

Фазы петрогенезиса в кристаллических сланцах Криворожья

Ю. Г. Гершойг

Криворожский железорудный бассейн представляет собой синклинальную толщу докембрийских кристаллических сланцев, залегающих среди архейских пород Украинской кристаллической плиты и прикрытых третичными и четвертичными отложениями [7, 11, 15, 18, 21 и др.]. Кристаллические сланцы вытянуты узкой полосой с ССВ на ЮЮЗ; длина полосы около 100 км, ширина — от 2 до 6 км. В большей части Криворожья между сланцами и архейскими породами находится мощный покров зеленокаменных пород.

Сланцы собраны в сложные опрокинутые на восток изоклинальные складки, местами надвинутые друг на друга; в своей совокупности они образуют синклинорий, осложненный многочисленными нарушениями надвигового, сбросо-сдвигового и сбросового характера. К части поперечных сбросов приурочены диабазовые дайки.

В стратиграфическом отношении уже давно установлено деление толщи сланцев на три отдела [8, 21, 31 и др.]: 1) верхний, или верхняя сланцевая свита; 2) средний, или железорудная формация; 3) нижний, или филлит-аркозовая свита. Верхний отдел залегает несогласно на железорудной формации [6, 7].

Стратиграфическая схема района б. рудника «Правда», детально изученного автором, может быть представлена в следующем виде:

Отделы	Т о л щ и
Верхний	Двусланцисто-кварцевые сланцы (с карбонатовой фацией) „Углистые“ (графитовые) сланцы „Глинистые“ (серицит-кварцевые) сланцы Надрудная толща (конгломераты, песчаники, кварциты, роговики, хлоритовые сланцы и др.)
Н е с о г л а с и е	
Средний (железорудная формация)	Джеспилиты и железистые роговики Хлоритовые, слюдяные, амфиболовые и гранатовые сланцы с безрудным роговиком Железистые, главным образом магнетито-куммингтонитовые, роговики с прослоями и пачками сланцев амфиболовых и др. Филлитовидные слюдяные сланцы с безрудным роговиком Тальковые сланцы
Нижний	Филлиты Аркозы

Для железорудной формации других районов Криворожья расчленение более подробно [1].

В сложно складчатом комплексе Криворожья отличают Основной, или Главный, синклинал и ряд синклиналов и антиклиналов второго порядка, являющихся частями восточного и западного крыльев Главного синклинала. Последний, в южной части отличающийся шириной и гетероклинальным падением крыльев, а в северной — узкий и опрокинутый на восток, занимает центральную часть полосы кристаллических сланцев и протягивается на 27 км западнее долины р. Саксагани. Южнее г. Кривого Рога благодаря наклону шарниров складок к северу Главный синклинал замыкается, причем все слои кристаллических сланцев последовательно выходят на поверхность. Железистые породы, выходящие на поверхность в восточном крыле Главного синклинала, носят название Червоного и Глееватского пласта, вдоль западного — Тарапаковского пласта и вдоль южного замыкания — Ингулецких пластов.

Восточное крыло Главного синклинала состоит из пережатых и опрокинутых на восток Саксаганского антиклинала и синклинала. Западное крыло Саксаганского синклинала срезано надвигом, вдоль которого надвинуты аркозы и филлиты, слагающие ядро Саксаганского антиклинала. Вследствие наклона шарниров к северу Саксаганский синклинал несколько южнее Кривого Рога также замыкается. Полосы железистых пород, выходящие на поверхность в крыльях Саксаганского синклинала, носят название Первого и Второго Саксаганских пластов, а в западном крыле Саксаганского антиклинала — Червоно-Компанийского пласта.

К западу от Главного синклинала, вблизи южного его замыкания, расположен широкий и плоский Тарапако-Лихмановский антиклинал, вследствие наклона шарниров складок замыкающийся в северном направлении. Он имеет гетероклинальное, весьма сложное в деталях строение и состоит из ряда складок более высокого порядка. Этим антиклиналом Главный синклинал связан с Лихмановским, кулисообразно протягивающимся к югу от Кривого Рога почти на 30 км. Лихмановский синклинал почти на всем своем протяжении опрокинут на восток и сильно пережат надвигающимися на него с запада гранитными породами архея. Железистые породы последнего синклинала носят название Лихмановского пласта.

