

УДК 553.22:553.24.068.7 (477.63)

М. Рузина, д-р геол. наук, проф.
E-mail: ruzinamarina@rambler.ru,
О. Терешкова, канд. геол. наук, доц.
E-mail: terolla@ukr.net,
Н. Билан, канд. геол. наук, доц.
E-mail: bilanatan@gmail.com,
И. Жильцова, канд. геол. наук, доц.
E-mail: zhilcova_i_v@rambler.ru

Государственное ВУЗ "Национальный горный университет"
пр. Д. Яворницкого, 19, г. Днепр, 49005, Украина

РОЛЬ ДИСЛОКАЦИОННОГО МЕТАМОРФИЗМА В ЭНДОГЕННОМ РУДООБРАЗОВАНИИ В БЕЛОЗЕРСКОЙ ЗЕЛЕНОКАМЕННОЙ СТРУКТУРЕ

(Рекомендовано членами редакційної колегії д-ром геол.-мін. наук, проф. В.В. Шевчуком та д-ром геол.-мін. наук, проф. В.М. Загнітком)

Цель исследований – определение условий формирования эпигенетических рудных формаций в пределах Белозерской зеленокаменной структуры (БЗКС).

Методика исследований состояла в определении состава, строения и взаимоотношений геологических и рудных формаций, в изучении состава формаций гидротермальных метасоматитов.

Результаты. В гидротермальных метасоматитах лиственит-березитовой, грейзеновой и углеродистой формаций, пространственно совмещенных с михайловской свитой белозерской серии в пределах одноименной структуры, выявлена комплексная минерализация благородных металлов (БМ). Рассматриваемый тип минерализации обнаружен в разных стратиграфических комплексах на всей территории БЗКС, но наиболее интенсивно выражен в породах лежащего бока Южно-Белозерского месторождения. Аномальные зоны обладают пластиновидно-блоковой формой, залегают многоярусно и составляют параллельные группы (пучки) с крутым восточным падением и близким к согласному залеганием. Для вещественного состава оруденения благородных металлов характерны две особенности – преимущественная локализация в метасоматитах лиственит-березитовой формации и сложный многостадийный характер с пространственным совмещением четырех разновозрастных минеральных парагенезисов. Для условий гидротермального рудообразования в БЗКС характерно отсутствие не только генетической, но и парагенетической связи гидротермальных образований с магматизмом. В формировании структуры ведущая роль принадлежит дислокационному метаморфизму, который проявился после регионального и независимо от него. Рудоконтролирующими являются региональные и локальные разломные структуры – от положения БЗКС в узле пересечения четырех систем глубинных разломов до подчиненных им разломных, складчатых и будижа-структур. Пространственное совмещение разных по типу и возрасту процессов рудообразования связано с многократным проявлением тектонической активизации и со структурным положением мощной метабазитовой конкской серии под существенно терригенной белозерской серией. При этом флюидно-эксплозивные образования, выявленные в пределах переверзе-ской свиты белозерской серии, по морфологическим особенностям, минеральному составу и структуре проявляют аналогию с алмазоперспективными вишеритами Урала и алмазонасными филлитами Бразилии.

Научная новизна. Установлены факты, свидетельствующие о реальности проявлений дислокационного метаморфизма зон глубинных разломов и обосновывающие его рудообразующую роль в формировании комплекса эпигенетических рудных формаций.

Практическое значение. Результаты исследований позволяют прогнозировать возможность открытия нетрадиционных месторождений БМ в черносланцевых толщах и алмазоперспективных формаций некимберлитового генезиса.

Ключевые слова: дислокационный метаморфизм, рудные формации, флюидно-эксплозивные образования, благородные металлы.

Постановка проблемы и ее связь с важнейшими научными и практическими задачами.

В настоящее время термин "дислокационный метаморфизм" (ДМ), бесспорно, признан в ряду других типов метаморфизма, но общепринятого его понимания нет, что приводит к широкому толкованию в пределах двух крайних значений. Первое сводит роль ДМ только к тектоническим структурно-текстурным изменениям пород и тем самым отрицает существование такого типа метаморфизма. Второе – предельно широкое толкование объединяет комплекс деформационных и глубоких вещественных преобразований состава пород, при котором теряются различия между дислокационным, региональным и другими типами метаморфизма.

Согласно определению, принятому авторами статьи, ДМ – мощный преобразующий процесс зон глубинных разломов, для которого характерно многообразное сочетание деформационно-тектонических преобразований пород с обязательным появлением новообразованных минеральных фаз. В принятом определении дислокационный метаморфизм также является самостоятельным генератором дегидратационных гидротермальных растворов. В процессе многолетних исследований генезиса комплексной эпигенетической минерализации благородных металлов в Белозерской зеленокаменной структуре (БЗКС) установлены факты, свидетельствующие о реальности проявлений дислокационного метаморфизма зон глубинных разломов в пределах изучаемой структуры и обосновывающие его рудообразующую роль в формировании комплекса эпигенетических

рудных формаций – благородных металлов, тальк-магнетитовых проявлений, а также позволяющие прогнозировать алмазоперспективные формации некимберлитового генезиса, связанные с флюидно-эксплозивными образованиями.

Анализ исследований и публикаций, в которых предложено решение данной проблемы.

Термин "дислокационный метаморфизм" был предложен и обоснован Ч. Андреаттой, П. Рамдором и Г. Шнейдерхеном [10]. Впоследствии содержание термина было дополнено Я.Н. Белевцевым, В.А. Буряком, Е.И. Паталахой и другими авторами [4, 9], но наибольшее развитие он получил в работах В.И. Казанского [2]. По мнению В.В. Соболева, В.М. Кравченко и др. [13], принципиально важным отличием ДМ от других типов метаморфизма является влияние практически неучтенного преобразующего фактора – электромагнитных полей.

Согласно трактовке В.И. Казанского, основное отличие дислокационного метаморфизма от регионального и контактового состоит в том, что деформационные и вещественные преобразования при ДМ происходят в конкретной геотектонической обстановке глубинных разломов.

П.Ф. Иванкиным, Н.И. Назаровой и рядом других исследователей созданы схемы вертикальной структурно-морфологической и вещественной зональности метасоматических колонн, которые позволяют определять эрозионный срез и прогнозировать оруденение на глубину [7].

В настоящее время исследования процессов рудообразования в обстановке зон глубинных разломов особо актуа-

льны в связи с обнаружением новых, нетрадиционных, некимберлитовых источников алмазности, результаты изучения которых представлены в [1, 8, 12, 14].

