверждающие метасоматическую природу изучаемых образцов:

– наличие новообразованных минеральных парагенезисов;

– проявление микроструктурных признаков, свидетельствующих о дислокационно-метаморфической природе изучаемых образцов в виде микротрещинок кливажа, наличия стилолитовых образований, проявление структур типа „двойников давления“, сутурных швов, структур „снежного кома“ и т.д.;

– наличие реликтовых, остаточных от замещения микроструктур, позволяющих идентифицировать исходную породу.

Исследования проводились в Лаборатории физико-химических исследований кафедры строительства и геомеханики Государственного ВУЗ „НГУ“. Методика проведения экспериментальных исследований детально описана ранее [3]. Следует отметить, что исследования проводились на образцах, вырезанных из фрагментов горных пород в виде параллелепипедов с длинной стороной до 20 мм, короткой – 10 мм. Такой размер выбирался с учетом возможностей установки для электротермической обработки и основного требования, которое предъявляется к образцам: при измерении электропроводности минералов и горных пород – образец должен в несколько раз превышать размеры зерен, поскольку, в противном случае, он не может считаться показательным из-за преобладающей роли отдельных минералов или их случайного сочетания, а также неоднородности структуры. Рабочие поверхности образцов шлифовались, а расхождение в параллельности граней не превышало  $\pm 0,1$  мм. Параметры обработки – напряжение электрического тока не превышало 300 В, сила тока –  $0,1 \pm 0,3$  А, температура не превышала 500 °С.

В статье приведены результаты изучения показательных образцов, которые отображают в целом наиболее общие закономерности, полученные в ходе экспериментальных исследований.

Образец 1. Образец из зоны контакта кварцевого прожилка с метасоматически измененным кварцевым сидеритолитом. Метасоматические преобразования вещества сидеритолита представлены новообразованным кальцитом, замещающим исходный порообразующий сидероплезит. Наличие двух генераций карбонатов подтверждено результатами термического анализа. Микроструктурные признаки, подтвер-

ждающие проявление дислокационно-метаморфических преобразований исследуемой породы следующие: наличие стилолитовой отдельности в зоне контакта кварц-сидеритолитовых агрегатов, сутурный шов, обозначающий контакт минеральных агрегатов двух изучаемых пород, флексурный изгиб агрегатов сидеритолита на отдельных участках аншлифа, трассируемый графитом и др. признаки проявлений хрупких и пластических деформаций пород. Данный образец был выбран для исследований еще и в связи с тем обстоятельством, что в его пределах сочетаются минеральные агрегаты, сформировавшиеся как гидротермально-секретионным путем (кварцевый прожилок), так и метасоматическим (новообразованный кальцит по раннему сидероплезиту).

В пределах образца отмечается неравномерное распределение рудной минерализации: наиболее обогащенные рудными минералами участки наблюдаются в пределах кварцевого сидеритолита, на участке кварцевого прожилка видимой минерализации практически не встречено. Рудные минералы представлены пирротинном, магнетитом и графитом. Суммарное содержание благородных металлов составляет 356 мг/т. Проявлений видимой минерализации благородных металлов не обнаружено.

Данный образец был подвергнут электротермической обработке – одновременный нагрев до 500 °С и пропускание тока силой до 0,25 А в течение 3 ч.

В результате после обработки установлены следующие структурно-вещественные преобразования:

1) появление микротрещиноватости в пределах агрегатов кварцевого прожилка с проявлением контуров единичных зерен (рис. 1);

2) появление видимой минерализации серебра в пределах отдельных кварцевых зерен (рис. 1);

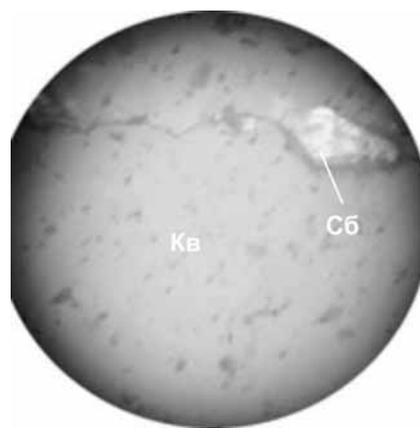


Рис. 1. Тонкодисперсные выделения серебра (Сб) в пределах кварцевых зерен (Кв) (ув. 200 $\times$ , свет отраженный, николи ||).

