

## ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ МЕТАСОМАТИЧЕСКИ ИЗМЕНЁННЫХ ПОРОД КРИВБАССА

*Ю.Ф. Великанов, О.Ю. Великанова*

*Институт геохимии, минералогии и рудообразования им. Н.П. Семеновко НАН Украины  
03680, просп. Палладина, 34, Киев, Украина*

Приведены результаты геохимических исследований метасоматически изменённых пород новокриворожской, скелеватской, саксаганской и гданцевской свит криворожской серии. Размещение зон и особенности проявления метасоматоза контролируется совокупностью литологических и структурно-тектонических факторов. В распределении метасоматических зон существует определённая закономерность, проявляющаяся в приуроченности их к участкам тектонических нарушений, брекчирования, подвижек, межслоевых сдвигов, микроскладчатости и трещиноватости, служащими наиболее благоприятными путями циркуляции гидротермальных растворов, под воздействием которых происходила переработка вмещающих пород, замещение их первичных минералов, а также привнос, перераспределение и концентрация в них рудных элементов. В породах, подвергшихся метасоматическим изменениям, метасоматоз проявлен по узколокальным зонам (мощностью от нескольких метров до первых десятков метров) или характеризуется площадным преобразованием пород (мощностью до нескольких сотен метров). В зонах метасоматоза установлены аномальные содержания Au, Cu, Zn, Pb, Ti, Cr, Ni, Sr, Ba, Zr, V, Rb, Ce. Приведено краткое описание основных породообразующих и сульфидных минералов, развитых в зонах метасоматического изменения пород.

**Введение.** Продукты метасоматических процессов в породах Криворожской структуры многочисленны и разнообразны. В регионе интенсивно проявлена разрывная тектоника, подготовившая хорошую основу для широкого развития различных метасоматических процессов. Тектонические зоны – зоны расщепления, межслоевых сдвигов, катаклаза, брекчирования, сопровождающиеся многочисленными трещинами, служат наиболее благоприятными путями, по которым осуществлялась циркуляция различных по составу растворов. Последние вызвали метасоматические изменения вмещающих пород, привнос, перераспределение и концентрацию в них рудных компонентов.

Метасоматические изменения в породах региона проявлены по узким локальным

зонам, мощностью от нескольких метров до нескольких десятков метров, а также наблюдаются в виде площадного преобразования вмещающих пород мощностью до нескольких сотен метров.

В целом интенсивность метасоматических процессов возрастает по простиранию Криворожской структуры с юга на север: наиболее значительно метасоматически изменённые породы развиты в северной части региона (рудник им. Ленина, Первомайский рудник, Восточно-Анновская полоса).

Основной каменный материал для статьи собран по скважинам Первомайского поисково-структурного профиля (ПСП), пробуренного между рудниками им. Ленина и им. 1 Мая, который последовательно вскрыл весь разрез пород региона в северной его части. Дополнительный материал отобран в карьерах, шахтах, обнажениях и отдельных сква-

© Ю.Ф. Великанов, О.Ю. Великанова, 2013

жинах по всему простиранию основной структуры с разной степенью детальности.

**Краткий обзор предыдущих исследований.**

Изучение метасоматических новообразований в Кривбассе ранее в основном проводилось по железисто-кремнистым породам саксаганской свиты криворожской серии. Работами И.В. Александрова [1, 2], Я.Н. Белевцева с соавторами [3, 4], Н.А. Елисеева с соавторами [5], Н.И. Половко [13], Б.И. Пирогова с соавторами [14], Ю.Ир. Половинкиной [10–12], А.И. Стрыгина [22–24], А.И. Тугаринова с соавторами [25] внесен существенный вклад в изучение метасоматических процессов в регионе. Они выделили и изучили наиболее характерные метасоматические процессы в железисто-кремнистой формации: продукты магнезиально-железистого метасоматоза, альбитизации, эгиринизации, рибекитизации, окварцевания, карбонатизации и других видов метасоматоза, установили последовательность развития наиболее характерных метасоматических процессов, минеральный состав и рудоносность зон проявления метасоматоза.

В работах [6–8] Д.С. Коржинский обосновал теоритические основы метаморфических и метасоматических процессов, разработал парагенетический анализ, сыгравший важную роль в понимании процессов минерало- и рудообразования. Н.П. Семенов [15–21] развил эти теоритические разработки применительно к процессам минерало- и рудообразования в Кривбассе. Ю.Ир. Половинкина изучила щелочные метасоматиты в железисто-кремнистой формации и детально описала некоторые щелочные минералы. А.П. Никольский исследовал щелочные метасоматиты дал характеристику основных минералов, образовавшихся в результате метасоматических процессов. Н.С. Курловым с соавторами [9] по материалам сверхглубокой скважины в западном крыле Криворожского синклинория установлены продукты кремнекислотного метасоматоза в архейских плагиогранитоидах и метабазах новокриворожской свиты, а также хлорит-карбонатного метасоматоза в толщах осадочно-вулканогенных формаций, вскрытых сверхглубокой скважиной.

В данной публикации изложены результаты исследований метасоматических изменений в осадочно-вулканогенных образованиях новокриворожской, скелеватской, саксаган-

ской и гданцевской свит по данным Первомайского поисково-структурного профиля, который ранее в литературе детально не был описан.

