

## МЕТАСОМАТОЗ В ПОРОДАХ КРИВБАССА

**Ю.Ф. Великанов, О.Ю. Великанова**

*Институт геохимии, минералогии и рудообразования им. Н.П. Семеновко НАН Украины  
03680, просп. Палладина 34, Киев, Украина  
E-mail: olgavelikanova1@rambler.ru*

В породах Кривбасса выделено и изучено 36 зон метасоматоза, в которых проявлены следующие его типы: магнезиально-железистый, щелочной, представленный альбитизацией, эгиринизацией и рибекитизацией, пневматолитический, кварцевый метасоматоз, грейзенизация, березитизация, серицитизация и хлоритизация. В распределении зон метасоматоза основную роль играет тектонический фактор. В зонах метасоматоза установлены аномальные концентрации Au, Ag, Pt, Li, Rb, Cs, Sc, V, Zr, Cu, Pb, Mo, W, U и других редких и рассеянных элементов. Возраст метасоматических процессов составляет 1700–1900 млн лет. Выявленные аномальные концентрации рудных элементов в зонах метасоматоза позволяют рассматривать Кривбасс в качестве региона, перспективного (кроме железа) на некоторые редкие, рассеянные и благородные металлы.

**Введение.** Кривбасс с его интенсивной тектоникой является хорошо подготовленной территорией для широкого развития метасоматических процессов, несущих разнообразную рудную минерализацию.

В породах, подвергшихся метасоматическим изменениям, метасоматоз проявлен по узлокальным зонам мощностью от нескольких метров до первых десятков метров либо привел к площадному преобразованию вмещающих пород до нескольких сотен квадратных метров. Особенность метасоматических процессов – их неоднократное проявление и частое совмещение в пространстве. В результате наложения различных типов метасоматоза, неоднократно и в разное время преобразовавшего одни и те же породы, не всегда однозначно можно выявить особенности перераспределения и содержания элементов, характерных только для определенного типа метасоматоза.

В целом интенсивность проявления метасоматических процессов возрастает по простиранию Криворожской структуры с юга на север. Наиболее развит метасоматоз в северной части региона (Первомайский рудник, рудник им. Ленина и Восточно-Анновская полоса).

© Великанов Ю.Ф., Великанова О.Ю., 2012

Основной материал для изучения отобран из kernового материала скважин Первомайского структурного профиля (ПСП), пробуренного между рудниками им. Ленина и им. 1 Мая, которым последовательно вскрыт весь разрез пород в северной части бассейна. Дополнительный материал собран в карьерах, шахтах, обнажениях и отдельных скважинах по всему простиранию основной структуры. В горных выработках Первомайского рудника и Первомайского карьера целенаправленно опробованы зоны щелочного метасоматоза, развитые в породах пятого, шестого и седьмого железистых горизонтов саксаганской свиты.

**Цель работы** – дать краткую минералого-петрографическую и геохимическую характеристику метасоматитов, выявленных в породах Кривбасса.

**Методы исследований.** При изучении метасоматитов использованы петрографический, химический и спектральный методы изучения пород.

**Краткий обзор предыдущих исследований.** Наиболее полный обзор метасоматических процессов в Кривбассе дан в работах Н.А. Елисеева, А.П. Никольского и В.Г. Кушева [6], Я.Н. Белевцева [3], А.И. Тугаринова, А.С. Павленко и И.В. Александрова [22], Ю.Ир. Половинкиной [10–12], А.И. Стрыгина [18–20], И.В. Александрова [1, 2], Н.П. Семеновко [14–17], В.Г. Кушева [8], Б.И. Пирогова и др.

[9], Н.С. Курлова и др. [7], Н.И. Половко [13] и многих других исследователей.

Как следует из опубликованных данных, указанные авторы традиционно исследовали исключительно породы железисто-кремнистой формации. При этом минимальное внимание было уделено изучению безрудных, подстилающих и перекрывающих продуктивную саксаганскую свиту толщ.

В результате были выделены и изучены наиболее характерные и широко развитые метасоматические процессы в железисто-кремнистой формации: магнезиально-железистый метасоматоз, альбитизация, эгиринизация, рибекитизация, окварцевание, карбонатизация и другие виды метасоматоза.

Н.С. Курловым с соавторами [7] по материалам сверхглубокой скважины, в западном крыле Криворожского синклиория установлен: 1 – биметасоматоз, приводящий к образованию эпидота, сфена, шеелита, альбита и других минералов в плагиогранитоидах и плагиомигматитах ингулецкого комплекса; 2 – кремнекислотный метасоматоз и грейзенизация в архейских плагиогранитоидах и метабазитах новокриворожской свиты; 3 – щелочной и хлорит-карбонатный метасоматоз в толщах осадочно-вулканогенных формаций. В этой статье мы предлагаем обзор не описанных ранее процессов метасоматоза в осадочно-вулканогенных образованиях новокриворожской, скелеватской, саксаганской и гданцевской свит по данным Первомайского ПСП.

**Краткое геологическое строение региона.** Криворожский железорудный бассейн представляет собой крупный сложнопостроенный синклиорий, составленный группой сопряженных чешуйчатых складок субмеридионального простирания. Кроме складчатых структур в регионе широко развиты разрывные нарушения, наибольшие из них – Западный, Тарапаковский, Саксаганский, Девладовский и Восточный разломы. Меньшие продольные, поперечные и диагональные разрывы это система нарушений, оперяющих крупные региональные разломы, по которым наиболее легко осуществлялась циркуляция гидротермальных растворов, вызывавших метасоматические изменения пород.