Б. рудник «Правда» расположен в месте сочленения Главного синклинала и Тарапако-Лихмановского антиклинала. Этот район представляет исключительный петрогенетический интерес, вследствие наличия ряда особенностей:

1) полного развития толщ верхнего отдела и в частности надрудной толщи, позволившего дать подробную характеристику и расчленение этих толщ и выяснить условия их накопления и метаморфизма;

2) мощного развития доступной для изучения надвиговой зоны вдоль западной границы полосы кристаллических сланцев;

3) большого количества разрабатывавшихся и разведывавшихся рудных залежей на верхнем контакте железорудной формации, давшего возможность подробно охарактеризовать этот, весьма интересный в петрогенетическом отношении, тип оруденения;

4) промежуточного (по степени и характеру метаморфизма) положения этого района между Саксаганским, наиболее слабо метаморфизованным, и Желторецким, наиболее интенсивно метаморфизованным, районами Криворожья. Это позволяет следить за ходом и последова-

тельностью процессов метаморфизма в Криворожском бассейне в целом.

Рудные залежи Криворожского бассейна образуют, как известно, столбовидные, плитообразные, пластообразные, гнездовидные и более сложные троговые (в ядрах синклиналов) тела в железистых породах. Распределение и конфигурация их контролируются главным образом тектоническими элементами [6, 26]. В настоящее время Н. П. Семенов выделяет следующие типы рудных полей:

1. Рудные поля в замках синклиналов.
2. Рудные поля в крыльях синклиналов, образованные поперечными изгибами шарниров.
3. Рудные поля в поперечных вертикальных складчатых узлах и флексурах.
4. Пластовые рудные поля зон надвигов и сдвигов вдоль контакта с надрудной толщей.
5. Рудные поля сложно складчатых структур.
6. Рудные поля глыбово-покровных структур.

Залежи в районе б. рудника «Правда» почти всегда пластообразные и должны быть отнесены к типам 4 и 5. Руды их весьма разнообразны по минералогическому составу и отчасти по способу образования. Преобладают магнетитовые и гематитовые руды гидротермального генезиса, однако, распространены также руды бурожелезняковые инфильтрационные и гематитовые метатетического происхождения — «руды выщелачивания» [6].

Н. П. Семенов [25] выдвинул теорию многофазного формирования геологической структуры Криворожья; он выделяет четыре фазы тектонических процессов, накладывающиеся друг на друга. Первая, наиболее древняя фаза тектогенеза прошла до отложения слоев верхнего отдела и дала сжатую изоклиналиную складчатость северо-северо-восточного направления; складки эти — опрокинутые, лежащие, часто чешуйчатые и надвинутые друг на друга. Вторая фаза тектогенеза, протекавшая уже после образования толщ верхнего отдела, повторила направление структур первой фазы, но дала главным образом крупные открытые складки, перегибающие изоклиналиные. Третья фаза тектогенеза характеризуется структурами, являющимися поперечными по отношению к складчатости первых двух фаз; при наложении на более древние структуры они деформируют последние в широтном направлении. Эта фаза тектогенеза дает разнообразные сложные формы дизъюнктивных и пликтивных дислокаций; с ней связано образование рудных залежей. Наконец, в четвертой фазе тектогенеза произошли дизъюнктивные дислокации меридионального направления.

Изучение пород и руд района б. рудника «Правда» подтверждает сложность формирования кристаллически-сланцевого комплекса Криворожского бассейна и позволяет наметить не менее 14 этапов этого процесса. Краткая характеристика этих этапов приводится ниже.

Седиментация слоев нижнего и среднего отделов. Отложение песчаных и глинисто-илистых осадков нижнего отдела (аркозы и филлиты) происходило в условиях развивающейся морской трансгрессии, в прибрежной зоне и в мелководье — в окислительной геохимической обстановке.

Происхождение магнезиальных (тальковых и актинолитовых) сланцев не вполне ясно; возможно, что они представляют собой продукт гальмиролиза, последующего перемива и переотложения какого-либо подводного ультраосновного эффузива.

Появление в стратиграфическом разрезе различных, в той или иной мере железистых, сланцев с роговиковыми прослоями знаменует резкое изменение физико-химических условий образования осадков. Слоями этих пород начинается железорудная формация, в целом характеризующаяся обилием железа и полным отсутствием кластического материала в роговиковых прослоях.

Слоистые железисто-кремнеземистые породы — джеспилиты и железистые роговики — всеми исследователями Криворожья, за исключением И. И. Танатар, признаются первично осадочными образованиями [13, 14, 18, 20, 21, 31 и др.]. Источники SiO_2 и железа, необходимые для образования осадков, пути переноса и способы осаждения их на дне бассейна послужили темой многочисленных исследований [16, 21, 36, 38, 39, 42 и др.]. Однако до сих пор эти вопросы не могут считаться окончательно выясненными.