3) перераспределение агрегатов пирротина (ранее рассредоточенных в веществе сидеритолита), после электротермической обработки сконцентрированных в приконтактной зоне кварц-сидеритолитовых агрегатов (рис. 2).

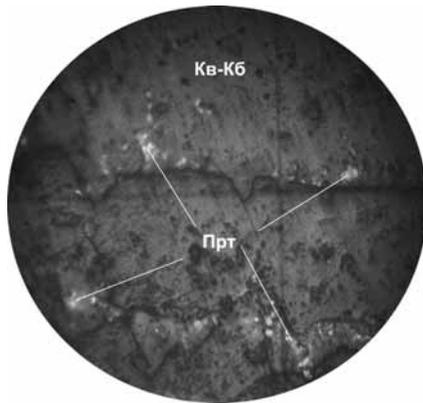


Рис. 2. Перераспределение агрегатов пирротина (Прт) в приконтактной зоне кварц-сидеритовых агрегатов (Кв-Кб) после электротермической обработки (ув. 200<sup>x</sup>, свет отраженный, николи ||)

Образец 2. По составу аналогичен предыдущему, но с более высоким содержанием пирротиновой минерализации (рис. 3). Вся рудная минерализация подобно предыдущему образцу сконцентрирована в веществе сидеритолита, при этом ориентирована под углом к ранней слоистости породы, что является свидетельством ее эпигенетического образования.

Данный образец был обработан при следующих параметрах – температура до 450°C, сила тока до 0,2 А, время обработки – 2,5 ч.

В результате проведенных экспериментальных исследований установлено отчетливое проявление процесса собирательной кристаллизации, а точнее первичной рекристаллизации агрегатов пирротина (рис. 3 и рис. 4).

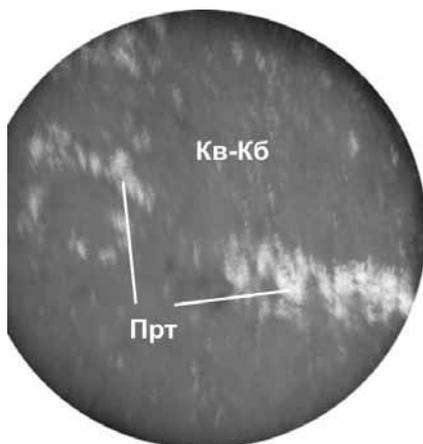


Рис. 3. Агрегаты пирротина (Прт) в кварцевом сидеритолите (Кв-Кб) до электротермической обработки (ув. 200<sup>x</sup>, свет отраженный, николи ||)

Применение данного термина более приемлемо, поскольку в отличие от собирательной кристаллизации, характеризующей явление укрупнения зерен при термальной перекристаллизации в твердом состоя-

нии, без предшествующих деформаций, под термином рекристаллизация (или повторная кристаллизация) понимается укрупнение и рост зерен в интенсивно деформированном материале, что в нашем случае подтверждается проявлением структурных признаков микродеформаций пород.