Обрамление Кривбасса представлено комплексами гранитоидов архейского и протерозойского возраста.

Разрез структуры сложен метабазитами новокриворожской свиты, терригенной аркозово-филлитовой толщей и тальковым горизонтом ске-

леватской свиты, железисто-кремнистыми образованиями саксаганской свиты, осадочно-вулканогенными и хемогенными отложениями гданцевской свиты криворожской серии и груботерригенными осадками глееватской свиты.

В разрезе региона по данным Первомайского ПСП нами выделено 36 зон метасоматоза, в которых проявлены следующие его типы: магнезиально-железистый, щелочной, пневматолический метасоматоз, грейзенизация, березитизация, хлоритизация, кварцевый и кварц-сульфидный метасоматоз.

В распределении метасоматических зон существует определенная закономерность, проявляющаяся в четкой приуроченности их к участкам подвижек, межслоевых сдвигов, брекчирования, микроскладчатости и трещиноватости. Все они служат благоприятными путями для циркуляции гидротермальных растворов, под воздействием которых происходила переработка пород, привнос, перераспределение и концентрация рудных элементов.

**Типы метасоматоза в породах Кривбасса.** *Типы метасоматоза в метабазитах новокриворожской свиты.* Из наложенных метасоматических процессов в пределах Первомайского ПСП в метабазитах новокриворожской свиты по скв. 16880 в интервале 100–298 м выделена и изучена зона *кварц-сульфидного метасоматоза*, к которой приурочена рудная минерализация пирита, пирротина, халькопирита, сфалерита, галенита и арсенопирита. Метасоматические изменения представлены окварцеванием и интенсивной сульфидизацией в виде вкрапленности и прожилков.

Для изученной зоны метасоматоза характерны повышенные содержания, %: Ti – до 0,2, V – 0,04, Zr – 0,03. Повышение содержания циркония связано с биотитизацией и окварцеванием амфиболитов. Биотиты нередко переполнены плеохроичными двориками, в центре которых при большом увеличении диагностируются мельчайшие кристаллики циркона. В некоторых интервалах содержание Cr и Ni достигает 0,1 %, Co – 0,006 %. Высокие значения содержания этих элементов связаны с сульфидами. По данным микрорентгеноспектрального анализа, содержание Ni в пиритах достигает 0,1, Co – 0,5 %. Хром в пирротине накапливается. Содержание Zn достигает 0,1, Pb – 0,01, Cu – 0,03 %. Содержание Au разное, на всем двухсотметровом интервале керна и изменяется от 0,003 до 0,3 г/т. Содержание Ag не превышает 0,0005 %, но из 51 пробы оно установ-

лено в 15, то есть частота встречаемости Ag в зоне около 30 %.

Проявления кварц-сульфидного метасоматоза изучены и в Восточно-Анновской полосе, в контакте метабазитов и розовато-серых боковянско-лозоватских гранитов. Здесь в скв. 20526 установлено несколько зон кварц-сульфидного метасоматоза мощностью до нескольких десятков метров. Минерализация представлена пиритом, пирротинном, халькопиритом, молибденитом, вольфрамитом, арсенопиритом и золотом. Развита она, в основном, в метабазитах и почти отсутствует в гранитах.

Связь процессов гранитизации с гранитными флюидами подтверждается появлением и часто аномальными значениями содержания в метабазитах рудных элементов, не характерных для пород вулканогенной формации, но типичных для гранитоидных магм – Mo, W, Bi, As, Sn и других. Во вмещающих породах появляются микроклиновые прожилки, наблюдаются признаки переработки пород и активного воздействия гранитной магмы на вулканогенную толщу. По мере удаления от зон воздействия гранитоидов приконтактные изменения пород постепенно исчезают.

Процесс изменения вмещающих пород при гранитизации обычно начинается с появления кварцевых и микроклиновых прожилков. Далее плагиоклазы замещаются микроклином, роговая обманка – биотитом. Наблюдается вынос Fe, Mg, Ca, привнос Si и K. Для интенсивно измененных амфиболитов характерно изменение количества темноцветных минералов и увеличение содержания кварца, слюд, сульфидов.

Процессы рудного минералообразования, очевидно, многостадийные. На высокотемпературной стадии отлагается крупночешуйчатый молибденит, иногда образующий гнездообразные скопления, на более низкотемпературной – мелкочешуйчатый, часто с образованием волосовидных прожилков, секущих выделения крупночешуйчатого минерала.

*Типы метасоматоза в аркозово-филлитовой толще скелеватской свиты.* Процессы метасоматоза в породах терригенной формации развиты локально и приурочены к зонам нарушения. Наиболее широко проявлен здесь кварцевый метасоматоз. В обнажениях балки Северная Червоная и в восточном крыле Лихмановской синклинали окварцованные метаконгломераты и метапесчаники выглядят как вторичные кварциты. На таких участках наблюдается многофазное

развитие позднего кварца с замещением им части или даже всех первичных минералов. При кварцевом метасоматозе в породах формации наблюдается перераспределение золота, серебра, и особенно, свинца. Содержание золота связано не только с терригенным привносом в процессе накопления толщи, обусловившем, видимо, фоновое содержание металла, но и с последующим метасоматическим перераспределением, в результате которого сформировались его вторичные аномальные концентрации (до 7 г/т). Содержание Ag составляет 50 г/т.