**Геологическое строение региона.** Метаморфические породы Кривбасса представлены несколькими геологическими формациями, закономерно сменяющимися друг друга по разрезу. В основании разреза залегают гранитоиды архейского фундамента, которые со стратиграфическим несогласием перекрыты вулканогенными образованиями новокриворожской свиты, представленными амфиболитами и сланцами основного и среднего состава. Выше эта толща перекрыта песчано-конгломератовой формацией скелеватской свиты, состоящей из метаконгломератов, кварцито-метапесчаников, и алюмосиликатных глинистых филлитовых сланцев. Выше по разрезу залегает ультрабазитовая формация, представленная породами талькового горизонта: тальковыми, хлорит-, карбонат-, серпентин-тальковыми и другими сланцами. Ультрабазитовая формация перекрыта породами железисто-кремнисто-сланцевой формации, в которой железисто-кремнистые горизонты ритмически чередуются с железисто-кремнисто-сланцевыми. Выше со стратиграфическим и угловым несогласием залегают метаконгломераты и метапесчаники, углистые и слюдистые сланцы, филлитовые микросланцы, микрогнейсы и кварц-карбонатные породы алюмосиликатной формации гданцевской свиты. Завершают разрез кварцево-слюдистые сланцы, метапесчаники, метавраделиты и метаконгломераты алюмосиликатной формации глееватской свиты.

В структурном отношении Кривбасс представляет собой крупный, сложно построенный синклинорий, составленный группой сопряженных чешуйчатых складок субмеридионального простирания.

Структуру северной части региона определяет наличие крупных надвигов – Саксаганского и Восточного.

Восточное крыло Криворожского синклинория здесь представлено Саксаганской синклиналью и одноименной антиклиналью.

Саксаганская структура имеет весьма сложное строение. По Н.П. Семенову [15], восточная синклинальная чешуя, прослеженная до Первомайского РУ, это Саксаганская синклиналь, от которой сохранилось лишь

восточное крыло. Западная антиклинальная чешуя представляет собой аналогичный остаток Саксаганской антиклинали. На РУ им. Ленина восточное крыло Саксаганской антиклинали отсутствует и саксаганская полоса представлена только синклиналильным крылом.

К структурам более высоких порядков относятся крупный флексурный изгиб в северной части региона, пологие поперечные складки, изоклинальные продольные пологие складки, а также многочисленные тектонические разрывы.

Кроме складчатых структур в регионе широко развиты разрывные нарушения, наиболее крупные среди которых Западный, Тарапаковский, Саксаганский, Девладовский и Восточный разломы. Более мелкие, продольные, поперечные и диагональные разрывы – это система нарушений, оперяющих крупные региональные разломы, служившие каналами для циркуляции гидротермальных растворов, вызывавших метасоматические изменения пород.

**Петролого-геохимические исследования.** Метасоматические изменения широко развиты в регионе и проявлены в породах новокриворожской, скелеватской, саксаганской и гданцевской свит. Химический состав пород, подвергшихся метасоматическим изменениям, приведен в таблице.

В метабазитах новокриворожской свиты метасоматические изменения представлены окварцеванием, карбонатизацией и сульфидизацией вмещающих пород. Кварц и карбонаты (обычно кальцит, реже доломит), выполняют миндалины в породах, пропитывают породу или наблюдаются в виде вкрапленности и многочисленных, беспорядочно ориентированных прожилков различной мощности.

Миндалины, сложенные кварцем и карбонатами, нередко имеют зональное строение – центральная часть миндалины выполнена крупнозернистым агрегатом кристаллов кварца или карбонатов, а внешняя – мелкозернистым до тонкозернистого кварцем, нередко с кристалликами магнетита или сульфидов.

Прожилки, часто образующие в метабазитах густую сеть, по составу мономинеральны или сложены кварцем, карбонатами и сульфидами (рис. 1).

Карбонаты представлены кальцитом и доломитом, которые в зонах проявления мета-

соматоза в метабазитах замещают плагиоклазы, амфиболы, биотит и другие минералы.

В шахте "Объединённая" Первомайского РУ доломит часто по трещинкам в метабазитах замещает тремолит и хлорит, а также, вместе с хлоритом и эпидотом, – роговую обманку.

Кальцит обычно кристаллизуется позже доломита и нередко слагает мономинеральные прожилки, с которыми иногда связаны выделения магнезиально-железистых слюд.

Сульфиды представлены чаще всего пиритом и пирротинном, реже отмечается халькопирит. В метабазитах сульфиды образуют рассеянную вкрапленность, мономинеральные сульфидные прожилки либо присутствуют в разных количествах в кварцевых и карбонатных прожилках.

В зонах проявления метасоматоза, приуроченных, как правило, к многочисленным трещинам в метабазитах, наблюдается повышенное содержание Au 0,001–0,03 г/т, Cu 0,001–0,03 %, Zn и Pb 0,01–0,02 %, Zr – до 0,03 %, V – до 0,04 %.

Метасоматические изменения в породах скелеватской свиты, простирающейся вдоль всей Криворожской структуры, по ее восточному борту, развиты локально и приурочены, обычно, к зонам трещиноватости и брекчирования. Карбонаты представлены преимущественно кальцитом и выполняют кварц-карбонатные прожилки. Сульфидная минерализация развита незначительно и проявлена вкрапленностью, в основном, пирита, реже отмечаются пирротин и галенит.

Среднее содержание элементов в метасоматически измененных породах составляет, %: V – 0,01, Zr – 0,008, Zn – 0,009, Pb – 0,004. Содержание Au в кварц-карбонатных прожилках 0,02–0,2 г/т.

В ультрабазитах талькового горизонта метасоматические изменения проявлены в форме окварцевания, интенсивной карбонатизации, нередко с образованием целых толщ карбонатных и тальк-карбонатных пород при незначительном развитии пирита, пирротина и очень редко халькопирита, присутствующих в этих породах в виде редкой вкрапленности.