В состав одних рудных слоев входит преимущественно магнетит (мартит), других — гематит, третьих — силикаты железа (лептохлориты и амфиболы), причем магнетит образовался из сидерита, гематит — из гидроокиси железа, а амфиболы — за счет аморфных силикатов железа [21 и др.]. Следовательно, мы должны допустить наличие в осадках железорудной формации разных геохимических фаций, сменявших друг друга: восстановительная сидеритовая фация, отличающаяся избытком углекислоты; шамозитовая, в которой не было избытка свободного кислорода и углекислоты, и окислительная, с избытком активного кислорода [5, 17].

Таким образом, железорудная формация, характеризующаяся многократным переслаиванием железисто-кремнеземистых и сланцевых пластов (с преимущественной концентрацией первых в верхних и нижних частях формации — верхний и нижний железистые горизонты), является продуктом ритмической седиментации коллоидов железа и кремния при многократно изменяющихся геохимических условиях. Сланцевые слои первоначально были представлены илистыми отложениями шамозитовой и гриналитовой фации с прослоями аморфного кремнезема, железистые же состояли из углекислого железняка, водных окислов железа и прослоев аморфного кремнезема.

Наличие в железорудной формации сланцевых слоев объясняется изменением не столько общих условий осаждения (глубины бассейна, рН и т. д.), сколько состава и количества приносимого в бассейн тонкокластического (илистого) материала.

Первая фаза регионального метаморфизма. С первой фазой тектогенеза — фазой изоклинальной складчатости — связывается первая фаза регионального метаморфизма, когда осадки нижнего отдела были метаморфизованы до состояния аркозов и филлитов, а среднего отдела — до биотито-амфиболо-гранатовых сланцев, сидеритовых и гематитовых роговиков. Следует отметить, что в преобладающих в нашем районе железисто-магнезиальных сланцах железорудной формации полностью отсутствует кластический материал — все минералы выкристаллизовались в процессе метаморфизма. Главнейшими минералами являются хлориты и амфиболы. Рост амфибола среди хлорита, наблюдаемый в шлифах, дал Н. И. Свитальскому основание сделать вывод о более позднем образовании амфибола за счет хлорита [21]. Наши детальнейшие наблюдения, в согласии с выводами И. И. Танатара [28], говорят о вторичном характере хлорита в сланцах; чаще всего он развивается по биотиту, а также замещает амфибол, гранат, полевой шпат; кроме того, он образуется также, иногда совместно с

кварцем, вблизи крупных порфиروبластов других минералов (граната, хлоритоида).

Общий ход метаморфизма магнезиально-железистых сланцев в эту фазу может быть изображен следующей схемой: аморфные осадки силикатов железа — железистые биотиты (через хлориты?) — железистые амфиболы.

Метаморфизм происходил при высокой температуре, соответствующей температуре образования амфиболов и гранатов, и при весьма высоком давлении — в условиях, переходных от эпизоны к мезозоне, в результате чего образовались породы биотитовой и альмандиновой зон Харкера [33] с обильным развитием плоско- и линейно-параллельных сланцевых текстур, текстур истечения, кручения.

Седиментация слоев верхнего отдела. Слои верхнего отдела представлены осадками трансгрессирующего моря [5] — от прибрежных до сравнительно глубоководных, — отложившимися уже в совершенно иных по сравнению с железорудной формацией физико-химических условиях.

Слои надрудной толщи, залегающей в основании верхнего отдела, образовались в значительной мере за счет железорудной формации. Здесь вполне применим предложенный Батуриным термин «унаследованная седиментация», так как эти слои в основном представляют перемытый и переотложенный материал предыдущего цикла осаждения. Геохимически надрудная толща должна быть отнесена к осадкам шамозито-сидеритовой фации, но с преобладанием грубо кластического материала над химически осажденным. Ее слои образовались в чрезвычайно изменчивых условиях: в лагунах и на отмелях шельфа, при энергичной работе течений и с участием гальмиролиза.

Отложения надрудной толщи являются осадками начальной стадии талассократического движения. На них отлагались песчанисто-илистые и чисто илистые осадки, ныне представленные кварцево-слюдистыми, слюдисто-графититовыми (углистыми) и другими сланцами. В верхах этой мощной и тонкослоистой свиты появляются карбонатные отложения сначала в виде тончайших прослоек, а затем — целых пластов и мощных линз (рифовые образования?), в настоящее время представленных мелкозернистыми кальцитовыми и доломитовыми мраморами.