Метасоматические кварциты развиты по всему региону, особенно в северной части Кривбасса, в пределах Восточно-Анновской полосы и Желтореченской структуры. В Анновской структуре метасоматические кварциты прослеживаются на расстояние до 10 км при мощности более 100 м [13].

К ультрабазитовой эффузивной формации отнесены породы талькового горизонта, которые отличаются большой выдержанностью и служат маркирующим горизонтом на всем протяжении восточного крыла Саксаганской синклинали. В породах горизонта, сложенного тальковыми, актинолит-тремолитовыми, тальк-актинолитовыми, карбонат-актинолит-тальковыми, хлорит-серпентин-тальковыми и другими сланцами, выделено несколько слабоконтрастных зон оталькования, карбонатизации, окварцевания и амфиболитизации. Процессы слабо выражены и недостаточно изучены. В отдельных зонах метасоматоза установлено содержание, %: Ва – до 0,05, V – 0,07, Zn – 0,02, As – 0,04.

*Типы метасоматоза в породах железисто-кремнистой формации саксаганской свиты.* По минералого-геохимическим особенностям в породах железисто-кремнистой формации выделено два основных типа метасоматоза: магнезиально-железистый и щелочной. Подчиненное значение имеют поздний кварцевый, карбонатный и сульфидный метасоматоз.

Магнезиально-железистый метасоматоз, как наиболее ранний из щелочных процессов, развит обычно по железисто-кремнистым образованиям. При этом типе метасоматоза куммингтонит замещает в первую очередь кварц, далее – магнетит и развивающийся по нему гематит. При интенсивном метасоматозе меняются текстуры исходных пород – наблюдается исчезновение кварцевых, а затем рудных прослоев, вследствие чего происходит преобразование первичной слоистой толщи в мас-

сивную породу с реликтами слоистости. На заключительном этапе породы подвергаются карбонатизации, образуются куммингтонит-магнетитовые и магнетит-силикатные с карбонатами руды. На Первомайском РУ магнезиально-железистый метасоматоз носит обычно узколокальный характер. Ширина зон метасоматоза от 10–20 до 50–70 м.

Наиболее широко распространен натровый метасоматоз, проявившийся в альбитизации полевых шпатов, эгиринизации и щелочной амфиболлизации кварца и темноцветных минералов.

По вещественному составу щелочной метасоматоз можно разделить на альбитовый, эгириновый и рибекитовый типы.

Щелочной метасоматоз развит преимущественно среди железисто-кремнистых пород и проявлен в развитии щелочных минералов: пироксенов (главным образом эгирина), амфиболов (рибекита, родузита, кроссита) и плагиоклазов (альбита). Наблюдаются некоторые особенности метасоматических замещений: чаще всего альбитовые метасоматиты развиваются по алюмосиликатным слюдястым сланцам, эгириновые – по магнетит-силикатным кварцитам, рибекитовые – по амфибол-магнетитовым и куммингтонитовым сланцам.

Альбитизация распространена широко, но в целом проявлена слабо. Пространственно участки развития альбитов совпадают с участками эгиринизации и рибекитизации, но исходными для них обычно служат богатые глиноземом породы – слюдястые и амфибол-слюдястые сланцы.

Альбититы, образовавшиеся при метасоматическом замещении слюдястых сланцев, довольно однородны по минеральному составу и сложены преимущественно альбитом и гидрослюдястым биотитом, изредка отмечены актинолит, тремолит, хлорит и другие минералы. В частично альбитизированных породах в разных количествах сохраняются главные породообразующие минералы исходных сланцев: кварц, биотит, мусковит, амфиболы, полевые шпаты.

В зонах альбитизации на рудниках Первомайском и им. Ленина, а также в Восточно-Анновской полосе установлено повышенное содержание TR, U, V, Zr, Sc, P и других элементов.

С зонами альбитизации и сопровождающим ее карбонатным метасоматозом в регионе и на шите связаны известные рудопроявления и месторождения урана.

Эгиринизация носит узколокальный характер и приурочена обычно к тектоническим нарушениям, участкам дробления и развития сложно-

плойчатой складчатости. В толще пород ошелачивание проявляется неравномерно: наряду с интенсивно измененными породами встречаются участки, где породы сохранили свой исходный состав, структуру и текстуру. Кроме того, отчетливо проявлен избирательный характер процесса. Наиболее легко эгирин замещает кварц, хуже – куммингтонит и очень плохо – магнетит. На начальных стадиях процесса возникают щелочно-силикатно-кварцевые роговики с рибекитом, эгирином и ферробититом. Одновременно происходит частичная перекристаллизация пород с увеличением размера зерен кварца и магнетита, гематит постепенно исчезает, появляется альбит в виде линзовидных выделений. Эгирин и щелочные амфиболы образуют порфиробласты, которые при дальнейшем развитии замещают все окружающие минералы. Выделения эгирина часто сопровождаются крупнозернистым кварцем, карбонатами и, иногда, новообразованиями магнетита. На Первомайском руднике щелочной метасоматоз в виде эгиринизации и образования щелочных амфиболов, альбитизации и карбонатизации наиболее широко развит в амфибол-магнетитовых и амфибол-гематит-магнетитовых роговиках и сланцах. Эгириниты и эгиринизированные породы со щелочными амфиболами образуют тела и жилы мощностью до 30–35 м длиной десятки, изредка сотни метров. Часто эгириниты интенсивно сульфидизированы, в них установлены пирит, пирротин, реже арсенопирит и очень редко халькопирит и сфалерит. На заключительных этапах процесса наблюдается мощное окварцевание. В некоторых случаях метасоматиты характеризуются зональным строением, проявленным в смене зон метасоматоза от центральной части метасоматического тела к периферии: зона эгиринизации – зона рибекитизации – зона окварцевания – неизменные железистые кварциты.