Выделение нерешенных ранее положений общей проблемы, которым посвящена статья.

Целесообразность исследований обоснована неоднозначностью трактовки термина "дислокационный метаморфизм". Результаты исследований авторов, представленные в данной статье, позволяют обосновать рудогенерирующую роль дислокационного метаморфизма зон глубинных разломов в формировании комплексных эпигенетических рудных формаций благородных металлов на примере изученной Белозерской структуры, а также позволяют прогнозировать возможность открытия в ней нетрадиционных, алмазоперспективных формаций некимберлитового генезиса.

Цель исследований состояла в определении условий формирования эпигенетических рудных формаций в пределах Белозерской зеленокаменной структуры. Основные задачи исследований состояли в определении состава, строения и взаимоотношений геологических и рудных формаций, в изучении состава формаций гидротермальных метасоматитов, с которыми связано комплексное оруденение благородных металлов, а также в обосновании роли дислокационного метаморфизма в формировании эндогенных рудных формаций в пределах изучаемой структуры.

Изложение основного материала. Белозерская зеленокаменная структура – одна из крупнейших структур, расположенных в пределах Среднеприднепровского мегаблока Украинского щита: её ширина достигает 20 км, а протяженность в меридиональном направлении – 60 км. Западный и Северо-восточный блоки сложены различными свитами конкской серии, а юго-восточный – белозерской серией. Конкская серия залегает в основании разреза БЗКС и благодаря большой мощности (7-7,5 км), существенно вулканогенному составу и подстилающему структурному положению во многом определяет потенциальный состав кластогенных и гидротермальных компонентов, проявившихся в вышележащей – белозерской серии. Формационный и петрографический состав конкской серии в БЗКС соответствует её составу в остальных зеленокаменных структурах (ЗКС) Среднего Приднпровья. По формационному признаку серия разделена на 3 свиты. Две нижние, общей мощностью 2-2,5 км образуют западный блок ("Западный участок"), третья – верхняя, мощностью 5 км составляет северо-восточный блок. Нижняя – существенно амфиболитовая свита соответствует сурской свите схемы Национального стратиграфического комитета Украины (НСКУ) и сложена ортоамфиболитами с прослоями кристаллических сланцев основного состава. Средняя – железорудная свита также соответствует сурской свите схемы НСКУ и представлена переслаиванием пачек гранатсодержащих грюнерит-магнетитовых и роговообманково-магнетитовых кварцитов с парасланцами и с ортоамфиболитами, которые содержат прослой метакварцитов. По всем признакам средняя свита представляет характерный железисто-кремнисто-метабазитовый тип железорудных формаций докембрия, который постоянно присутствует в составе зеленокаменных комплексов нижнего яруса всех ЗКС. Он известен под названием железорудной формации алгоманского типа. Верхняя свита слабо изучена.

Белозерская серия – основной объект исследований занимает южный блок БЗКС. На основании геохронологических данных установлено, что она имеет неогаргейский возраст. П.Е. Винниченко была предложена трехчленная схема стратиграфического разделения белозерской серии (в составе михайловской, запорожской и переверзевской свит).

По результатам исследований, проведенных при участии авторов статьи, в гидротермальных метасоматитах лиственит-березитовой и углеродистой формации

[5, 11], пространственно совмещенных с михайловской свитой белозерской серии, выявлена комплексная минерализация из четырех благородных металлов (Au, Ag, Pt, Pd) и единичные рудопоявления благородных металлов. Рассматриваемый тип минерализации обнаружен в разных стратиграфических комплексах на всей территории БЗКС, но наиболее интенсивно он выражен и полнее всего изучен в породах лежащего бока Южно-Белозерского месторождения.

Аномальные зоны обладают пластиновидно-блоковой формой, залегают многоярусно и составляют параллельные группы (пучки) с крутым восточным падением и близким к согласному залеганием. Мощность семи вскрытых аномальных блоков – пластин составляет 25-375 м, а расстояние между ними – 70-150 м. В те же интервалы укладываются и размеры аномальных зон Северо-Белозерского месторождения. Протяженность блоков по простиранию не менее 1000-2500 м, возможно и большая. Пластиновидно-блоковый характер зон геохимических аномалий и вмещающих гидротермальных метасоматитов обусловлен такой же формой и размерами ведущих рудоконтролирующих структур 1-го ранга в виде параллельных зон вторичного расслаивания, которые пересекают всю БЗКС и составляют общую внутреннюю структуру узла пересечения глубинных разломов. Именно эта система параллельно-поясовых структур обусловила возможность пространственного совмещения разновозрастных продуктов гидротермально-метасоматического рудообразования.

Локальные рудовмещающие структуры для благородных металлов (БМ) не определены, их вероятные типы можно предполагать на основании структур месторождений-аналогов. В их числе наиболее благоприятны локальные разрывы мощности в зонах продольных складок, поперечные и флексурные изгибы с расслоением пород, рой кварцевых жил альпийского типа и участки переслаивания пород разной компетентности.

В дополнение следует подчеркнуть две особенности вещественного состава оруденения. Во-первых, размещение подавляющей части рудной минерализации в метасоматитах лиственит-березитовой формации, которые составляют 60% объема всех метасоматитов и образуют для остальных своеобразный петрографический фон. Во-вторых, её сложный, многостадийный характер с пространственным совмещением (наложением) четырех разновозрастных минеральных парагенезисов.

При этом для условий гидротермального рудообразования в БЗКС характерны следующие факты:

- отсутствие не только генетической, но и парагенетической связи гидротермальных образований с магматизмом и ведущая роль дислокационного метаморфизма, который проявился после регионального и независимо от него;
- определяющая рудоконтролирующая роль региональных и локальных разломных структур – от положения БЗКС в узле пересечения четырех систем глубинных разломов [5, 11] до подчиненных им также разломных, складчатых и будинаж-структур;
- структурное положение мощной метабазитовой конкской серии под существенно терригенной белозерской серией;
- многократное проявление тектонической активизации, с чем связано пространственное совмещение разных по типу и возрасту процессов рудообразования.

Дислокационному метаморфизму постоянно сопутствуют собственно пневматолитовые, гидротермальные метасоматические и секреторные изменения пород. Но, в отличие от регионального и контактового метаморфизма, деформационные и вещественные преобразования при ДМ происходят в конкретной геотектонической обстановке глубинных разломов. Именно по этой причине определение "дислокационный" вместо "динамический" представляется более конкретным и выразительным.