Верхняя часть свиты уничтожена эрозией, и потому полная ее мощность неизвестна, во всяком случае она превышает 1000 м.

Последовательность залегания слоев верхнего отдела и состав их позволяют воссоздать историю отложения всей свиты. Образование осадков происходило в углублявшемся замкнутом морском бассейне типа Черного моря. В один из моментов трансгрессии сюда из соседнего бассейна прорвались воды меньшей солености. В связи с меньшим удельным весом прорвавшихся вод, занявших в бассейне верхние горизонты, прекратилась вертикальная циркуляция придонных вод, а следовательно, и газовый обмен между различными слоями воды и приток кислорода на дно, а затем развилась деятельность десульферирующих бактерий. Следствием этого было сероводородное заражение глубин и образование отложений сероводородной геохимической фации.

Литологически осадки сероводородной фации выражены углистыми сланцами, богатыми углеродом (графитит) и серой (пирит). Весьма резкий контакт углистых сланцев с нижележащими слоями фиксирует геологический момент катастрофы — прорыв опресненных вод и сероводородное заражение. В дальнейшем происходит очень медленное обеззараживание, нарушенный газовый обмен восстанавливается с трудом,

и поэтому углистые сланцы весьма постепенно переходят в вышележащую толщу.

Вышележащая толща биотито-кварцевых сланцев и мраморов свидетельствует о дальнейшем развитии талассократического движения. Тончайшая слоистость этих пород, обусловленная чередованием прослоев, богатых то силикатами, то карбонатами, видимо, соответствует первоначальному сезонному чередованию глинисто-листных и известковистых отложений, а наличие редких песчаных слоев связано с приносом течениями и бурями более крупнозернистого терригенного материала из области шельфа.

Еще в 1936 г. нами было обращено внимание на большое сходство верхних сланцевых толщ Криворожья и района Курской магнитной аномалии и сделан вывод об их одновременном образовании при сходных физико-химических условиях и, вероятно, в пределах одного и того же водного бассейна [4 и 5]. Несколько позже В. И. Лучицкий отнес верхние сланцевые толщи обоих районов к ятулийской свите декабря [14].

Вторая фаза регионального метаморфизма. Метаморфизм слоев верхнего отдела весьма слаб. В них сохранился первичный кластический материал, причем величина зерен очень мала, а типоморфными минералами являются главным образом слабо индивидуализированные мелкочешуйчатые слюды типа серицита и биотита, а также каолиновые минералы. Появление в них мелкочешуйчатого биотита, являющегося характерным для более глубоко метаморфизованных осадков, связано, быть может, со сравнительно низким давлением, под действием которого происходил метаморфизм.

Указанием на сравнительно низкое давление служит отсутствие или слабое развитие в породах верхнего отдела квиважа истечения, сплошности, линейных текстур, явлений растяжения, кручения, теней давления и пр., столь характерных для слоев железорудной формации. Исключение в этом отношении представляют сланцы верхнего отдела, зажатые в ядре Лихмановского надвига. Под влиянием надвига сланцы подвергаются перекристаллизации, приобретают волнисто-сплошную текстуру и крупночешуйчатую структуру, причем минералогический состав их не изменяется. Точно так же особый локальный характер носят изменения минералогического состава и структуры сланцев надрудной толщи вдоль поверхности соприкосновения их с породами железорудной формации (самостоятельный характер этих изменений и связь их с особой фазой метаморфизма будут показаны ниже).

Вторая фаза регионального метаморфизма, прошедшая после отложения слоев верхнего отдела, как мы видим, была гораздо слабее первой фазы. В породах нижнего и среднего отделов не удалось установить проявлений минералообразования и наличия структур, которые можно было бы однозначно отнести к описываемой фазе.

Вторая фаза регионального метаморфизма генетически увязывается со второй фазой тектогенеза, определяемой Н. П. Семененко как фаза открытой складчатости, в течение которой были оформлены крупнейшие геологические структуры Криворожского бассейна, в том числе Главный и Лихмановский синклинали.

Фаза локального метаморфизма. Особенность надрудной толщи заключается в указанной ранее повышенной раскристаллизации отдельных сланцевых прослоев, сопровождающейся появлением более высокотемпературных стрессовых минералов — хлоритоида, розового граната и дистена — в виде крупных порфиробластов. Распределение таких минералов носит строго локальный характер: в одних уча-

стках сланцевые слои совершенно лишены их, а в других сланцы превращены в весьма крупнозернистые, почти массивные, породы — хлоритовидные, гранатовые и хлоритовидно-дистеновые. Объясняется это явление тем, что при складкообразовательных процессах в толще разнородных слоев происходят энергичные подвижки, раздробление и волочение пород. В особо благоприятных случаях (при достаточно быстром ходе тектогенеза) такие подвижки сопровождаются повышением температуры, достаточным не только для образования новых, более высокотемпературных, минералов, но даже и для частичного переплавления пород. Таким образом, вследствие тектонических нарушений на отдельных участках температура значительно повышалась и породы подвергались более интенсивному метаморфизму.