Карбонаты представлены здесь кальцитом, доломитом, магнезитом и анкеритом. В ультрабазитах карбонаты с кварцем выполняют миндалины, пропитывают породу, а также наблюдаются в виде многочисленных

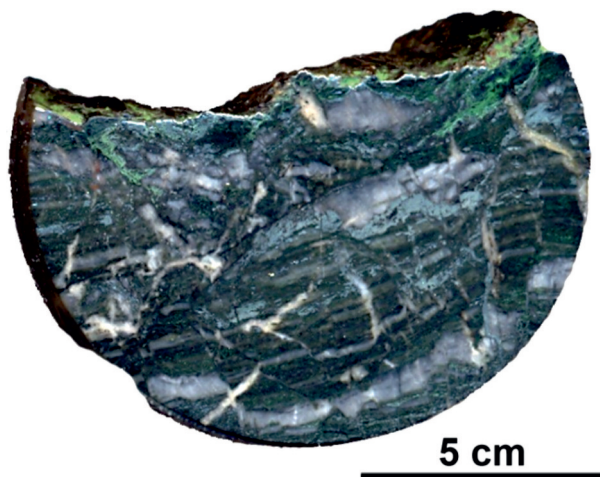


Рис. 1. Полированный штуф. Метасоматически измененный метабазит новокриворожской свиты, скв. 16883, гл. 234,5 м

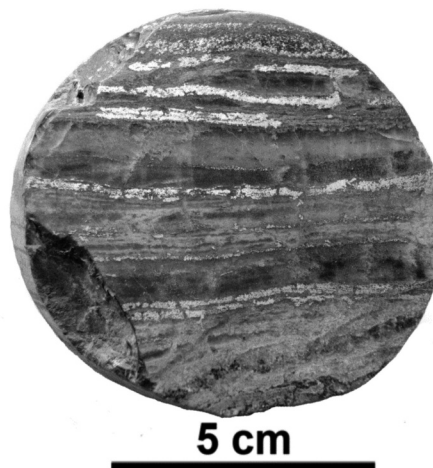


Рис. 2. Полированный штуф. Метасоматически измененный магнетит-силикатный кварцит саксаганской свиты, скв. 16910, гл. 95,3 м

различно ориентированных кварц-карбонатных с сульфидами прожилков.

В зонах проявления метасоматоза, в породах талькового горизонта, содержание Au составляет до 0,02 г/т, Ni – 0,01–0,06, Co – 0,001–0,004, Cr – 0,1–0,2, Ti – 0,01–0,02, V – 0,001–0,005 %.

В породах железисто-кремнистой формации метасоматические изменения развиты более значительно, чем в нижележащих толщах.

Процессы окварцевания и карбонатизации многостадийные и связаны взаимными переходами: наблюдается наложение карбонатизации на более раннее окварцевание и наоборот – процессы карбонатизации завершаются поздним окварцеванием. При этом, поскольку метасоматоз проходит по одним и тем же породам, не всегда однозначно можно выявить, какой именно процесс преобладает. Следовательно, трудно определить количественные содержания элементов, характерных только для определенного типа метасоматоза. Как правило, сульфидная минерализация формируется на заключительных этапах кварцевого и карбонатного метасоматоза. При этом в породах наблюдается вкрапленность различной интенсивности, гнезда и прожилки пирита, пирротина, реже халькопирита. Такие прожилки иногда содержат золото (до 0,п г/т). Нередко в железистых кварцитах отмечаются послойные выделения пирита и пирротина, образовавшихся в результате метасоматического замещения магнетита (рис. 2).

Продукты метасоматического окварцевания в разной степени развиты во всех толщах

региона, но наиболее интенсивно они проявлены в северной части Кривбасса.

В породах железисто-кремнистой формации окварцевание широко проявлено на заключительных этапах щелочного метасоматоза.

В метасоматических кварцитах А.П. Никольский [5] выделяет 3 разновидности кварца: сахаровидно-зернистый, сливной и призматически-зернистый. Сахаровидно-зернистый кварц представлен изометричными зернами, границы выделений ровные, погасание нормальное, размеры зерен 0,5–2,0 мм. В сливном кварце границы между отдельными зернами макроскопически почти не различимы, под микроскопом – извилистые, зазубренные, погасание волнистое, размер зерен 5–10 мм. Призматически-зернистый кварц представлен сильно вытянутыми выделениями.

В железисто-кремнистых кварцитах кварц обычно представлен мелкими индивидами, слагающими агрегаты и отдельные прослои. Реже наблюдаются маломощные прожилки и линзочки.

В метасоматических кварцитах по железисто-кремнистым породам можно наблюдать многофазное развитие всех разновидностей кварца, заместившего большую часть или даже все первичные породообразующие минералы. В начальной стадии окварцевания происходит перекристаллизация мелких зерен кварца и заполнение им пор и трещин в породах и минералах, в результате чего порода приобретает высокую прочность. Нарастание интенсивности процесса приводит к увеличе-