Ведущей причиной ДМ в этих условиях оказывается ориентированное сжатие – стресс и неоднократная смена режима сжатия растяжением. В итоге, по заключению В.И. Казанского и результатам исследований ряда авторов [3, 15, 16 и др.], дислокационный метаморфизм – это мощный преобразующий процесс, для которого характерно многообразное сочетание всегда преобладающих деформационно-тектонических преобразований пород с подчиненной, но обязательной ролью вещественных изменений. Геологическим местом проявления ДМ являются глубинные разломы. П.Ф. Иванкиным, Н.И. Назаровой созданы схемы вертикальной структурно-морфологической и вещественной зональности метасоматических колонн, которые позволяют определять эрозионный срез и прогнозировать оруденение на глубину [7].

Наиболее очевидным и ярким проявлением ДМ в роли рудообразующего фактора можно считать метаморфогенную усадку железистых кварцитов, подробно изученную в Криворожском бассейне и КМА [4]. Не менее важно, что это явление раскрывает суть ДМ и подтверждает правомерность его обособления.

В данном примере речь идет о благоприятном сочетании внутренних особенностей геологической среды и геодинамической обстановки. С одной стороны – это равномерное расслоение железорудной толщи на контрастные по физико-механическим свойствам слои и слойки, с другой – их деформация в условиях левостороннего сдвига под воздействием стресса, в 3-4 раза превышающего литостатическое сжатие пород. В результате на фоне незавершенного будинажа относительно жестких пластов микрослоистых железистых кварцитов в хрупких кварцевых слойках происходит микрогрануляция и растворение кварцевых зерен метаморфогенно-гидротермальными растворами. В то же время упруго-пластичные рудные кварц-магнетитовые и кварц-сидероплезитовые слойки сближаются, сохраняя структурные особенности. Вследствие потери 30-40% объема пород (эндогенная метасоматическая усадка по Д.С. Коржинскому), содержание железа возрастает с 28-36% до 52-56%, что соответствует его содержанию в рудных слойках. Такой процесс не имеет никакой связи с магматизмом, и его трудно объяснить иначе, чем прямым воздействием дислокационного метамор-

физма. В нашем случае описанное явление представляет особый интерес, поскольку оно в классическом виде проявилось внутри БЗКС.

Возникшие в результате метаморфогенной усадки железистых кварцитов сидероплезит- и кварц-магнетитовые богатые руды сохранились на Северо-Белозерском и Переверзевском месторождениях неокисленных магнетитовых кварцитов, где они защищены от гипергенного окисления зонами щелочного, либо карбонатного метасоматоза [11]. Однако только этим примером проявление ДМ в БЗКС не ограничивается, т.к. она имеет сложную деформационную историю благодаря размещению в узле пересечения неоднократно активизированных глубинных региональных разломов. Это установлено на основании выполненного анализа пространственных взаимоотношений зеленокаменных структур Среднеприднепровского мегаблока с шестью системами глубинных разломов шириной 9-12 км, которые ранее были выделены К.Ф. Тяпкиным [5].

Проявления ДМ внутри БЗКС прежде всего выражаются в типах и условиях формирования тектонических структур. В результате предшествующих исследований установлены и описаны основные формы разрывных, складчатых и будинаж-структур, определено их соподчинение, пространственные и возрастные взаимоотношения. Важно, что они совпадают с типами структур в зонах дислокационного метаморфизма – от пластиновидных блоков, однокрылых разломно-сдвиговых складок, шовных тектонов и будинаж-структур до микротектонических элементов. Аналогия геологической обстановки наблюдается и в составе пневматолитовых и гидротермальных метасоматитов. Сочетание отмеченных структурно-тектонических форм и комплекса формаций метасоматитов БЗКС позволяет определить уровень эрозионного среза вертикальной зональности региональных и глубинных разломов, пересекающихся в БЗКС (рис. 1). Судя по "расщепленной" пластинчато-поясовой форме метасоматических зон и преобладанию в них лиственит-березитов с сульфидной минерализацией, этот уровень соответствует в основном блоку от поверхности "зоне катаклазитов, милонитов и бластомилонитов с интенсивными проявлениями карбонатно-сульфидно-углеродистого метасоматоза и кварцевой флюидизации" на схеме П.Ф. Иванкина, т.е. интервалу 2-5 км от поверхности [7].

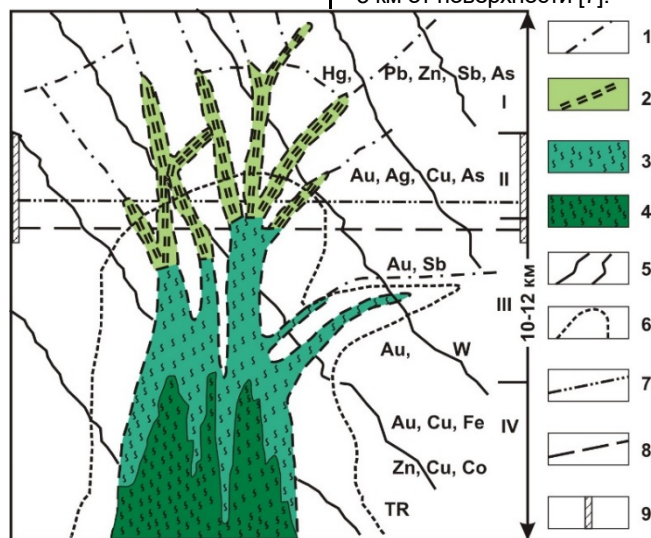


Рис. 1. Интервал распространения минерализации благородных металлов флюидолитов Белозерской ЗКС применительно к схеме вертикальной зональности глубинных разломов П.Ф. Иванкина [7]:

I-IV – структурно-вещественные ярусы; 1 – разрывные нарушения; 2 – зоны катаклазитов с углеродистым метасоматозом; 3 – зоны углеродистых филлонитов с анкеритом, кальцитом и сульфидами железа; 4 – зоны гнейсов и графитосодержащих кристаллических сланцев; 5 – слоистость пород фундамента; 6 – внешняя граница области "размягчения" пород вокруг глубинного разлома; 7 – уровень эрозионного среза фундамента БЗКС; 8 – нижняя граница вскрытия БЗКС горными выработками; 9 – интервал оптимального оруденения благородных металлов