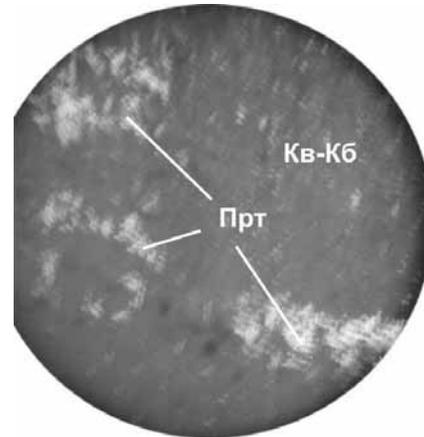


Рис. 4. Собирательная рекристаллизация агрегатов пирротина (Прт) в кварцевом сидеритолите (Кв-Кб) после электротермической обработки (ув. 200<sup>x</sup>, свет отраженный, николи ||)

При сопоставлении микрофотографий, сделанных до и после термоэлектрической обработки, отмечается появление дополнительного новообразованного минерального агрегата, представленного пирротинном в левой части аншлифа (рис. 4).

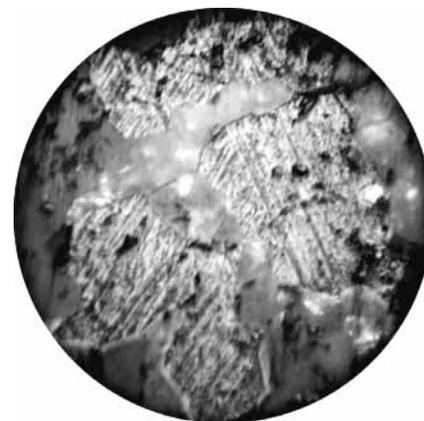


Рис. 5. Агрегаты новообразованного неодигенита по халькопириту по типу решетчатых структур РТР после электротермической обработки (ув. 120<sup>x</sup>, свет отраженный, николи ||)

Образец 2а по составу аналогичен предыдущему, но с более высоким содержанием халькопиритовой рудной минерализации. После электротермической обработки (одновременный нагрев до 350°C и пропускание тока силой 0,25 А в течение 1,5 ч) на месте халькопирита отмечается появление новообразованных минеральных агрегатов, которые по минерографическим признакам

соответствуют неодигениту (по данным П. Рамдора (1962) – смесь халькозина и ковелина). Особое внимание привлекает характер распределения неодигенита по типу решетчатых структур распада твердых растворов (РТР) (рис. 5). Механизм образования минеральных агрегатов неодигенита требует дальнейшего изучения с привлечением электронно-микроскопического оборудования после обработки большего количества образцов. В настоящее время проявление неодигенита отмечено только в двух образцах метасоматически измененных пород, поэтому эти данные приводятся в качестве закономерностей, установленных авторами, но требующих дальнейшего изучения.

Образец 3 представлен минеральным агрегатом кварц-сидерит-гетит-скородитового состава (рис. 6). Образец отобран из зоны окисления Бобриковского золоторудного месторождения. В результате петрографо-минералогических исследований установлено, что скородит сформировался за счет разрушения арсенопирита в зоне окисления. Арсенопирит, наряду с пиритом, в пределах месторождения являлся минералом-концентратором золоторудной минерализации. Данный образец был исследован нами с целью изучения роли электрического поля в процессе минералообразования в зонах проявлений экзогенного метасоматоза.

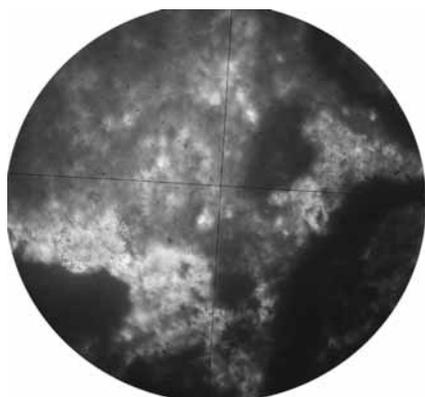


Рис. 6. Агрегаты скородита с гидроокислами железа по сидериту (ув. 20<sup>x</sup>, николи ||)

В результате электротермической обработки (температура до 100°C, сила тока 0,1 А, время обработки 1 ч 10 мин.) в образце установлено появление новообразованных тонкодисперстных минеральных фаз, представленных магнетитом (вероятно, за счет сидерита), гидрогетитом, лепидокрокитом и единичными зернами серебра (рис. 7, рис. 8).