Таблица 1. Химический состав метасоматически измененных пород

Компонент	1	2	3	4	5	6	7	8	9
SiO <sub>2</sub>	52,0	50,1	52,0	51,44	48,7	54,76	50,72	47,16	46,6
TiO <sub>2</sub>	1,03	1,12	1,16	1,08	0,96	1,08	1,13	1,4	1,0
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13,65	11,6	12,05	13,36	10,69	15,16	12,65	14,3	14,39
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,07	2,07	1,85	2,21	2,5	2,28	2,36	3,5	4,5
FeO	8,83	7,41	8,9	6,32	6,58	6,97	8,58	7,8	6,22
MnO	0,16	0,19	0,14	0,09	0,21	0,19	0,12	0,14	0,19
MgO	7,22	7,74	10,71	8,28	8,26	6,58	9,1	10,57	8,97
CaO	7,41	5,89	2,09	2,38	5,51	7,04	4,98	1,9	9,55
Na <sub>2</sub> O	3,0	2,7	1,6	2,0	1,2	3,6	3,22	0,35	2,7
K <sub>2</sub> O	1,53	2,6	0,04	3,55	2,5	0,57	2,3	1,8	0,3
H <sub>2</sub> O	1,94	3,85	6,09	2,94	4,77	1,51	2,43	5,64	1,9
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,79	0,1	0,09	0,09	0,08	0,09	0,11	0,15	0,22
CO <sub>2</sub>	0,44	2,03	0,25	1,87	4,24	0,34	0,57	0,14	1,18
ппп	2,38	4,67	5,19	6,81	6,41	1,87	2,94	5,64	3,07
Ссвоб	н/опр.	н/опр.	н/опр.	н/опр.	н/опр.	н/опр.	н/опр.	н/опр.	н/опр.
S	0,4	0,1	0,1	0,15	0,1	н/опр.	н/опр.	н/опр.	н/опр.
Сумма	102,85	102,17	102,26	102,57	102,71	102,04	101,21	100,49	100,79
<i>Петрохимические</i>									
Компонент	Метабазиты новокриворожской свиты								
F	25	23	25	27	22	22	24	35	25
A	24	25	24	25	23	26	23	21	19
M	30	34	45	39	37	28	37	39	31
FM	55	57	70	66	59	50	61	74	56
C	22	18	6	8	18	22	14	5	23

**Примечание:** 1. Метабазит, скв. 18883, гл. 257,8 м. 2. Метабазит, скв. 18883, гл. 271,9 м. 3. Метабазит, скв. 18884, гл. 317,4 м. 7. Метабазит, скв. 18882, гл. 334,8 м. 8. Метабазит, скв. 18880, гл. 253,9 м. 9. Метабазит, скв. 18882, скв. 16913, гл. 120,6 м. 12. Кварцит магнетит-гематитовый, скв. 16898, гл. 154,1 м. 13. Сульфидизированная Фрунзе, гор. 570 м. 15. Сульфидизированная кварц-карбонатная порода, скв. 16911, гл. 165,0 м. 16. Кварц-карбонатная порода, скв. 14360, гл. 583,3 м. 18. Кварц-карбонатный метасоматит, рудник Ингулецкий, гор. 750 м. 19. 16894, гл. 216,3 м. 21. Микрогнейс метасоматически измененный, скв. 16897, гл. 234,5 м. Н/опр. – не опреде

нию размеров зерен кварца, образованию жилообразных и линзовидных кварцевых тел и прослоев. На заключительной стадии процесса образуются маломощные прожилки кварца, секущие более ранние его выделения.

Продукты карбонатного метасоматоза как более позднего процесса широко развиты в зонах проявления щелочного метасоматоза – в северной части региона. Шире они распространены в центральном и южном районах региона, где обычно не связаны со щелочными метасоматитами по железисто-кремнистым породам, а развиваются вполне самостоятельно.

В зонах метасоматических изменений карбонаты представлены в основном доломитом, сидеритом и кальцитом. Сульфиды – пиритом, пирротинном, халькопиритом, арсе-

нопиритом, галенитом, сфалеритом. Обычно карбонаты частично или полностью замещают породообразующие минералы вмещающих пород, подвергшихся метасоматозу, – кварц, амфиболы, биотит и другие минералы. Метасоматические преобразования проявляются в развитии интенсивной вкрапленности карбонатов во вмещающих породах и многочисленных беспорядочно ориентированных маломощных прожилков, вплоть до образования вместе с кварцем и сульфидами сплошных агрегатов.

Доломит в породах железисто-кремнистой формации развит в виде вкрапленности изометричных зерен, размером до нескольких миллиметров, прослоев, прожилков и жил разной мощности, нередко образующих густую сеть. Доломитовые жилы мономинераль-

10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
11,46	43,82	40,67	12,17	4,76	19,11	31,75	5,33	26,54	30,8	52,4	54,5
0,2	0,2	0,2	0,06	0,05	0,7	0,44	0,09	0,2	0,72	0,95	0,64
1,71	0,59	н/обн.	1,65	3,01	4,87	8,55	5,98	4,31	5,14	15,42	11,3
1,78	4,36	26,02	12,23	15,13	5,12	1,66	0,66	1,0	2,92	2,0	1,0
1,86	11,76	14,14	19,01	18,36	1,96	3,89	16,13	6,29	5,22	6,71	3,61
0,36	0,08	н/обн.	0,1	0,19	2,84	0,03	0,11	0,21	0,27	0,04	0,25
19,04	8,19	9,63	9,93	11,87	11,44	5,43	13,39	7,92	11,45	6,86	2,35
24,2	12,4	1,82	14,56	15,19	18,54	23,66	25,9	23,52	15,12	5,4	16,32
н/обн.	н/обн.	1,6	0,6	0,08	н/обн.	1,15	0,8	0,4	0,32	2,41	0,8
0,4	н/обн.	н/обн.	0,1	0,12	1,2	3,28	0,1	1,2	4,1	3,66	0,3
н/обн.	н/обн.	н/обн.	0,05	0,22	н/обн.	0,08	0,03	0,34	3,09	0,87	2,14
0,04	н/обн.	1,24	0,01	0,28	0,04	0,11	0,02	0,04	0,15	0,14	0,14
36,8	18,68	2,82	20,91	25,88	25,22	18,0	28,04	26,88	19,42	0,92	1,4
н/обн.	0,28	1,21	–	0,23	н/обн.	3,08	н/обн.	1,55	1,33	1,93	3,29
2,16	0,15	0,94	1,66	н/обн.	6,3	н/обн.	0,03	0,03	н/опр.	н/опр.	н/опр.
0,59	0,08	0,83	10,06	5,07	4,49	0,5	5,76	0,25	2,01	1,8	1,54
100,6	100,59	101,12	103,4	100,44	101,83	101,61	102,37	100,68	102,04	101,51	99,54