В интенсивно сульфидизированных зонах эгиринизации Первомайского месторождения, содержание рудных элементов составляет, г/т: Au до 0,5, Pd – 0,35, Pt – 0,08, Ag – до 100.

Рибекитизация распространена шире и захватывает значительные площади. Рибекит развивается, главным образом, по куммингтониту, образуя с ним непрерывный ряд переходов, нередко он замещает эгирин.

Щелочной метасоматоз с образованием рибекита и эгирина в пределах Первомайского ПСП приурочен к полосам железистых куммингтонитовых кварцитов, вытянутых в виде четырех чешуй и

образовавшихся в результате тектонического внедрения их в зоне Дальних Западных полос (ДЗП) в породы алюмосиликатной формации.

В разрезе ДЗП нами установлены и изучены четыре зоны щелочного метасоматоза. Магнетит-силикатные кварциты тут представлены тонко- и среднеполосчатыми породами, наиболее распространены магнетит-амфиболовые и карбонатные разности. Полосчатость обусловлена чередованием кварцевых, магнетитовых, амфибол-карбонатных прослоев.

Петрографические исследования позволили выявить многофазность процессов метасоматоза в породах ДЗП. На первом этапе магнетит-силикатные кварциты участка подверглись магнезиально-железистому метасоматозу, проявившемуся в образовании прослоев куммингтонита. Позже наложился щелочной метасоматоз, выразившийся в эгиринизации и амфиболлизации темноцветных минералов, кварца и магнетита ранней генерации.

В зонах щелочного метасоматоза содержание, %: Li – 0,02, Rb – 0,025, Sr – 0,01, Ga – 0,02, Ba – 0,2, Ce – 0,01, V – 0,03, Zr – 0,01, Cu – 0,07. Среднее содержание золота в зонах метасоматоза составляет тысячные доли грамма на тонну, максимальное до 4 г/т.

Зона щелочного метасоматоза мощностью 38 м в силикатно-магнетитовых кварцитах пятого железистого горизонта изучена в Первомайском карьере. Породы горизонта представляют собой тонкослоистые серо- или краснополосчатые силикатно-магнетитовые кварциты. Полосчатость обусловлена тонким переслаиванием рудных, малорудных и безрудных прослоев. Силикатная составляющая кварцитов – это тонкие прослойки хлоритового, биотитового, куммингтонитового, эгиринового или рибекит-родузитового состава. В зоне щелочного метасоматоза установлены тысячные доли процента: Rb, Sr, Ba, V, Cu, Zn, сотые – Ti, F, Cl и B. Среднее содержание Au – 0,004 г/т, максимальное 0,007 г/т.

Среди пород шестого железистого горизонта в Первомайском карьере преимущественно развиты кварциты силикатно-магнетитовые и железисто-силикатные сланцы. Для кварцитов характерны средне- и широкополосчатые текстуры, обусловленные чередованием рудных, безрудных и железисто-слюдисто-кварцевых прослоев, состоящие из эгирина, рибекита, родузита и магнетита. Кварцевые прослои нередко "запылены" тонкодисперсным гематитом, обуславливающим специфический красный цвет.

В зоне щелочного метасоматоза мощностью 25 м в Первомайском карьере содержание, среднее и максимальное соответственно составляет, %: Rb – 0,002 и 0,01; Sr – 0,003 и 0,01; Ba – 0,005 и 0,01; Zr 0,003 и 0,006; Ti 0,02 и 0,08; V 0,003 и 0,01. В тысячных долях присутствуют Cu, Zn, Ga и Nb.

В магнетит-силикатных кварцитах седьмого железистого горизонта выделена зона щелочного метасоматоза мощностью 30 м. Породы представлены грубополосчатыми силикатно-карбонатно-магнетитовыми малорудными кварцитами и силикатными сланцами с магнетитом. Мелкозернистый магнетит в виде изометричных зерен образует довольно равномерную вкрапленность в сланцах либо группируется в слои различной мощности в железистых кварцитах. Силикаты в сланцах представлены куммингтонитом, хлоритом, в кварцитах – куммингтонитом, эгирином, рибекитом, кросситом, родузитом. По куммингтониту обычно развиваются щелочные амфиболы или эгирин, которые также замещают кварц, магнетит, либо развиваются послыбно или под углом к первичной складчатости в виде самостоятельной более поздней фазы.