Действительно, в надрудной толще и на границе последней с железорудной формацией мы наблюдаем повсеместное развитие брекчий в хрупких слоях, волочение и перетираание — в более податливых. Здесь, несомненно, отмечалось значительное повышение температуры, обусловившее появление на фоне общего сравнительно слабого регионального метаморфизма локальных зон более интенсивного метаморфизма. Конечно, не только в надрудной толще происходили подобные процессы; достаточно указать на крупночешуйчатые слюдяные сланцы со ставролитом в зоне Лихмановского надвига, появление в сланцах верхнего отдела в локальной зоне глубокого висячего бока тарапаковских залежей порфиробластов дистена и роговой обманки.

Время возникновения локального метаморфизма не удастся установить точно: он может быть отнесен ко второй фазе регионального метаморфизма, но может быть и самостоятельным, более поздним этапом в геологическом развитии района, генетически связанным с особой фазой тектогенеза. Можно утверждать лишь, что описываемая фаза в основном прошла до фазы гидротермального метаморфизма, так как крупные порфиробласты граната первой рассекаются хлорито-магнетитовыми жилками второй.

Первая фаза жильных гидротерм. В районе б. рудника «Правда» имеется большое количество сравнительно древних жил гипотермального молочного кварца [8]. В других районах Криворожского бассейна устанавливается связь таких жил с пегматитами [23, 24]. В 1940 г. нами был доказан дорудный возраст кварцевых жил в залежах рудника им. Фрунзе; они образовались позже изоклинальной складчатости, в одну из последующих тектонических фаз, характеризующуюся широким развитием трещин разрыва, которые и послужили путями движения термальных вод и местом отложения кварца. В кварце отмечается присутствие трещин отдельности и кливажа, совпадающих с некоторыми направлениями кливажа и трещиноватости во вмещающих породах. Более древний возраст кварцевых жил по сравнению с окружающей рудой доказывается активным воздействием рудоносных растворов на жильный кварц, с образованием в последнем рудных прожилков и приконтактовых зон.

На основании этих данных мы говорим о дорудном возрасте кварцевых жил нашего района, определяя их как пневмато-гидатогенные погоны кислой магмы и связывая их образование с пегматитами, кое-где рассекающими кристаллические сланцы Криворожского бассейна [8, 22, 23].

Фаза гидротермального метаморфизма. Эта фаза представляет один из важнейших и интереснейших этапов геологической истории района. Согласно Н. П. Семененко, гидротермальный метаморфизм, одним из продуктов которого являются залежи богатых же-

лезных руд, генетически связан с третьей фазой тектогенеза, так называемой рудной складчатостью [25, 26].

Гидротермальный метаморфизм обусловлен щелочными гидротермами, для которых пути движения были открыты указанной складчатостью. Источником щелочных гидротерм, вероятно, являлась кислая интрузия, в нашем районе не вышедшая на поверхность, а в Желторецком районе дающая жильные отщепления и образующая небольшой массив альбититов на стыке пород верхнего отдела и железорудной формации. Щелочные растворы действовали главным образом в пределах толщ железисто-кремнеземистых пород; сланцевые горизонты, очевидно, были для них трудно проницаемы.

В результате действия щелочных растворов сидерит превращался в магнетит, причем образовались описанные еще И. И. Танатаром своеобразные сростковые текстуры рудных слоев, а также происходило частичное перераспределение железа в породах с концентрацией его в некоторых участках и образованием залежей богатых руд.

Появление залежей богатых руд было связано с выносом из пород SiO_2 и других компонентов и метасоматическим замещением магнетитом минералов породы. Детали механизма замещения недостаточно выяснены: в джеспилитах, повидимому, образовывался непосредственно магнетит, замещавший кварц; в породах, богатых силикатами, процесс был более сложен — вначале появлялся альбит, замещавшийся затем, как и другие минералы породы, магнетитом; в конечные фазы процесса шла хлоритизация породы. Часто вслед за отложением магнетита изменялся химизм растворов, появлялись карбонаты, в связи с чем происходило дополнительное перераспределение железа и карбонатизация пород и руд.