коэффициенты, по Н.П.Семененко

Железисто-кремнистые образования саксаганской свиты						Алюмосиликатные и карбонатные породы гданцевской свиты					
4	30	79	40	37	8	11	1	1	15	22	12
2	1	0	2	3	7	2	7	6	7	28	21
49	33	14	28	31	39	16	39	30	40	32	11
53	63	93	68	68	47	27	40	31	55	53	23
45	36	7	30	29	46	71	53	63	38	18	55

гл. 58,0 м. 4. Метабазит, скв. 18882, гл. 278,4 м. 5. Метабазит, скв. 18882, гл. 279,3 м. 6. Метабазит, скв. 18882, гл. 340,2 м. 10. Мрамор доломит-кальцитовый, скв. 16913, гл. 56,4 м. 11. Кварцит карбонатно-магнетитовый, кварц-карбонатная порода, РУ им. Ленина, скв. 15775, гл. 726,5 м. 14. Кварцит карбонатно-железистый, РУ им. бонатный кварцит, РУ им. Р. Люксембург, скв. 16117, гл. 523,8 м. 17. Карбонат-магнетитовый кварцит, уч-к Углисто-кварцевый метасоматит, скв. 16892, гл. 367,5 м. 20. Микрогнейс метасоматически измененный, скв. лялось. Н/обн. – не обнаружено.

ные или содержат кварц, сидерит, сульфиды, хлорит, магнетит, эгирин, рибекит и другие минералы. Наблюдается замещение кварца доломитом в кварц-магнетитовых и -амфиболитовых прослоях. На ЦГОКе, в Тарапаковской, Лихмановской синклиналих и на Первомайском руднике широко развита доломитизация, проявленная в форме кварц-карбонат-магнетитовых и кварц-карбонат-гематит-магнетитовых руд по джеспилитам, железистым кварцитам и сланцам.

Сидерит обычно приурочен к сланцевым и железистым горизонтам саксаганской свиты, где слагает кварц-сидерит-сульфидные прослои и секущие жилы мощностью до нескольких сантиметров, наиболее развитые в Саксаганской полосе и на участке замыкания Основной Криворожской синклинали.

Сидеритовые кварциты на Первомайском руднике – полосчатые породы, представленные переслаиванием кварцевых и сидеритовых прослоев. Структура кварцевых и сидеритовых прослоев тонкозернистая, размер зерен до 0,1 мм. Изредка отмечаются порфириблестовые выделения сидерита среди кварцевых прослоев. Нередко наблюдается замещение кварцевых прослоев сидеритом, иногда настолько интенсивное, что кварцевые участки образуют останцы в карбонатной породе. Такие сидерит-магнетитовые кварциты отмечаются в первом и четвертом железистых горизонтах Лихмановской синклинали, а также в шестом железистом горизонте рудника им. Ленина.

Кальцит образовался позже, чем доломит и сидерит – его прожилки обычно секут более

ранние выделения доломита и сидерита. Кальцит развит во всех типах пород железисто-кремнистой формации, но по сравнению с доломитом и сидеритом он менее распространен. Здесь он отмечается в виде вкрапленности, гнезд, послойных скоплений и прожилков, в которых обычно замещает кварц ранней генерации, но чаще образует кварц-карбонатные жилы, обычно с примесью сульфидов. Наиболее интенсивно кальцит в виде сплошных агрегатов и прожилков различной мощности развит в породах гданцевской свиты.

В зонах метасоматических изменений по магнетит-силикатным кварцитам Дальних Западных полос среднее содержание Ba и Ti составляет сотые доли процента; Li, Rb, Sr, V, La, Zr, Cu, Zn и Ga – тысячные; Se, Yb, Mo, Sn, Be, Nb, Ag, Pb и Ge – десятитысячные. Среднее содержание Au – 0,005, максимальное – 0,02 г/т.

В породах алюмосиликатной формации гданцевской свиты метасоматические изменения проявлены наиболее широко. Полоса развития метасоматических изменений охватывает приосевую часть Криворожской синклинали, включая породы западного и восточного крыльев. Петрографические исследования слабоизмененных пород и реликтовых минералов показали, что доломитовые и кальцит-доломитовые мраморы изначально представляли собой хемогенные (видимо, морского происхождения) осадки, позже метаморфически преобразованные. При последующих наложенных метасоматических процессах происходило окварцевание и доломитизация ранее метаморфически измененных пород путем замещения кальцита доломитом, а также заполнения им пустот и трещин в метаморфических породах. Далее на вновь образованные метаморфические породы в тектонических зонах наложилось окварцевание, карбонатизация и сульфидизация.

Филлитовые микросланцы, состоящие из кварца, иногда с примесью биотита, образовались при метаморфизме глинистых сланцев в условиях регионального метаморфизма, который проявился в уплотнении и частичной перекристаллизации первичного осадочного вещества с превращением глинистых минералов в серицит, биотит, хлорит, полевые шпаты. Последующие метасоматические преобразования проявились в карбонатизации,

окварцевании и сульфидизации вновь образованных метаморфических пород.

Микрогнейсы – это продукты довольно высоких ступеней метаморфизма пелитовых осадочных горных пород, на которые позже в зонах тектонических нарушений наложилось процессы окварцевания, карбонатизации и сульфидизации.

Доломитовые и кальцит-доломитовые мраморы вскрыты скв. 17517 Первомайского ПСП. Мощность их составляет около 40 м. Это темно-серые существенно карбонатные породы. Минеральный состав, %: карбонаты (кальцит + доломит) – 70–75, кварц – 10–15, биотит – 5–10, сульфиды – до 5.