В зоне метасоматоза наблюдается повышение содержания, %: Li и Cs до 0,002, Rb – 0,003, Sr – 0,004, Ba – 0,006, Ce – 0,05, Zr – 0,005, Ti – 0,08, V – 0,003, Cu – 0,006, Zn – 0,05, Pb – 0,01, As – 2,0. Среднее содержание Au в зоне 0,2 г/т, максимальное – 1,0 г/т. Наблюдается прямая корреляция между значениями содержания Au и As.

Щелочной метасоматоз сменяется карбонатным, при котором эгириниты, мартит-магнетит-щелочноамфиболовые кварциты и щелочно-амфиболовые сланцы карбонатизируются. Натрово-железистые силикаты частично замещены или перекристаллизованы, магнетит замещается мартитом, развиваются гидрослюды. На последней стадии метасоматоза натрово-железистые силикаты почти полностью замещаются карбонатами, в результате образуются гидрослюдисто-магнетит-мартит-карбонатные руды. Наблюдается привнос CaO, MgO, CO<sub>2</sub> и вынос кремнезема, глинозема, железа.

Самый поздний по времени проявления в породах железисто-кремнистой формации кварцевый метасоматоз, нередко сопровождающийся сульфидным, приводит к обогащению пород Au, Ag, Cu, Zn, Pb, As.

*Типы метасоматоза в породах гданцевской свиты.* В породах алюмосиликатной формации верхней части разреза криворожской серии установлены и изучены зоны метасоматоза, в которых

проявлены: пневматолитический метасоматоз, грейзенизация, кварцевый метасоматоз, березитизация, серицитизация и хлоритизация.

Проявлены эти типы метасоматоза в виде узлокальных зон мощностью несколько десятков метров и площадным преобразованием пород. Так, площадная серицитизация в пределах Первомайского ПСП отмечена в центральной части западного крыла (скв. 16901, 16902) и в западной чешуе ДЗП (скв. 16891, 16879); площадная карбонатизация установлена в антиклинальном поднятии восточного крыла (скв. 16893, 16894, 16895), площадная хлоритизация – в восточной части его синклиналиного поднятия (скв. 16890, 17516).

Участки площадного развития процессов серицитизации, карбонатизации и хлоритизации включают в себя зоны интенсивного локального метасоматоза. На фоне площадного развития процесса эти зоны выглядят более контрастными с точки зрения геохимического перераспределения элементов. В целом метасоматические процессы вызвали изменения количественного и качественного состава химических элементов, то есть концентрацию или рассеивание их.

**Пневматолитический метасоматоз.** С высокотемпературным пневматолитическим метасоматозом связаны аномалии бора, редкощелочных, литофильных и халькофильных элементов. Этот тип метасоматоза вызывает изменения вмещающих пород и их минералов вследствие одновременного воздействия высокой температуры и обогащенных летучими компонентами гранитных эманаций, обусловленных, видимо, становлением кировоградских гранитов. С процессом пневматолитического метасоматоза тесно связана грейзенизация и другие метасоматические процессы, что привело к образованию грейзенизированных пегматитов, часто редкометалльных.

Они развиты среди вулканогенно-осадочных образований криворожской серии на Первомайском руднике, в Восточно-Анновской полосе, а также среди гранитов восточного обрамления Кривбасса в тектонически ослабленных зонах. Сложены пегматиты калиевым полевым шпатом, кварцем, альбитом, сподуменом, турмалином, лепидолитом, литиевым мусковитом, апатитом и другими минералами. Соотношение породообразующих минералов существенно меняется в пределах разных участков проявлений. Исследования показали, что редкометалльная минерализация обусловлена привнесением в пегматиты редких и

рассеянных элементов в результате пневматолитического метасоматоза, а также последующих более низкотемпературных наложенных метасоматических процессов грейзенизации, альбитизации, окварцевания и борового метасоматоза.

Изучение пегматитов в шлифах позволило установить факт широкого проявления замещения первичных высокотемпературных ассоциаций минералов более низкотемпературными: развитие по полевым шпатам мусковита, альбита, кварца, замещение альбитом сподумена, турмалина. Ранний альбит, в свою очередь, замещается слюдами и кварцем.

Содержание Li в редкометалльных пегматитах достигает 0,9 %, Rb 0,4, Cs – 0,2, В – нескольких процентов. Среди щелочноземельных элементов среднее и максимальное содержание соответственно составляет, %: Ва – 0,06 и 0,7, Sr 0,006 и 0,1. Среди редкоземельных элементов пегматитов установлено повышенное содержание Y и La – до 0,03, Се – до 0,06 %. Из литофильных элементов следует отметить повышенное содержание, %: Zr до 0,06, (при среднем 0,008) и Nb – до 0,03, Be до 0,005 (среднее – 0,0006), Установлено устойчивое содержание Au – до 0,1 г/т, Pb – до 0,02 %, Cu – 0,1 %, Zn – 0,05 %.

**Грейзенизация.** Грейзенизация – высокотемпературный (500–300 °С) процесс, проходящий с образованием кварца, мусковита, турмалина, литиевых слюд, апатита и других рудных минералов во вмещающих породах.