В залежах описываемого района эмпирически установлена следующая зональность (сверху вниз):

1. Магнетитовые (мартитовые) и железослюдковые руды.
2. Магнетитовые руды со значительным количеством силикатов.
3. Магнетитовые руды с весьма значительным количеством карбонатов.

Местами под рудами типа 2 или 3 обнаружены карбонатизированные зоны без руд. Установление причин такой зональности и расшифровка деталей физико-химической обстановки гидротермального метаморфизма — дело специальных исследований; очевидно, здесь играет роль постепенное изменение давления, температуры и концентрации рудонесных растворов.

На основании петрографического исследования руд различных типов можно наметить следующую общую последовательность минералообразования, которое гипотетически связывается нами с пегматитовым процессом.

I. Самым ранним минералом является альбит, который образовался в период наиболее энергичного действия щелочных пневмато-гидатогенных погоней кислой магмы фаз F — G — H [32] при 500—400°. Одновременно происходила десицификация пород, с выносом из них всего свободного SiO_2 .

II. С понижением температуры, примерно на границе фаз G и H, натрий в растворах заменяется калием; этому моменту соответствует образование мусковита (и зеленого биотита). В этот же период происходит интенсивное отложение магнетита, замещающего первичные кварцевые и силикатные компоненты пород и разьедающего ранее образовавшийся альбит. Магнетит развивается не только за счет привноса железа, растворами, но и в результате разложения железистых

силикатов под действием калиевых растворов (лептохлорит + калий = мусковит + магнетит).

III. При дальнейшем понижении температуры до 350—200° (фазы Н—К) изменяется характер растворов; вместо щелочей, в них уже преобладает углекислота; сначала идет образование доломита, как более высокотемпературного карбоната, а затем кальцита. В первую половину этого периода одновременно происходит еще некоторое отложение магнетита и его перераспределение, в связи с чем образуются дендритовидные и пегматитообразные сростания магнетита с долами-

Фазы Минералы	Эпимагмат			Пневматолитическ			Гидротермальная		Гипергенная	
	Магматич.	Эпи-магмат	Пегматитовая	Пегматитовая		Надкритич.	Н	К	Л	
	А 1000°	В 800°	С	Д 600°	Е	Ф 500°	Г	400°	250°	100°
Альбит									x	
Магнетит										x
Мусковит										
Зеленый биотит										
Доломит										
Кальцит										
Железный блеск										
Щелочной амфибол										
Кварц						x	x	x		
Хлорит										
Сульфиды										

том. Во вторую половину этого же периода, при преимущественном образовании кальцита, одновременно происходит разъедание всех ранее образовавшихся минералов, в том числе и рудных. В основном в этом же этапе образуются железный блеск и щелочной амфибол.

IV. Хлорит и кварц развиваются за счет рудных минералов и карбонатов, что свидетельствует об их образовании в этот, более поздний, этап гидротермального процесса. Следует отметить, что до этого этапа происходил постоянный вынос SiO₂. Таким образом, наблюдающееся в рудах новообразование кварца знаменует собой коренное изменение характера растворов и всего хода гидротермальных процессов.

Что касается присутствующих в рудах мелковкрапленных сульфидов — пирита и реже арсенопирита, халькопирита, — то неясно, отвечают ли они последним стадиям общего рудообразовательного процесса или являются производными более молодого жильного цикла рудных гидропневматолитов.

Общая картина минералообразования в рудах дана в геохимической диаграмме, однако, указанные в ней последовательные этапы минералообразования полностью проявляются лишь в силикатных породах. В джеспилитах из всего сложного процесса рудообразования наблюдаются лишь два момента: вынос SiO_2 и отложение рудных минералов.

Вторая фаза жильных гидротерм. Ко второй фазе жильных гидротерм должны быть отнесены многочисленные жильные проявления главным образом сульфидного характера, содержащие местами также кварц, мусковит, турмалин и другие минералы. Наиболее распространены существенно сульфидные образования в виде мелких прожилков, неправильных скоплений, вкраплений и пр., а также более мощные сложные сульфидные жильные зоны, связанные с крупными зонами тектонических нарушений [8].

Наиболее крупная, Лихмановская, жильная зона прослежена вдоль рудных залежей Лихмановской полосы на протяжении почти 15 км. Она приурочена к сложному Лихмановскому надвигу, состоящему из нескольких надвиговых чешуй и сопряженных сбросов. Сама жильная зона то состоит лишь из изолированных прожилков жильных минералов, то раздувается и мощность ее возрастает до 2 м, причем в жильной массе здесь присутствуют обломки и целые участки сильно разрушенных вмещающих пород. Жильные выделения представлены пиритом, нередко медистым, с арсенопиритом. Развиты кварц, сидерит, встречаются хлорит, магнетит, турмалин и др. С поверхности вся жильная масса превращена в бурый железняк, причем лимонитизация в той или иной степени распространяется до глубины 150—180 м, а местами и ниже.