Филлитовые биотитовые микросланцы образуют пласт мощностью 135 м по скважине 17517 и 160 м по скв. 16907. Филлитовые карбонатные микросланцы – это темно-серые полосчатые тонкозернистые породы. Полосчатость обусловлена послойным расположением чешуек биотита и микрослойков кварцевого и карбонатного составов. Минеральный состав, %: карбонаты – 30–40, кварц – 15–20, биотит – 25–30, сульфиды – 3–5.

Микрогнейсы биотит-роговообманковые, вскрыты скв. 16893, 16895 и 16899, – темно-серые, мелкозернистые полосчатые. Полосчатость обусловлена чередованием биотит-роговообманково-полевошпатовых и кварц-карбонатных прослойков. Роговая обманка порфиروбластическая. Часто отмечается хлоритизация биотита и серицитизация плагиоклазов. Минеральный состав, %: полевые шпаты – 30–40, кварц – 20–25, роговая обманка – 10–15, биотит – 15–20, карбонаты – 10–15, сульфиды, турмалин, апатит, сфен и другие минералы.

Зоны метасоматических изменений установлены и изучены в филлитовых сланцах по скв. 16907 в интервале 136,0–296,5 м и в микрогнейсах по скв. 16899, в интервалах 114–165 и 200–223 м, по скв. 16893 – 97,0–234,0 м, в западном крыле Криворожской синклинали, по скв. 16895 – 158,0–279,0 м и 280,0–300,0 м. Т. е. в пределах антиклинального поднятия приосевой части восточного крыла Криворожской синклинали.

Ниже приведены значения содержания рудных элементов, в зонах метасоматически измененных вышеописанных петрографических разновидностей пород, выявленных с помощью химического и полуколичественного

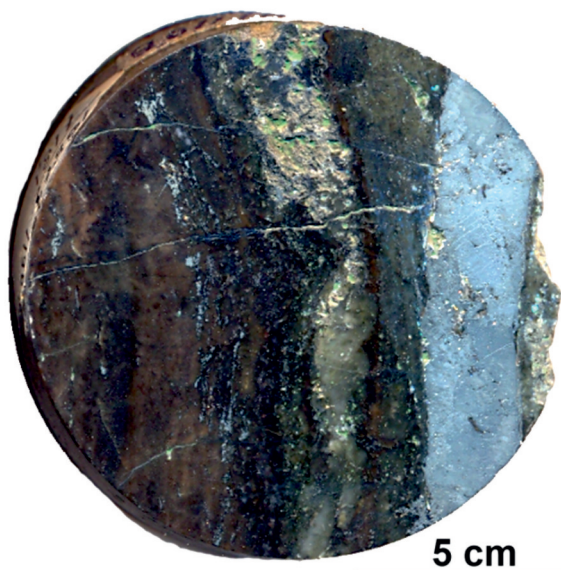


Рис. 3. Полированный штуф. Послойные выделения пирита (светлое), заместившего магнетит в железистых кварцитах саксаганской свиты. Скв. 16879, гл. 718,1 м



Рис. 4. Полированный штуф. Пирит светлый выполняет роль цемента в брекчированных породах. Скв. 16910, гл. 244,2 м

спектрального анализа.

Среди редкощелочных элементов в филлитовых сланцах среднее содержание Li составляет 0,003, Rb – 0,007 %, щелочноземельные Sr и Ba присутствуют в сотых долях процента – среднее содержание Sr составляет 0,01, Ba – 0,03, Ce – 0,003 %. Литофильные элементы Sn, Be, W и Mo присутствуют в десятитысячных долях процента, V – тысячных, Ti – сотых. Среди сидерофильных элементов Mn и Cr присутствуют в сотых долях процента, Co и Ni – в тысячных. Из халькофильных Cu, Pb и Ga присутствуют в тысячных долях процента, Zn – в сотых, Ag и Ge – в десятитысячных. Среднее содержание Au – 0,005, максимальное 0,02 г/т.

В метасоматически измененных микрогнейсах среди редкощелочных элементов Li присутствует в тысячных долях процента. Средние содержания Rb изменчивы, в трех зонах они составляют тысячные доли процента, в двух – 0,02 %, максимальное содержание Rb здесь 0,03 % с частотой встречаемости в 70 % случаев.

Щелочноземельные элементы. Среднее содержание, %: Sr по зонам 0,01–0,02, максимальное – до 0,08 % при частоте встречаемости в 60 %; Ba – соответственно 0,03–0,1 и 0,2 % в 90 % случаев.

Содержание редкоземельных элементов очень изменчиво. Среднее содержание Sc

0,0002–0,002, Y – 0,001–0,003 %, Yb присутствует в десятитысячных знаках, только в одной из зон его среднее содержание возрастает до 0,002 %. Среднее содержание La – 0,0002–0,005 %. В трех зонах среднее содержание Ce 0,003 и 0,007, в двух – 0,01 %.

Литофильные элементы Mo, Sn, Be, W и Nb присутствуют в десятитысячных знаках. Среднее содержание Ti по зонам 0,1–0,2, V – 0,004–0,009, Zr – 0,01–0,006 %.

Среди сидерофильных элементов высокое содержание характерно для Mn 0,08–0,3 %. Среднее содержание Cr по зонам 0,01–0,02, Co – 0,001, Ni 0,006–0,009 %, лишь в одной из зон среднее содержание Ni составляет 0,06, максимальное – 0,3 %.

Из халькофильных Cu, Zn и Pb присутствуют в тысячных долях процента. Нередко наблюдается спорадическое повышение содержания этих элементов на отдельных интервалах до 0,01–0,03 %, что видимо, обусловлено сульфидной минерализацией. Среднее содержание Au по зонам 0,003–0,007 г/т, максимальное до 0,2 г/т; Ag 0,0001–0,0004 %.

Среди минерализаторов определен только P – среднее содержание 0,02–0,1 %, и B – 0,002–0,006 %.