Процессы грейзенизации с образованием собственно грейзенов наблюдаются лишь изредка на локальных участках, чаще же это в разной степени проявленное окварцевание и мусковитизация пород. При этом участки интенсивного изменения вмещающих пород прослеживаются внутри ореолов слабой грейзенизации в виде зон и линз разной мощности (обычно первые метры) и приурочены чаще всего к разломным зонам. Нередко процессы грейзенизации тесно связаны с березитизацией, сульфидным и карбонатным метасоматозом.

В породах гданцевской и глееватской свиты зоны грейзенизации установлены в блоке антиклинального поднятия восточного крыла Криворожского синклинория (скв. 16890, 16894). Общая мощность зон метасоматоза здесь около 300 м при мощности блока 1200 м. Процессы грейзенизации наложены на породы I и II роговиковых ступеней метаморфизма.

На западном крыле Криворожского синклинория установлены две зоны, (скв. 17517) процес-

сы грейзенизации наложены здесь на сланцы филлитовой ступени метаморфизма.

В блоке ДЗП (скв. 16891) грейзенизации подверглись переслаивающиеся двуслюдяные микрогнейсы и роговики II ступени метаморфизма.

Зоны грейзенизации установлены также на Восточно-Анновском участке, где грейзенизируются metabазиты новокриворожской свиты и гранитоиды боковьянско-лозоватского комплекса (скв. 20526).

В зонах грейзенизации наблюдаются изменения концентраций редкощелочных элементов, для которых характерны устойчивые содержания Li (до тысячных) и Ba (до сотых долей процента). Максимальное содержание Ba составляет 0,6, Sr – 0,2 %. Повышены содержания, %: литофильных элементов Ni до 0,001, Zr до 0,019, Mo – десятые-сотые доли процента, V – до 0,01, Ti до 0,3. Также повышено содержание Cu, Zn, Pb и As.

Для зон грейзенизации характерно фоновое содержание золота на уровне 0,003–0,03 г/т и максимальное до 0,2 г/т. Как видно из анализа разрезов, аномальные значения содержания Au приурочены к отдельным прослоям мощностью от нескольких метров до нескольких десятков метров. Так, в скв. 17517 содержание Au в пределах 0,1 г/т составляет 12 %, 0,01 – 25 %. В интервалах с повышенным содержанием Au установлено и повышенное содержание Cu (до 0,01–0,06 %), Pb (до 0,01), Zn (до 0,02) и As (до 0,2).

Среди минерализаторов наиболее высокие значения содержания характерны для: P – 0,2 %, B – 0,01, S – 0,6, F и Cl – 0,08 %.

**Кварцевый метасоматоз.** Наиболее широко кварцевый метасоматоз развит в пределах тектонических чешуй ДЗП. В результате метасоматического окварцевания карбонатных пород, гранат-серицитовых и актинолитовых сланцев здесь образовались пачки вторичных кварцитов, мощностью от 10 до 50 м. В зонах метасоматоза наблюдается повышенное фоновое содержание халькофильных элементов и золота. Второй участок развития метасоматических кварцитов находится на западном крыле Криворожской синклинали, где интенсивному окварцеванию подверглись породы филлитовой и роговиковой ступеней метаморфизма (скв. 17517 и 16905).

В зонах кварцевого метасоматоза содержания редкоземельных элементов очень различны, %: La и Ce до 0,1–0,2, Sc и Y – до 0,008, иногда Mo до 0,02, Nb до 0,002–0,003. Повышено содержание Cu, Zn и Pb. Средние значения содержания Au

0,005–0,008, максимальное до 0,3 г/т. Ag присутствует в десяти тысячных знаках. Максимальное содержание P составляет 3 %, B и F – 0,1 %. Высокое содержание S (2,2–4,03 %) связано с постоянным присутствием сульфидов в зонах метасоматоза.

**Березитизация.** Метасоматическому преобразованию этого типа подверглись породы гданцевской свиты филлитовой и роговиковой ступени метаморфизма. Процесс проявился в обильном окварцевании и серицитизации исходных пород, то есть проходил с привнесением калия, кремнезема, серы и других компонентов.

Зоны березитизации установлены на западном (скв. 16905, 16901, 16896) и восточном (скв. 16903, 16892, 16898) крыльях Криворожской синклинали.

Между зонами березитизации развита площадная серицитизация. В восточном крыле синклинали она сменяется площадной хлоритизацией. Последнюю далее на восток, сменяет вновь карбонатизация, которую в антиклинальной части восточного крыла сменяет площадная хлоритизация, которая прослеживается до тектонических чешуй ДЗП, характеризующихся иным вещественным составом пород, степенью их метаморфической переработки и типами метасоматоза.

Таким образом, в породах алюмосиликатной формации наблюдается зональность метасоматических процессов.

В зонах березитизации пород наблюдается повышение содержания Li (до 0,01), Rb (0,03 %). Максимальное содержание Sr составляет 0,2, Ba – 0,5 %, Nb присутствует в тысячных долях процента. Содержание Zr в одной из зон достигает 0,06 %, содержание Ti повышено до 0,5, V, As и Zn – 0,02, Cu – до 0,07. Среднее содержание Au по зонам составляет 0,01–0,05 г/т, но в одной из зон установлено максимальное – 3 г/т. Наблюдается четкая корреляция между значениями содержания Au и As. Также в зонах березитизации повышено содержание P до 1 и S – до 7 %.

**Серицитизация.** Этот низкотемпературный калиевый метасоматоз линии кислотного выщелачивания связан с привнесением в породы калия, серы и выносом железа и магния, что служит причиной "обеления" пород.