Приведенные сведения о признаках проявления ДМ в БЗКС были дополнены авторами на микроскопическом – породном уровне, и охватывают весь интервал терригенной михайловской свиты мощностью около 1300 м. Прежде всего, следует отметить наличие филлонитов – тонкоперетертых сланцев по составу сходных с филлитовидными сланцами, а по своей генетической природе принадлежащих к милонитам. Среди филлонитов можно выделить несколько разновидностей, различающихся между собой по ряду структурно-текстурных признаков. Так, некоторые филлониты выделяются по наличию четко видимой под микроскопом сланцеватости, формирующей ряд линзочек, внутри которых наблюдается свой узор сланцеватости. Такая сланцеватость возникает при милонитизации тонкослоистых и тонкорассланцованных пород, которая расчленяет породу на мелкие линзовидные участки (рис. 2). У другой разновидности филлонитов на фоне тонкоперетертой основной массы выделяется система кливажных трещинок, выполненных углеродистым веществом, под углом к ранней сланцеватости пород. Данная разновидность по резуль-

татам исследований [11] отнесена к углеродистым метасоматитам. В пределах Украинского щита структурно-морфологические и генетические типы графита изучались В.И. Загнитко, В.Г. Яценко [6, 17]. Согласно изотопной классификации графитов Украинского щита по данным [17], диапазон вариаций $\delta^{13}\text{C}$ для контактово-реакционных образований и гидротермальных жил составляет 8–22‰. Подобные значения вполне согласуются с величинами изотопного состава свободного углерода в графите зон углеродистого метасоматоза, равными 11,7–17,8‰. Кроме того, в составе филлонитов отмечается появление турмалина в виде хорошо образованных кристалликов, ориентированных под углом к слоистости. Присутствие турмалина может свидетельствовать об участии летучих компонентов в процессах преобразования филлитов. Убедительным свидетельством вторичного рассланцевания и повторного скольжения вещества сланцев представляются многочисленные пленки притертых до зеркального блеска сульфидов железа (пирит, пирротин) на поверхностях сланцеватости.

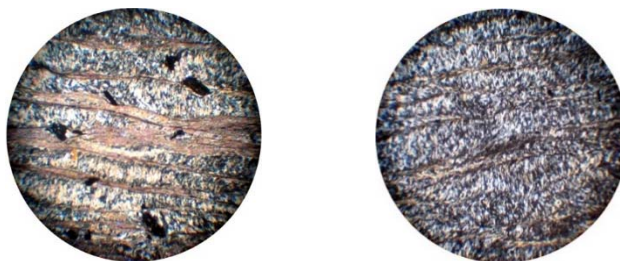


Рис. 2. Филлониты Белозерской ЗКС. Шлиф (свет проходящий, николи +, ув. 90*)

Менее интенсивно процесс проявился в сланцеватых песчаниках михайловской свиты белозерской серии, где на фоне тонкоперетертой основной породообразующей массы кварц-серицит-хлоритового состава выделяются округлые и линзовидные скопления гранулированного кварца, по всей видимости, принадлежащих к деформированной обломочной фракции этих пород. В метапесчаниках

следы проявления ДМ иногда фиксируются по линзовидной форме новообразованной биотита среди мелкозернистой кварц-хлорит-серицитовой массы.

В серицит-хлоритовых и хлоритовых сланцах преобладают пластические деформации в виде флексуобразных изгибов отдельных хлоритовых слоев, структур "снежного кома" и других. Наиболее многообразны структуры ДМ в метариодацитах (рис. 3).

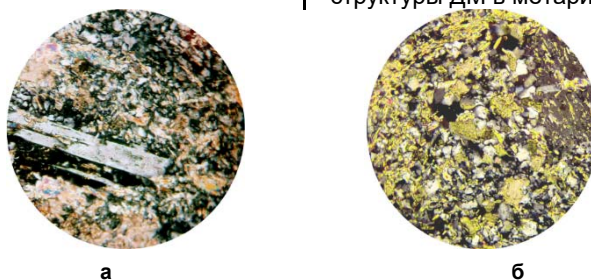


Рис. 3. Лиственит-березит по риолиту: а – с разноориентированными чешуйками серицита и реликтовой порфировой структурой кварц-плагиоклазовых вкрапленников; б – с сетчатым рисунком серицитовых новообразованных агрегатов. Шлифы (свет проходящий, николи +, ув. 90*)

Главное различие между михайловской и переверзевской свитами белозерской серии в Белозерской ЗКС характеризуется отсутствием полимиктовых метаконгломератов в пределах подавляющей части разреза михайловской свиты. В то же время эти породы, несмотря на небольшое количество (не более 2%) являются характерной особенностью переверзевской свиты, на что впервые обратил внимание П.Е. Виниченко.

В метаконгломератобрекциях переверзевской свиты авторами выявлены структурные и вещественные особенности, характерные для флюидолитов [11, 15]. Данные породы распространены в полосе меридионального простирания шириной до 5 км. Протяженность обсуждаемой полосы в меридиональном направлении оценивается расстоянием 9–11 км. В составе этой части разреза, среди кластогенных пород, зафиксировано не менее семи пачек

конгломерато-брекчий, переслаивающихся с метапесчаниками и сланцами. Видимая мощность пачек заключена в пределах от 80–100 м до 200–250 м. Поведение пачек и отдельных слоев по простиранию не изучено. Они имеют прерывистый линзовидный характер. Пачки конгломератосодержащих слоев проявляют тенденцию к выклиниванию в северном направлении.

Метаконгломерато-брекчии – породы грубообломочной текстуры, состоящие из обломков пород, скрепленных песчаным цементом. Они весьма неоднородны по составу, количеству, размерам и форме обломков, среди которых в порядке распространенности преобладают: кварциты, жильный кварц, железистые кварциты (карбонатные, силикатные, магнетит-карбонатные, магнетитовые), сланцы (кварц-хлоритовые, реже кварц-сери-

товые). В меньшем количестве отмечаются обломки нескольких разновидностей преимущественно кислых эффузивных пород и редко – богатых железных руд.

В перечне обломков обращают внимание три особенности: 1) в железистых кварцитах присутствует карбонат – сидероплезит, но нет грюнерита, т.е. они метаморфизованы в зеленосланцевой, а не амфиболитовой фации; 2) среди сланцев преобладают также слабометаморфизованные хлоритовые и даже кварц-серицитовые (филлитовидные) разновидности; 3) в обломках сосуществуют породы высокой и низкой крепости – кварциты и сланцы.