Кроме того, наблюдалось появление субпараллельной ориентировки в расположении новообразованных минеральных фаз. Наиболее отчетливо „тневая“ микрополосчатость проявлена на участках магнетитовой минерализации. Ранее подобное явление было установлено и при электротермической обработке метаморфических сидеритов [3].

При электротермической обработке образцов филонитов и углеродистых метасоматитов также наблюдалось появление видимых под микроскопом в

отраженном свете единичных дисперсных зерен, в основном серебряной минерализации, а в единичных случаях – зерен золота. В углеродистых метасоматитах отмечалось перераспределение графита по зонам расланцевания, микротрещиноватости и по контурам флексурного изгиба микроскладчатых структурных элементов.

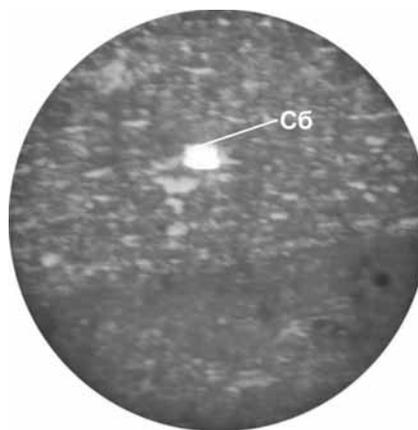


Рис. 7. Проявления теневой микрополосчатости, представленной агрегатами магнетита с единичными зернами серебра (Сб) в образце скородита после обработки (ув. 20<sup>x</sup>, николи ||)

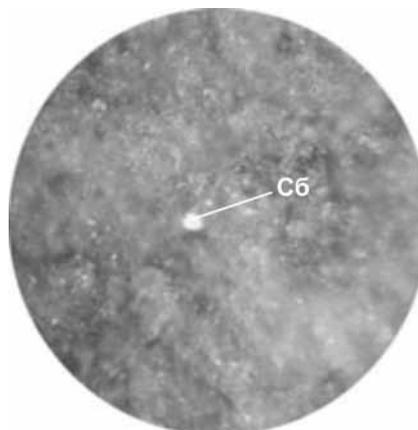


Рис. 8. Зерно серебра (Сб) в скородит-гетитовом агрегате после обработки (ув. 20<sup>x</sup>, николи ||)

Таким образом, одновременное воздействие теплового и электрического поля приводит к появлению видимой минерализации серебра в пределах отдельных кварцевых зерен и первичной рекристаллизации пирротина в приконтактной зоне кварц-сидеритовых агрегатов. Следует заметить, что простой нагрев или только действие электрического поля не приводили к подобным результатам.

Данное направление исследований требует дальнейшего экспериментального развития и теоретического обоснования. Полученные результаты могут быть использованы при изучении оруденения гидротермально-метасоматического генезиса.

**Список литературы / References**

1. *Соболев В.В.* Изменение зернового состава кристаллов алмаза при обработке продуктов синтеза в электромагнитном поле / В.В. Соболев, Е.В. Бондаренко // Сверхтв. материалы. – 1993. – №4. – С. 54–55. – Библиогр.: С. 55.

*Sobolev V.V.* Variation of the granulometric composition of diamonds under processing of synthesis products in electromagnetic field / V.V. Sobolev, Ye.V. Bondarenko // Sverkhтвердые материалы. – 1993. – No.4. – P. 54–55. – Bibliogr.: P. 55.

2. *Рузина М.В.* Рудогенерирующая роль разломных структур в формировании минерализации благородных металлов в БЗКС Украинского щита / Рузина М.В. // Наук. вісн. НГУ. – 2002. – №4. – С. 25–27. – Библиогр.: С. 27.