Другая жильная зона — Тарапаковская — приурочена к сбросовым дислокациям и представлена несколькими (2—4) параллельными меридиональными трещинами, заполненными обломками боковых пород и жильным цементом. Такие жильные брекчии, мощностью от 0,5 до 1,5 м, пересечены рядом скважин, заложенных к востоку от Тарапаковской полосы джеспилитов. На глубинах 100—300 м брекчии превращены в бурый железняк и лишь по присутствию в них жильного кварца, турмалина и мусковита можно судить о первоначальном гидротермальном высокотемпературном характере цемента.

Описываемые жильные образования произошли позднее фазы рудного гидротермального метаморфизма; они рассекают как вмещающие породы, так и рудные тела. По общему своему характеру они являются рудными гидронефмолитами сульфидно-кварцевого состава и, очевидно, представляют собой выжимки кислой магмы, отвечающие фазам F—H геохимической диаграммы Ферсмана.

К сожалению, в настоящее время мы не можем отнести сульфидные жильные образования к определенной интрузии и к определенной фазе тектогенеза.

Фаза внедрения диабазовой магмы. В описываемом районе зафиксировано пересечение рудной залежи диабазовой дайкой, но ни разу не отмечено пересечения диабаза жильными гидротермолитами первой и второй фаз. Следовательно, можно предполагать, что внедрение диабазовой магмы произошло уже после оформления рудных залежей и образования гидротермальных прожилков второй фазы. Оно приурочивается к эпейрогеническим движениям, следовавшим за поперечной (широтной) складчатостью; в результате этих движений раскрылись ранее существовавшие широтные трещины и по ним про-

изошло внедрение основной магмы. Контактное воздействие диабазовой дайки на окружающие породы ничтожно.

Фаза регрессивного метаморфизма. Выше уже отмечался вторичный характер хлорита в хлоритовых и других сланцах района. Так как в Криворожье процесс перехода биотита в хлорит является региональным и прослежен на больших глубинах (в нашем районе более 500 м, в соседнем — более 1100 м от поверхности), то причину такого перехода следует искать не в выветривании, а в регрессивном метаморфизме. Последний вызывается переходом пород из одной зоны метаморфизма в другую, менее глубокую, т. е. изменением термодинамических условий существования пород в связи с понижением давления и температуры.

Проявления регрессивного метаморфизма многочисленны: они отмечаются в различных слюдисто-хлоритовых сланцах, а также в сланцах с остатками альбита, дистена, граната и пр., замещаемых хлоритом, серицитом и каолинитом. Во всех этих породах замечается тесная связь хлорита и серицита с остаточным биотитом и другими указанными минералами, аналогично тому, как это описывает Н. А. Елисеев для алтайских диафторитов [2, 10].

Фаза глубинного выветривания. В различных породах Криворожского бассейна очень часто наблюдаются своеобразные процессы разрушения, подобные поверхностному выветриванию, но распространяющиеся на большую глубину, измеряемую многими сотнями метров. К таким процессам относятся окисление магнетита в маргит, разложение железистых силикатов с выделением гидрогематита и глинистого вещества («окраскование»), выщелачивание SiO_2 . Угасание указанных явлений на глубине, хотя и весьма значительной, не позволяет объяснить их гидротермальным воздействием. Так называемые красковые сланцы Криворожья представляют собой продукт разложения пород, богатых железистыми силикатами, главным образом хлоритом. Это доказывается как условиями залегания таких сланцев, так и строением их и не может вызывать никаких сомнений. В надрудной толще, в сланцевых горизонтах железорудной формации, да и в самих рудных залежах красковые сланцы переслаиваются с другими породами — охристыми, глинистыми, пестрыми и железистыми сланцами, — также представляющими продукты разрушения.

Химизм процесса во всех этих случаях был один и тот же — разложение железистых силикатов с выносом окислов щелочноземельных и щелочных металлов и выделением некристаллических маловодных окислов железа (гидрогематит) и остаточного глинистого вещества. В первую очередь разрушались железистые силикаты, во вторую — слюды; остаточный глинистый продукт, судя по многочисленным анализам, состоит в основном из каолинита. Одновременно происходило и некоторое перераспределение железа, о чем свидетельствует образование здесь сильно оруденелых «окраскованных» прослоев и участков, наряду с чисто глинистыми участками и прослоями, совершенно лишенными железа.