Форма сосуществующих обломков различна: угловатая, угловато-округлая, окатанная, нередко уплощенная – ориентированная вдоль слоистости. Размер обломков варьирует от 3-5 до 100-150 мм. Соотношение объема обломков и цемента непостоянно. Таким образом, для описываемых метапсифитов характерна очень плохая сортированность обломочной фракции по всем показателям: составу, форме, размерам и количеству. Цемент псифитовых обломков – метапесчаники. Состав их псаммитовой фракции богаче псифитовых обломков. Здесь чаще встречаются частицы эффузивных пород (альбитофиры) и сростки кварца с плагиоклазом. В полимиктовых метапесчаниках есть примесь гравийного материала с размером отдельных обломков до 2,5-10 мм. В количественном отношении в цементе псифитов преобладают кварцевые песчинки. Обломки жильного кварца отличаются наиболее со-

вершенной окатанной формой и большими размерами частиц. Вокруг них наблюдаются каемки обрастания (регенерация) из кварца и серицита.

Для дополнения опубликованных сведений о метаконгломератах нами детально исследованы сохранившиеся образцы керна из скважины № 313.

Среди окатанных обломков установлены фрагменты безрудных кварцитов и кварцевых метапесчаников. В слабоокатанных и угловатых обломках присутствуют агрегаты кварцевых зерен, жильного (часто гребенчатого) кварца, основных пород (возможно метабазальтов), реликты кислых вулканитов (метариолитов), изредка – обломки карбонатной и турмалиновой породы. Размер обломков – 1,7-25 мм.

Практически во всех шлифах, в значительном количестве встречена примесь пирокластического материала, как в составе обломочной фракции, так и в цементе. Пирокласты присутствуют в виде обломков кварца остроугольной (часто треугольной) и игольчатой форм, отдельные зерна кварца имеют оплавленные края. В некоторых шлифах были установлены элементы структур флюидолитов (рис. 4), что позволяет предполагать наличие флюидно-эксплозивных образований в толще пород переверзевской свиты и прогнозировать достаточно высокие металлогенические перспективы белозерской серии в отношении благородных металлов и алмазов некимберлитового генезиса.

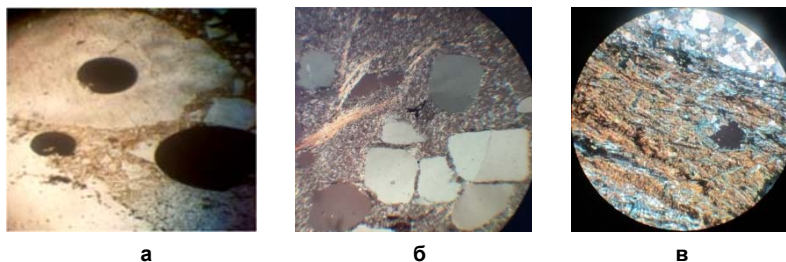


Рис. 4. Элементы структур флюидолитов (шлифы):

а – сфероиды пирита в метаконгломератобречкии переверзевской свиты, свет проходящий, николи II, ув. 90*;
б – структура "in situ" (взорванных на месте ксенолитов) у зерен кварца и элементы флюидальной структуры у серицитовых агрегатов; в – сетка новообразованного хлоритоида (стресс-минерала), николи +, ув. 90*

Для всех изученных шлифов из метаконгломератобречкии характерна вторичная сульфидизация и развитие агрегатов метасоматического хлоритоида, присутствующего как в цементе, так и "пронизывающего" агрегаты обломочных зерен. Зерна хлоритоида собраны в крестовидные и сноповидные, иногда – до "солнцеобразных" агрегаты. Не менее характерны параллельные прожилки пирита, кварца, секущие обломки и цемент. Они свидетельствуют, что в отношении эпигенетических преобразований породы переверзевской свиты находились в общих условиях с михайловской и запорожской свитами.

Следует отметить, что все перечисленные структурные и вещественные признаки совпадают с перечнем признаков и процессов в золоторудных зонах дислокационно-гидротермальных метаморфогенных месторождений Ленского, Мурунтаусского и других районов, сложенных углеродистыми и другими терригенно-сланцевыми формациями [11].

Таким образом, региональное положение БЗКС в узле разломов, её внутреннее строение и вещественные изменения пород позволяют считать эту структуру выразительным примером проявления всех сторон дислокационного метаморфизма и на этом основании привлекать его к объяснению генезиса руд.

В результате неоднократного проявления ДМ в пределах южного блока БЗКС, состоящего из существенно терригенной белозерской серии, в нем совмещено несколько метаморфогенных (дислокационно-метаморфических) рудных формаций разного состава, которые отличаются тремя разными путями концентрации рудного вещества: 1) выносом нерудных компонентов, 2) привносом рудных

компонентов в зону разлома из сопредельных по площади формаций; 3) также привносом рудных компонентов, но из глубоких горизонтов заключенных внутри разлома геологических формаций БЗКС.

Условия образования наиболее ранней формации богатых магнетитовых руд в результате дислокационно-метаморфической усадки железистых кварцитов подробно освещены в монографии Я.Н. Белевцева с соавторами [4]. В ней оценены основные термодинамические параметры этого варианта рудообразующей роли ДМ: температура порядка 473-623 К (200-350°C), литостатическое сжатие – $P_n = 5-2 \cdot 10^8$ Па (1,5-2 кбар), ориентированное сжатие (стресс) – P_c в два три раза превышает P_n и составляет 3-6 $\cdot 10^8$ Па (3,0-6,0 кбар), что является минимально необходимым давлением на твердый "скелет" породы, которое обеспечивает растворение кварцевых слоев.

Условия возникновения более поздней формации золота в грейзенизированных терригенных породах михайловской свиты, в т.ч. черных сланцах, которая по нашим данным связана с проникновением в разломные структуры гранитизирующих флюидов из внешних приразломных зон, детально рассмотрены в работах В.А. Буряка. Но с этой эпигенетической формацией БМ совмещено еще две последующих разных по глубинности формации метаморфогенно-гидротермального происхождения третьего типа: 1) основная по значению и распространенности мало-сульфидная золото-сульфидно-кварцевая в лиственит-белозерской, переходная от значительных к средним глубинам (1,5-5 км), и 2) второстепенная по значению – золото-серебряно-полиметаллическая, сформировавшаяся на малых глубинах (1-2 км).