Сульфидная минерализация в зонах метасоматических изменений приурочена к участкам повышенной трещиноватости, зонам брекчирования, смятия, рассланцевания и



наблюдается в виде вкрапленности, гнезд, прожилков и пленок по трещинам скола, нередко сульфиды являются цементом брекчий. Мощность зон сульфидной минерализации – от нескольких метров до 100–200 м.

Минерализация в зонах метасоматоза многостадийная – наблюдается замещение и цементация ранних минералов более поздними, отмечаются многочисленные разноориентированные прожилки, секущие ранее образовавшиеся минералы и сульфидные прожилки. Сульфидные прожилки по составу пиритовые, пирротиновые, халькопиритовые, пирит-пирротин-халькопиритовые, кварц-карбонат-сульфидные.

По видовому составу основную массу сульфидов составляют пирит и пирротин, реже встречаются халькопирит и арсенопирит, довольно редко галенит и сфалерит.

По условиям и времени образования среди пиритов выделено несколько генераций. Пирит I вместе с пирротинном образует послонные выделения в железистых кварцитах, возникшие в результате замещения магнетита (рис. 3).

Пирит II образует вкрапленность, прожилки, выполняет роль цемента в зонах брекчирования и трещиноватости (рис. 4). Пириты этой генерации обычно неправильной формы, размером до 0,5 мм. Пирит III – пиритовые, пирит-пирротин-арсенопиритовые, пирит-пирротин-халькопиритовые, кварц-карбонат-сульфидные прожилки, секущие образования пиритов ранней генерации. Последовательность выделения сульфидных минералов в секущих прожилках: пирит → арсенопирит → пирротин → халькопирит.

Пирротин широко развит в зонах проявления метасоматоза. Обычно он образует вкрапленность самостоятельно или совместно с пиритом, реже с халькопиритом, а также мономинеральные прожилки мощностью от 0,1 мм до 1–2 см, часто отмечается в кварц-карбонатных прожилках, где образует неправильной формы выделения в центральной части прожилков и оторочки вдоль зальбандов.

Форма выделений пирротина неправильная и часто обусловлена формой выполняемых промежутков между нерудными минералами. Широко развиты сплошные зернистые агрегаты пирротина. В пирротиновых прожилках нередко отмечаются включения позд-

него пирита и тончайшие секущие прожилки халькопирита. Пирротин очень тесно ассоциирует с пиритом и халькопиритом; образует включения в пирите, а иногда совместно с халькопиритом и прожилки в кристаллах более раннего пирита, нередко цементирует кристаллы пирита. Подобные взаимоотношения позволяют отнести пирротин к образованиям более поздним, чем ранние пириты, но более ранним, чем халькопирит.

Халькопирит встречается довольно часто, однако значительно уступает по распространенности и количеству пирротину. Встречается он обычно вместе с другими сульфидами, а также кварцем и карбонатами. Наблюдается в виде тончайших прожилков в породе, пирите и пирротине или выделений неправильной и округлой формы размером 0,01 мм – 1,0 см. Нередко халькопирит замещает пирит. Взаимоотношения халькопирита с пиритом и пирротинном свидетельствуют о более позднем его образовании.

Арсенопирит представлен удлиненно-призматическими кристаллами размером 0,01–1 мм. Образует рассеянную вкрапленность или в ассоциации с пиритом, пирротинном, халькопиритом и галенитом, присутствует в полиметаллических прожилках.

Галенит встречается сравнительно редко и отмечается в виде рассеянной вкрапленности кристаллов кубического габитуса, размером до 1 мм. Обычно галенит содержится в полиметаллических, изредка в кварц-карбонатных прожилках. В карбонатной жилке (скв. 16893) зафиксированы несколько кристаллов галенита октаэдрического облика.

Сфалерит присутствует в сплошных яснозернистых агрегатах и в виде вкрапленности единичных зерен неправильной формы, в зонах метасоматоза вместе с галенитом, пиритом, халькопиритом и арсенопиритом образуют полиметаллические прожилки мощностью несколько миллиметров.

На Первомайском руднике в кварц-карбонатных жилах, приуроченных к зонам тектонических нарушений, установлены редкие чешуйки молибденита в ассоциации с пиритом, пирротинном, халькопиритом, арсенопиритом.

Проведенные исследования позволили сделать следующие **выводы**: 1. Метасоматические изменения проявлены в породах ново-

криворожской, скелеватской, саксаганской и гданцевской свит криворожской серии.

2. В метасоматически измененных породах выявлено аномальное содержание Au, Cu, Zn, Pb, Ti, Ni, Co, Ba, Sr, Zr, V, Rb, Ce, которое неравномерно распределены в породах региона и концентрируются, образуя в аномалии только в зонах метасоматоза.

3. Рудная минерализация бывает в метасоматически измененных породах сингенетиче-

ской, образовавшейся в период накопления осадочно-вулканогенных толщ, и эпигенетической, обусловленной процессами метасоматоза, проявившегося на всех этапах геологического развития региона.

4. Выявленные аномальные концентрации рудных элементов свидетельствуют о перспективности Кривбасса, кроме традиционных железных руд, на некоторые редкие, рассеянные и благородные металлы.