Процессам серицитизации подверглись породы разного состава: в западном крыле основной структуры зоны серицитизация установлена в биотитовых микрогнейсах (скв. 16902, 16897), в западной чешуе ДЗП – в филлитовых сланцах (скв. 16909).

В зонах серицитизации максимальное содержание составляет, %: Rb – 0,03, Cs – 0,01, Ce – 0,02, Zr – 0,1, Ti – 0,6, V – 0,05, Cr – 0,05, Ni – 0,05, Cu – 0,05, Zn – 0,08. Среднее содержание Au 0,001–0,009 г/т, максимальное – до 0,02 г/т.

**Хлоритизация.** Наиболее низкотемпературный метасоматоз проявлен в виде хлоритизации, в результате которой происходит замещение амфиболов, пироксенов, слюд, эпидота и других минералов хлоритом. Метасоматоз проходит с выносом калия и натрия и привнесением серы, кремнезема и карбонатов.

Площадная хлоритизация наблюдалась в биотитовых, актинолитовых и роговообманковых сланцах на протяжении более 330 м в пределах антиклинального поднятия приосевой части восточного крыла Криворожской синклинали (скв. 16890, 17516), мощность зон от 30 до 140 м.

Содержание Li, Rb и Cs в зонах хлоритизации составляет тысячные доли процента. В отдельных зонах наблюдается повышение содержания, %: Li, La, Zr до 0,01, Rb и Sr – до 0,02, Ce – 0,02, V – 0,02. Среднее содержание Cu, Zn, Pb и As составляет тысячные доли процента, максимальное 0,02–0,03 %. Среднее содержание Au 0,003–0,006 г/т, максимальные до 0,07 г/т.

Таким образом, в породах алюмосиликатной формации установлены аномальные значения содержания некоторых благородных, редких и рассеянных элементов. Они неравномерно распределены в породах региона и концентрируются только в зонах метасоматоза.

Результаты определения абсолютного возраста метасоматических процессов в регионе немногочисленны. Изотопный возраст мусковита из грейзенизированных гранитов восточного обрамления Кривбасса, определенный с помощью калий-аргонового метода, составляет 1720–1760 млн лет [5]. Получены многочисленные определе-

ния изотопного возраста по радиоактивным акцессорным минералам альбититов (уран-свинцовый метод), которые свидетельствуют о том, что возраст основной фазы альбитизации составляет  $1800 \pm 50$  млн лет [4]. Для гидробиотита из альбититовых метасоматитов Северного Криворожья калий-аргоновым методом установлен возраст 1820 млн лет [22]. Наименьшая цифра – 1700 млн лет получена по рибекиту из зоны щелочного натриевого метасоматоза на руднике им. Фрунзе [23]. Возраст рибекита из щелочных роговиков рудника им. Ленина равен 1900 млн лет [23]. Абсолютный возраст уранинита, урановых руд и малакона из зон щелочного метасоматоза на Желтореченском месторождении (уран-свинцовый метод), составляет 1770 млн лет [21].

**Выводы.** 1. В породах северной части региона выделены такие типы метасоматоза: магниезально-железистый, щелочной, представленный альбитизацией, эгиринизацией и рибекитизацией, пневматолитический, кварцевый, кварц-сульфидный, грейзенизация, березитизация, серицитизация и хлоритизация.

2. Сложность изучения метасоматических процессов обусловлена тем, что это многоэтапные неоднократно проходящие процессы, часто накладывающиеся друг на друга.

3. Геохимическая специализация геологических формаций и их металлоносность обусловлена составом первичных рудных и привнесенных в процессе метасоматической минерализации элементов.

4. Установлены закономерности распределения рудных элементов в зонах метасоматоза. Выявленные аномальные концентрации рудных элементов позволяют рассматривать Кривбасс в качестве региона, перспективного (кроме железа) на некоторые редкие, рассеянные и благородные металлы.

1. Александров И.В. Об особенностях эволюции пород криворожской серии при щелочном метасоматозе // Геохимия. – 1959. – № 4. – С. 35–40.
2. Александров И.В. Натровый метасоматоз в Криворожье // Геохимия щелочного метасоматоза. – М.: Изд-во АН СССР, 1963. – С. 74–151.
3. Белевцев Я.Н. Генезис богатых железных руд криворожского типа // Геология и генезис докембрийских железисто-кремнистых марганцевых формаций мира. – К.: Наук. думка, 1972. – С. 274–291.
4. Белевцев Я.Н., Стрыгин А.С., Щербак Д.Н. Возрастные и генетические особенности метасоматических альбититов Украины // Проблемы изотопного датирования процессов метаморфизма и метасоматоза. – М.: Изд-во ГЕОХИ АН СССР, 1985. – С. 117–118.
5. Виноградов А.П., Тугаринов А.И., Зыков С.И. и др. Возраст докембрийских пород Украины // Тр. V сессии Комис. по определению абсолют. возраста геол. формаций. – М.: Изд-во АН СССР, – 1958. – С. 111–134.
6. Елисеев Н.А., Никольский А.П., Кушев В.Г. Метасоматиты Криворожского рудного пояса. – М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1961. – 204 с.