В схеме Иванкина П.Ф. с дополнениями авторов для условий БЗКС (рис. 1) рассмотрены условия формирования основной формации, которые наилучшим образом характеризуют рудообразующую роль ДМ, происходящего в отличие от метасоматической усадки железистых кварцитов с привнесом рудного вещества, но из подстилающих пород.

Пути продвижения растворов обеспечены высокой проницаемостью пород всех геологических формаций БЗКС, благодаря их насыщенности разного ранга складчатыми, разрывными и будинаж-структурами.

Основной причиной вертикальной миграции растворов является изменчивая и неодинаковая по глубине морфометрия и геодинамическая обстановка зоны разлома (рис. 1). Зона преобразований внутри разлома расширяется и охватывает большие объемы пластически деформированных пород конкской серии, составляющих огромный резервуар отделения воды, углекислоты, выноса золота и других БМ. В верхней части она сужается благодаря разделению на обособленные полосы. Поэтому растворы, стремящиеся вверх – в область пониженного давления, концентрируются. Отложение металлов происходит в верхней зоне пород с хрупкой деформацией, где существуют полые и разуплотненные вместилища для жильного материала и руд. Естественно, такая схема не исключает притока мантийных веществ, что предполагается глубинной природой разломов 1-го ранга. Процесс рудообразования в условиях ДМ развивался на фоне падения температуры от нижних к верхним системам разломных структур.

Интенсивное отделение от пород воды, углекислоты и БМ происходило в интервале температур от 833-723 К (560-450°C) до 648-623 К (375-350°C) при гидростатическом давлении $5\cdot 10^8$ Па (5–4 кбар), а внутри флюида – $4,5\cdot 10^8$ Па (4–6 кбар). Осаждение БМ начиналось при 613 К (340°C) и давлении $3\cdot 10^8$ Па (3–2 кбар) и достигало максимальной степени проявления в интервале 523-453 К (250-180°C) при давлении $1,5\cdot 10^8$ Па (1,5–0,5 кбар) – в момент вскипания раствора внутри рудовмещающих структур. Реакция гидротермальных растворов в зоне их генерации среди пород конкской серии была, вероятно, щелочной; в период транспортировки и предрудного выщелачивания пород, по мере насыщения углекислотой, – кислой; в зоне рудоотложения она менялась на нейтральную слабощелочную за счет нейтрализации компонентами вмещающих пород. На всем пути миграции преобладали отрицательные значения Eh. Восстановительные свойства растворов непрерывно возрастали к зоне рудоотложения и достигали максимума внутри неё благодаря притоку газово-восстановителей скорее всего мантийного происхождения.

Основная форма переноса золота, серебра, платины и палладия на ранних стадиях их миграции – хлоридные комплексы типа AuCl_2 , AuCl_4 , PtCl_4 , PdCl_4 , которые уступали свое место на поздних стадиях рудообразования сульфидным комплексам типа $\text{Au}(\text{HS})_2$ и $\text{Au}_2\text{S}(\text{HS})_2$. Осаждение БМ вызвано разрушением комплексов при нейтрализации растворов под влиянием серы, железа и других элементов вмещающих пород формаций белозерской серии, а также снижения растворимости в условиях падающих температур и давления. Приведенная генетическая схема и оценка рудообразующей роли дислокационного метаморфизма в БЗКС подтверждают реальность ДМ и позволяет использовать его при определении перспектив эпигенетической группы полезных ископаемых.

При этом флюидно-эксплозивные образования, выявленные в пределах переверзевской свиты белозерской серии, по морфологическим особенностям, минеральному составу и структуре проявляют аналогию с алмазоперспективными вишеритами Урала и алмазонасными филлитами Бразилии (район Дамантина) [8]. На микроскопическом породном уровне структурными признаками вышеуказанных флюидно-эксплозивных образований являются дробление и пространственное

"растаскивание" ксенолитов, наличие структур "in situ", элементов галтовки минеральных зерен, наличие теневых структур, зональных метакристаллов. Наличие флюидно-эксплозивных образований в пределах Белозерской ЗКС позволяет предполагать возможность открытия здесь нетрадиционных алмазоперспективных формаций некимберлитового генезиса.

Выводы. Таким образом, ведущая роль дислокационного метаморфизма в эндогенном эпигенетическом рудообразовании БЗКС подтверждается:

- положением БЗКС в узле пересечения четырех систем региональных разломов, обусловивших продолжительный режим эндогенной активности;
- сопряжением рудной минерализации и метасоматитов со складчато-разломными структурами разного иерархического уровня;
- признаками микродеформаций пород с появлением новообразованных минеральных фаз (графит);
- прямым свидетельством проявлений дислокационного метаморфизма в виде эндогенной усадки железистых кварцитов;
- аналогией структурно-геологических особенностей эндогенного оруденения БЗКС месторождениям аналогичных рудных формаций в других хорошо изученных регионах (Хомстейк, Морро-Велью и др.).