#### Литература

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.И., 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. Елисеев Н.А., Никольский А.П., Кушев В.Г. Метасоматиты Криворожского рудного пояса. – М.-Л. : Изд-во АН СССР, 1961. – 204 с.
6. Коржинский Д.С. Очерк метасоматических процессов // Основные проблемы в учении о магматогенных рудных месторождениях. – М. : Изд-во АН СССР., 1953. – С. 332–352.
7. Коржинский Д.С. Теория метасоматической зональности. – М. : Наука, 1969. – 112 с.
8. Коржинский Д.С. Теоретические основы анализа парагенезисов минералов. – М. : Наука., 1973. – 88 с.
9. Курлов Н.С., Белевцев Р.Я., Мечников Ю.П. Рудно-метасоматическая зональность по разрезу Криворожской сверхглубокой скважины (СГ-8) // Збірник наукових праць ИГОС НАН та МНС України. – Киев, 2002. – Вип. 5/6. – С.133–144.
10. Половинкина Ю.Ир. Натровый метасоматоз как закономерность в образовании месторождений железистых кварцитов // Зап. Всес. мин. об-ва, 1949. – Вторая серия. – Т. 78, № 1. – С. 52–58.
11. Половинкина Ю. Ир. Эгирин Криворожского железорудного бассейна // Мин.сб. Львовск. геол. о-ва. – 1951. – №5. – С. 167–178.
12. Половинкина Ю.Ир. Куммингтонит и щелочные амфиболы Кривого Рога // Там же. – 1953. – № 7. – С. 167–186.
13. Половко Н.И. Баланс вещества при образовании щелочных метасоматитов. – К. : Наук. думка, 1970. – 140 с.
14. 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. 1. – С. 35–42.
15. Семенов Н.П. Структура рудных полей Криворожских железорудных месторождений. – К. : Изд-во АН УССР, 1946. – Т. I. – 264 с.
16. Семенов Н.П. О миграции породообразующих элементов в постмагматических продуктах гранитных магм // Вопросы петрографии и минералогии. – М. : Изд-во АН СССР, 1953. – Т. 1. – С. 66–75.
17. Семенов Н.П. Проблемы метаморфизма // Изв. АН СССР. – Сер. геол. – 1953. – № 1. – С. 98–113.
18. Семенов Н.П. Парагенетический анализ и систематика метаморфических пород. – К. : Изд-во АН УССР, 1954. – 58 с.
19. Семенов Н.П. Метасоматические процессы и миграция породообразующих элементов // Геология СССР : Украина – М. : Госгеолтехиздат. – Т. 5, 1958. – С. 363–368.
20. Семенов Н.П. Генетическая классификация метаморфических пород и процессов // Магматизм и связь с ним полезных ископаемых. – М. : Госгеолтехиздат, 1960. – С. 67–93.
21. Семенов Н.П., Ладиева В.Д., Бордунов И.Н. и др. Железисто-кремнистые формации Украинского щита. – К. : Наук. думка, 1978. – Т. II. – 367 с.
22. Стрыгин А.И. Парагенезис минералов эгиринизированных пород криворожской серии // Геол. журн. – 1959. – 19, Вып. 4. – С. 58–69.
23. Стрыгин А.И. Новые данные по эгиринизации пород криворожской серии // ДАН УССР. – 1960. – Сер. геол. – № 8. – С. 894–897.
24. Стрыгин О.И. Характер залежності гідротермально-метасоматичного парагенезису мінералів від складу вихідних порід при альбітизації порід Криворізької серії // Матеріали з мінералогії України. – К. : Вид-во АН УРСР, 1960. – С. 117–126.

25. Тугаринов А.И., Павленко А.С., Александров И.В. Геохимия щелочного метасоматоза. — М. : Изд-во АН СССР, 1963. — 202 с.

**Великанов Ю.Ф., Великанова О.Ю. Геохімічні особливості метасоматично змінених порід Кривбасу.** Наведено результати геохімічних досліджень метасоматичних змін у породах новокриворізької, скелевацької, саксаганської та гданцівської світ криворізької серії. Розміщення зон і особливості прояву метасоматозу контролюються сукупністю літологічних і структурно-тектонічних чинників. У розподілі метасоматичних зон існує певна закономірність, що проявляється в приуроченості їх до ділянок тектонічних порушень, брекчіювання, зрушень, міжшарових змішень, мікроскладчастості та тріщинуватості, які є найсприятливішими шляхами циркуляції гідротермальних розчинів, під впливом яких відбувалася переробка вмисних порід, заміщення їх первинних мінералів, а також привнесення, перерозподіл і концентрація рудних елементів. У метасоматично змінених породах метасоматоз виявлений у вузьколокальних зонах (потужність від декількох метрів до перших десятків метрів), або характеризується площадним перетворенням порід (потужність до декілька сот метрів). У зонах метасоматозу встановлено аномальний вміст Au, Cu, Zn, Pb, Ti, Cr, Ni, Sr, Ba, Zr, V, Rb, Ce. Наведено короткий опис основних породоутворювальних і сульфідних мінералів, розвинутих у зонах метасоматично змінених порід.

**Velikanov Y.F., Velykanova O.Y. Geochemical characteristics of metasomatically altered rocks in the Kryvbas.** The article demonstrates results on geochemical investigations of metasomatic alterations in the rocks of the New Kryvy Rig, Skelevatsk, Saxagan and Gdantsi suits of the Kryvy Rig series. Position of metasomatic zones and specification of metasomatism manifestations are controlled by a number of lithological and structural-tectonical factors. Distribution of the zones is definitely regular with their restriction to the locations of tectonic dislocations, brecciation, movements, interlaminar shifts, microfolding and cracking which served as the most favorable ways for circulation of hydrothermal solutions resulting in alterations of the host rocks and minerals but also in introduction, redistribution and accumulation of the ore elements. In the metasomatically altered rocks, the metasomatism occurs in narrow local zones from some meters up to some tens meters in thickness but also form areal transformations of the rocks some hundreds meters in thickness. Anomalous concentrations of Au, Cu, Zn, Pb, Ti, Cr, Ni, Sr, Ba, Zr, V, Rb and Ce were identified in the metasomatic zones. The article includes a short description of major minerals and sulfides of the metasomatically altered rocks.

*Поступила*