*Ruzina M.V.* Ore-generating role of the fault structures at formation of precious metals in BGSS of the Ukrainian Shield / Ruzina M.V. // Naukovyi visnyk NGU. – 2002. – No.4. – P. 25–27. – Bibliogr.: P. 27.

3. *О.В. Орлинская.* Термоэлектрическая обработка минералов и горных пород / О.В. Орлинская, В.В. Соболев, А.В. Чернай – Д.: РИК НГУ, 1999. – 93 с.

*Orlinskaya O.V.* Thermoelectrical processing of minerals and rock / O.V. Orlinskaya, V.V. Sobolev, A.V. Chernay – D.: RIK NGU, 1999. – 93 p.

Наведено результати експериментальних досліджень з електротермічної обробки метасоматитів зон катаклазу і мілонітизації Конкської та Білозерської

зеленокам'яних структур Середньопридніпровського мегаблоку. Установлена поява видимої мінералізації срібла в межах окремих кварцових зерен і прояв процесу збірної кристалізації, що підтверджується проявом структурних ознак мікродеформацій порід. Отримано структурно-речовинні перетворення у гірських породах відбувалися лише за одночасної дії теплового і електричного полів.

**Ключові слова:** електротермічна обробка, метасоматити, благородні метали, структурно-речовинні перетворення, збірна кристалізація, мінералоутворення

The results of experimental researches on the study of electro-thermal fields' influence on the gold-bearing metasomatites from areas of cataclasis and mylonitization in Konkska and Belozerska greenstone structures of the Serednyprydniprovskiy Megablock are given. Appearance of visible silver mineralization within separate quartz grains and process of collective crystallization are discovered. This is confirmed by structural signs of rock microdeformation. The structural and substantial transformations in rock took place only during simultaneous influence of thermal and electric fields.

**Keywords:** electrothermal treatment, metasomatites, precious metals, structural and material transformations, collective crystallization, formation of minerals

Рекомендовано до публікації канд. геол.-мін. наук Ю.Т. Хоменком. Дата надходження рукопису 25.02.11

УДК 553.07:553.068.3

**Е.С. Перков,  
С.Е. Поповченко, канд. геол.-мін. наук**

Государственное высшее учебное заведение  
„Национальный горный университет“, г. Днепропетровск,  
Украина, e-mail: perkov@i.ua

## ХРОМИТОВОЕ ОРУДЕНЕНИЕ В УЛЬТРАБАЗИТОВЫХ КОРАХ ВЫВЕТРИВАНИЯ

**Ye.S. Perkov,  
S.Ye. Popovchenko, Cand. Sci. (Geol.-Min.)**

State Higher Educational Institution  
“National Mining University”, Dnepropetrovsk,  
Ukraine, e-mail: perkov@i.ua

## CHROMIUM MINERALIZATION IN ULTRABASITE RESIDUAL SOILS

На основе компьютерной визуализации рассмотрены некоторые особенности распространения хромитовой минерализации в нонtronитовых корах выветривания ультрабазитов Среднего Побужья Украинского щита. С учетом выделенных неоднородностей нахождения хромитовой минерализации для Восточно-Липовеньковского месторождения разработана трехмерная модель строения залежей экзогенных хромитов. По результатам моделирования для коры выветривания Восточно-Липовеньковского массива выделены перспективные участки, и дан прогноз распространения хромитового оруденения.

**Ключевые слова:** хромитовые руды, кора выветривания, распространение, моделирование

**Постановка проблемы.** За последнее десятилетие объемное представление объектов исследований в технических отраслях приобрело всеобщий масштаб и вышло на качественно новый уровень, не обойдя стеной и геологическую науку. Современная компьюте-

ризация производственных процессов горнодобывающих предприятий требует цифрового представления геологической информации, где геологические данные в электронном виде служат готовой базой, которая значительно упрощает процесс обработки и интерпретации, сокращая время на проектирование. Геологическая информация в цифровом виде повышает точность выполнения работ, позволяет осуществлять текущий кон-