Список использованной литературы

1. Алмазонасыщенные формации и структуры юго-западной окраины Восточно-Европейской платформы. Опыт минерализации алмаза / Г. М. Яценко, Д. С. Гурский, Е. М. Слишко и др. – Киев: УкрГГРИ, 2002. – С. 3-15.
2. Внутреннее строение рудоносных докембрийских разломов // Сб. статей под ред. В. И. Казанского. – М.: Наука, 1985. – 168 с.
3. Гинтов О. Б. Зоны разломов Украинского щита. Влияние процессов разломообразования на формирование структур земной коры / О. Б. Гинтов // Геофизический журнал. – 2004. – Т. 26, №3. – С. 3-24.
4. Железисто-кремнистые формации докембрия Европейской части СССР. Генезис железных руд / Я. Н. Белевцев, В. М. Кравченко, Д. А. Кулик и др. – К.: Наукова думка, 1985. – 216 с.
5. Жильцова И.В. Закономерности распределения гидротермальных золоторудных формаций Среднеприднепровского мегаблока Украинского щита относительно систем глубинных разломов / И. В. Жильцова, М. В. Рузина, В. К. Свистун. – Днепропетровск: Державний ВНЗ "НГУ", 2015. – 131 с.
6. Загитко В. Н. Изотопный состав графита в породах Украинского щита / В. Н. Загитко, И. П. Луговая // Минералогический журнал. – 1986. – Т. 8, №1. – С. 44-56.
7. Иванкин П. Ф. Флюидно-магматогенные колонны глубинных разломов и прогноз оруденения. Глубинные условия эндогенного рудообразования / П. Ф. Иванкин. – М.: Наука, 1986. – 271 с.
8. Минерализация платформенного магматизма (траппы, карбонаты, кимберлиты) / С. В. Белов, А. В. Лапин, А. В. Толстов, А. А. Фролов. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2008. – 537 с.
9. Паталаха Е.И. Механизм возникновения структур течения в зонах смятия / Е. И. Паталаха. – Алма-Ата: Наука, 1970. – 215 с.
10. Рудные регенерированные месторождения : сб. ст. / Под ред. В. И. Смирнова. – М.: изд-во ИЛ, 1957. – 251 с.
11. Рузина М. В. Метасоматические формации Среднеприднепровского мегаблока Украинского щита (закономерности распространения, петрология и рудоносность) / М. В. Рузина. – Днепропетровск: Национальный горный университет, 2010. – 158 с.
12. Рыбальченко А. Я. Теоретические основы прогнозирования и поисков коренных месторождений алмазов туффизитового типа / А. Я. Рыбальченко, Т. М. Рыбальченко, В. И. Силаев // Известия Коми научного центра УрО РАН. – Сыктывкар, 2011. – Вып. 1(5). – С. 54-66.
13. Соболев В. В. Минеральные фазы дислокационного метаморфизма / В. В. Соболев, В. М. Кравченко, О. В. Орлинская // Вестник Воронежского университета. Геология. – 2002. – №1. – С. 133-139.
14. Флюидно-эксплозивные образования в осадочных комплексах / А. П. Казак, Н. Н. Копылова, Е. В. Толмачёва и др. – СПб.: [Б.и.], 2008. – 38 с.
15. Формационный, фациальный состав и рудоносность белозерской серии докембрия Украинского щита в зеленокаменных структурах Среднего Приднпровья / М. В. Рузина, О. А. Терешкова, В. Н. Иванов, А. Я. Смирнов // Наук. вісник НГУ. – 2013. – № 5 – С. 17-23.
16. Шевчук В.В. Загальна геотектоніка з основами геодинаміки / В. В. Шевчук, В. А. Михайлов. – К.: ВПЦ, "Київський університет", 2005. – 328 с.
17. Яценко В. Г. Геология, минералогия и генезис графита Украинского щита / Яценко В. Г. – Монография, К., Логос, 2008. – 127 с.

References

1. Yatsenko, G.M., Gurskiy D.S., Sliyko E.M., Geyko, Yu.V., Prihodko, V.L., Rosikhina, A.I., Drozdetskiy, V.V., Yatsenko, V.G. (2002). Diamondiferous formations and structures of the south-west margin of the East European Platform. History of diamond minerageny. Kiev, UkrGGRI, 3-15. [in Russian].
2. Internal structure of the ore-bearing Pre-Cambrian faults. (1985). Ed. Kazanskiy, V.I. Moscow: Nauka, 168 p. [in Russian].

3. Gintov, O.B. (2004). Deep faults zones of the Ukrainian Shield. Influence of deep fault formation processes on formation of the earth crust structures. *Geophysical Journal*, 26(3), 3-24. [in Russian].
4. Belevtsev, Ya.N., Kravchenko, V.M., Kulik, D.A. et al. (1985). Precambrian Banded Iron Formations in the European Part of the USSR. *Genesis of Iron Ores*. Kiev: Naukova Dumka, 216 p. [in Russian].
5. Zhiltsova, I.V., Ruzina, M.V., Svistun, V.K. (2015). The regularities of distribution of hydrothermal gold-bearing formations in the Middle Pridnipro megablock within the Ukrainian Shield in relation to deep faults systems. *Dnipropetrovsk: State HEI "NMU"*, 131 p. [in Russian].
6. Zagnitko, V.N., Lugovaya, I.P. (1986). Isotopic composition of graphite in rocks of the Ukrainian Shield. *Mineralogical Journal*, 8 (1), 44-56. [in Russian].
7. Ivankin, P.F. (1986). Fluid-magmatogene columns of deep faults and prospects for mineralization. *Subsurface conditions of endogenous ore formation*. Moscow: Nauka, 271 p. [in Russian].
8. Belov, S.V., Lapin, A.V., Tolstov, A.V., Frolov, A.A. (2008). Mineralogy of platform magmatism (traps, carbonatites, kimberlites). *Novosibirsk: Izd-vo SO RAN*, 537 p. [in Russian].
9. Patalaha, Ye.I. (1970). Formation mechanism of flow structures in compression zones. *Alma-Ata: Nauka*, 215 p. [in Russian].
10. Smirnov, V.I. (1957). Ore regenerated deposits. *Moscow: Izd-vo IL*, 251 p. [in Russian].

M. Ruzina, Dr. Sci. (Geol.), Prof.
E-mail: ruzinamarina@rambler.ru,
O. Tereshkova, Cand. Sci. (Geol.), Assoc. Prof.
E-mail: terolla@ukr.net,
N. Bilan, Cand. Sci. (Geol.), Assoc. Prof.
E-mail: bilanatan@gmail.com,
I. Zhiltsova, Cand. Sci. (Geol.), Assoc. Prof.
E-mail: zhiltsova_i_v@rambler.ru
State Higher Educational Institution "National Mining University"
19 D. Yavornitsky Ave., Dnipro, 49005, Ukraine

11. Ruzina, M.V. (2010). Metasomatic formations of the Middle Pridnipro megablock in the Ukrainian Shield (the regularities of distribution, petrology, and presence of ore). *Dnipropetrovsk: National Mining University*, 158 p. [in Russian].
12. Rybalchenko, A.Ya., Rybalchenko, T.M., Silaev, V.I. (2011). Theoretical basis for forecasting and exploration of primary diamond deposits of tuffite type. *Proceedings of Komi Scientific Centre of the Ural branch of the Russian Academy of Sciences*, 1(5), 54-66. [in Russian].
13. Sobolev, V.V., Kravchenko, V.M., Orlinskaya, O.V. (2002). Mineral phases of dislocation metamorphism. *Proceedings of Voronezh State University. Geology*, 1, 133-139. [in Russian].
14. Kazak, A.P., Kopylova, N.N., Tolmacheva, E.V. et al. (2008). Fluid-explosive units in sedimentary complexes. *SPb.: B.I.*, 38 p. [in Russian].
15. Ruzina, M.V., Tereshkova O. A., Ivanov, V. N., Smirnov, A. Ya. (2013). Formational and facial composition and ore-bearing of belozerskaya series of Pre-Cambrian of Ukrainian Shield in green-stone structures of Middle Pridnipro. *Scientific Bulletin of NMU*, 5, 17-23. [in Russian].
16. Shevchuk, V.V., Mykhailov V.A. (2005). *General geotectonics on the basis of geodynamics*. Kiev: PPC "Kiev university", 328 p.
17. Yatsenko, V. G. (2008). *Geology, mineralogy and genesis of graphite of the Ukrainian Shield*. Kiev: Logos, 127 p.