7. Курлов Н.С., Белевцев Р.Я., Мечников Ю.П. Рудно-метасоматическая зональность по разрезу Криворожской сверхглубокой скважины (СГ-8) // Збірник наукових праць ІГНС НАН та МНС України. – Киев, 2002. – Вып. 5/6. – С. 133–144.
8. Кушев В.Г. Щелочные амфиболы Криворожья // Геология и петрология докембрия. – Вып. II. – М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1960. – С. 273–291.
9. Пирогов Б.И., Евтехов В.Д., Архипов А.С. и др. Некоторые минералого-геохимические закономерности метасоматоза железистых кварцитов Северного Криворожья // Минерал. сб. Львовск. гос. ун-та. – 1975. – № 29. – Вып. I. – С. 35–42.
10. Половинкина Ю.Ир. Натровый метасоматоз как закономерность в образовании месторождений железистых кварцитов // Зап. Всесоюз. мин. об-ва. – 1949. – Вторая серия. – Т. 78. – № 1. – С. 52–58.
11. Половинкина Ю.Ир. Куммингтонит и щелочные амфиболы Кривого Рога // Там же. – 1953. – № 7. – С. 167–186.
12. Половинкина Ю.Ир. Эгирин Криворожского железорудного бассейна // Минерал. сб. Львовск. геол. об-ва. – 1951. – № 5. – С. 167–178.
13. Половко Н.И. Баланс вещества при образовании щелочных метасоматитов. – К.: Наук. думка, 1970. – 140 с.
14. Семенов Н.П. О миграции породообразующих элементов в постмагматических продуктах гранитных магм // Вопросы петрографии и минералогии. – М.: Изд-во АН СССР, 1953. – Т. I. – С. 66–75.
15. Семенов Н.П. Проблемы метаморфизма // Изв. АН СССР. – Сер. геол., 1953. – № 1. – С. 98–113.
16. Семенов Н.П. Метасоматические процессы и миграция породообразующих элементов // Геология СССР. – Т. 5 : Украина. – М.: Госгеолтехиздат, 1958. – С. 363–368.
17. Семенов Н.П., Ладиева В.Д., Бордунов И.Н. и др. Железисто-кремнистые формации Украинского щита. – К.: Наук. думка, 1978. – Т. II. – 367 с.
18. Стрыгин О.И. Характер залежности гидротермально-метасоматичного парагенезису мінералів від складу вихідних порід при альбітизації порід криворізької серії // Матеріали з мінералогії України. – К.: Вид-во АН УССР, 1960. – С. 117–126.
19. Стрыгин А.И. Парагенезис минералов эгиринизированных пород криворожской серии // Геол. журн. – 1959. – 19, Вып. 4. – С. 58–69.
20. Стрыгин А.И. Новые данные по эгиринизации пород криворожской серии // ДАН УССР. – 1960. – Сер. геол. – № 8. – С. 894–897.
21. Тарханов А.В., Кудлаев А.Р., Петрин А.В. и др. Желтореченское ванадий-скандиевое месторождение // Геология рудных месторождений. – 1991. – № 6. – С. 50–56.
22. Тугаринов А.И., Павленко А.С., Александров И.В. Геохимия щелочного метасоматоза. – М.: Изд-во АН СССР, 1963. – 202 с.
23. Шербак Н.П., Злобенко В.Г., Жуков Г.В. и др. Каталог изотопных дат пород УЩ. – Киев: Наук. думка, 1978. – 224 с.

**Великанов Ю.Ф., Великанова О.Ю. Метасоматоз у породах Кривбасу.** У породах Кривбасу виділено і вивчено 36 зон метасоматозу, в яких виявлено такі його типи: магнезіально-залізистий, лужний, представлений альбітизацією, егіринізацією та рибекітизацією, пневматолітичний, кварцовий метасоматоз, грейзенізація, березитизація, серицитизація та хлоритизація. У розподілі зон метасоматозу основну роль грає тектонічний чинник. У зонах метасоматозу встановлені аномальні концентрації Au, Ag, Pt, Li, Rb, Cs, Sc, V, Zr, Cu, Pb, Mo, W, U та інших рідкісних і розсіяних елементів. Вік метасоматичних процесів становить 1700–1900 млн років. Виявлені аномальні концентрації рудних елементів у зонах метасоматозу дозволяють розглядати Кривбас як регіон, перспективний (окрім заліза) на деякі рідкісні, розсіяні та благородні метали.

**Velikanov Y.F., Velikanova O.Y. Metasomatism in the Krivoy Rog Iron Ore Basin rocks.** 36 metasomatic zones have been detached and studied in the Krivoy Rog Iron Ore Basin rocks. Definite metasomatism types are presented, such as: magnesium-ferrous, alkaline (albitization, aegirinization and riebeckitization), pneumatolytic, quartz metasomatism, greisenization, beresitization, sericitization and chloritization. Tectonic factor plays main role for metasomatic zone distribution. Anomalous values of Au, Ag, Pt, Li, Rb, Cs, Sc, V, Zr, Cu, Pb, Mo, W, U, other rare and trace elements are established in metasomatic zones. Age of metasomatic processes is 1700–1900 Ma. Ore elements anomalous values determined are able to consider the Krivoy Rog Iron Ore Basin as prospective region for some rare, trace metals and precious ones instead as prospective for iron only.

Поступила 14.03.2012.