Надійшла до редколегії 16.11.16

ROLE OF DISLOCATION METAMORPHISM IN ENDOGENIC ORE-FORMING PROCESSES WITHIN THE BELOZERSKA GREENSTONE STRUCTURE

The purpose of the paper is to define the genesis of epigenetic ore formations within the Belozerska greenstone structure (BGS).

Methodology included determination of composition, structure, and relationship of geological and ore formations, and the study of composition of the formations of hydrothermal metasomatites. Analyzed type of mineralization has been revealed in different stratigraphic complexes throughout the entire territory of BGS, but most intensively it has been represented in footwall rocks of the South-Belozersk deposit. Anomalous zones have plate-shaped and block form, occur in multiple layers and parallel groups (bundles) with heavy pitch to the east and close to concordant bedding.

Results. The complex mineralization of precious metals (PM) related to the hydrothermal metasomatic formations (listvenite-beresite, greisen and carbon formations) was identified within the Mykhailivka suite of Belozerska series. The material composition of the precious metal mineralization is characterized by two features – the predominant localization in the metasomatic listvenite-beresite formation and complex multi-stage nature of spatial combining four mineral assemblages of different age. The absence of not only genetic, but also hydrothermal paragenetic relation with magmatism is characteristic for the conditions of the hydrothermal mineralization in BGS. Dislocation metamorphism had the dominating role in the structure formation and developed after the regional metamorphism and irrespectively of it. Regional and local faults are ore-controlling structures, namely, they control both the position of BGS at the intersection of four deep fault systems and subordinate fault, fold and boudinage structures. Spatial combination of mineralization processes that are different in the type and age is associated with multiple manifestations of tectonic activity and the structural position of thick metabasite Konkiska series under the substantially terrigenous Belozersk series. These fluid-explosive units identified within the Pereverzevsk suite of Belozersk series are analogous to diamond prospecting visherite of the Urals and diamondiferous phyllite in Brazil in their morphological features, mineral composition and structure.

Novelty. Factual background of the manifestations of dislocation metamorphism in deep faults within the study structure is set and proved its ore-forming role in the formation of complex epigenetic ore formations.

Practical importance. Study results provide for the discovery of unconventional deposits of PM in black-shale strata and diamond prospecting formations of non-kimberlite genesis.

Keywords: dislocation metamorphism, ore formations, fluid-explosive units, precious metals.

M. Рузіна, д-р геол. наук, проф.
E-mail: ruzinamarina@rambler.ru,
О. Терешкова, канд. геол. наук, доц.
E-mail: terolla@ukr.net,
Н. Білан, канд. геол. наук, доц.
E-mail: bilanatan@gmail.com,
І. Жильцова, канд. геол. наук, доц.
E-mail: zhiltsova_i_v@rambler.ru
Державний ВНЗ "Національний гірничий університет"
пр. Д. Яворницького, 19, м. Дніпро, 49005, Україна

РОЛЬ ДИСЛОКАЦІЙНОГО МЕТАМОРФІЗМУ В ЕНДОГЕННМУ РУДОУТВОРЕННІ У БІЛОЗЕРСЬКІЙ ЗЕЛЕНОКАМ'ЯНІЙ СТРУКТУРІ

Мета досліджень – визначення умов формування епігенетичних рудних формацій в межах Білозерської зеленокам'яної структури (БЗКС).

Методика досліджень складалася з визначення складу, будови та взаємовідношень геологічних і рудних формацій, з вивчення складу формацій гідротермальних метасоматитів.

Результати. У гідротермальних метасоматитах ліственіт-березитової, грейзенової й вуглецевої формацій, просторово суміщених з михайлівською світою білозерської серії в межах однойменної структури, виявлена комплексна мінералізація благородних металів (БМ). Розглянутий тип мінералізації виявлений в різних стратиграфічних комплексах на всій території БЗКС, але найбільш інтенсивно виражений у породах лежачого боку Південно-Білозерського родовища. Аномальні зони мають пластиноподібно-блокову форму, залягають багатоярусно і складають паралельні групи (пучки) з крутим східним падінням і близьким до здійного заляганням. Для речовинного складу зрудніння благородних металів характерні дві особливості – переважна локалізація в метасоматитах ліственіт-березитової формації і складний багатостадійний характер з просторовим поєднанням чотирьох різновікових мінеральних парагенезисів. Для умов гідротермального рудоутворення в БЗКС характерна відсутність не тільки генетичного, а й парагенетичного зв'язку гідротермальних утворень з магматизмом. У формуванні структури провідна роль належить дислокаційному метаморфізму, який проявився після регіонального та незалежно від нього. Рудоконтролюючими є регіональні і локальні розломні структури – від положення БЗКС у вузлі перетину чотирьох систем глибинних розломів до підпорядкованих ним розломних, складчастих і будінаж-структур. Просторове поєднання різних за типом і віком процесів рудоутворення пов'язано з багаторазовим проявом тектонічної активізації та зі структурним положенням потужної метабазитової конкської серії під істотною терригенною білозерською серією. При цьому флюїдно-експлозивні утворення, виявлені в межах переверзівської світи білозерської серії, за морфологічними особливостями, мінеральним складом і структурою виявляють аналогію з алмазоперспективними вішерітами Уралу й алмазонасними філіїтами Бразилії.

Наукова новизна. Встановлено факти, що свідчать про реальність проявів дислокаційного метаморфізму зон глибинних розломів в межах досліджуваної структури і обернутою його рудоутворюючу роль у формуванні комплексу епігенетичних рудних формацій.

Практичне значення. Результати досліджень дозволяють прогнозувати можливість відкриття нетрадиційних родовищ БМ у чорносланцевих товщах і алмазоперспективних формаціях некімберітового генезису.

Ключові слова: дислокаційний метаморфізм, рудні формації, флюїдно-експлозивні утворення, благородні метали.