Для объяснения образования красковых сланцев, пестрых сланцев и выщелоченных пород Криворожского бассейна мы принимаем гипотезу артезианской циркуляции грунтовых вод, согласно которой, в складчатой сланцево-роговиковой железорудной формации некоторые слои и контакты по своим физико-химическим свойствам оказываются особенно проницаемыми для грунтовых вод. Пользуясь этими слоями и контактами, грунтовые воды проникали далеко в глубь, следовали вдоль общей складчатости и выходили вновь на поверхность в месте

выходов соответствующих слоев. Такую же роль водопроводящих труб, вероятно, играли и рудные залежи, обладавшие пористостью более значительной, чем вмещающие породы. Наконец, путями движения вод могли служить многочисленные тектонические трещины, зоны брекчирования и смятия.

Глубинное выветривание, вероятно, соответствует длительному постпротерозойскому эрозионному циклу, протекавшему в породах, уже ранее подвергшихся регрессивному метаморфизму. Это доказывается распространением окраскования на самые разнообразные породы, в том числе на диафоритизированные сланцы, а также на диабазы. С другой стороны, глубинное выветривание относится к дотретичному времени, так как уже окраскованные породы в прибрежной полосе олигоценового моря превратились в бурые железняки (см. фазу нижнетретичного выветривания).

Третья фаза жильных гидротерм. Единичные находки пирита, наросшего на лимоните на стенках трещин и пустот, в надрудных роговиках Тарапаковской полосы следует отнести к третьей, очевидно наиболее молодой в Криворожском бассейне, фазе жильных гидротерм. Ее можно связать с той четвертой фазой тектонических процессов, которую выделяет Н. П. Семенов и с которой он связывает дизъюнктивные дислокации и образование открытых трещин растяжения. Эта жильная фаза еще ждет своего исследования.

Фаза нижнетретичного выветривания. Из более поздних процессов должно быть отмечено нижнетретичное выветривание и обусловленное им интенсивное развитие бурых железняков. Геологическое время этого процесса устанавливается совершенно точно, благодаря связи бурых железняков с олигоценовыми отложениями. Мощность коры выветривания 20—30 м; в ней происходило не только накопление железа, но также некоторое накопление окислов алюминия за счет выноса других компонентов силикатных пород. Выветривание имеет латеритный характер, обусловленный влажным и теплым климатом нижнетретичного периода.

Современные процессы выветривания. Совершенно противоположны нижнетретичному выветриванию современные (и четвертичные вообще) несравненно менее интенсивные процессы выветривания. Они сводятся к выносу из пород щелочных и щелочноземельных металлов, а также железа (сиалитный тип выветривания). Наблюдается также окисление углерода в сланцах, богатых им, следствием чего является осветление, отбеливание таких пород с поверхности и вдоль трещин. Наибольший интерес представляет выщелачивание железа в джеспилитах и железистых роговиках, особенно хорошо наблюдаемое на валунах и гальках этих пород, находящихся в речном и балочном аллювии. Такой характер выветривания тесно связан со сравнительно холодным климатом четвертичной эпохи.

Все изложенное об этапах формирования кристаллических сланцев района б. рудника «Правда» сведено в таблицу, в которой для сравнения приведены также основные фазы тектогенеза Криворожского бассейна по Н. П. Семенову. Таблица эта является лишь первой заметкой, и в ней, без сомнения, имеется много пропусков и неточностей. Тем не менее, она ясно показывает всю сложность геологической истории описываемого района и всего Криворожского бассейна в целом. Можно предполагать, что история формирования пород и руд Криворожья в действительности еще сложнее и по мере более глубокого изучения бассейна ряд этапов будет выделен дополнительно.

*Этапы формирования и продукты петрогенезиса кристаллических сланцев
Криворожского бассейна*

№ п/п	Этапы формирования и преобразования	Факторы образования и преобразования	Синхронные фазы тектогенеза (по Н. П. Семененко)	Продукты петрогенезиса
1	Накопление осадков	Механическая, а затем химическая осадочная дифференциация		Песчанистые, глинистые, кремнеземисто-железистые осадочные толщи
2	Первая фаза регионального метаморфизма	Общее повышение давления и температуры в условиях интенсивного стресса	I фаза (изоклинальная складчатость северо-северо-восточного направления)	Аркозы, филлиты, силикатные, сидеритовые и бурожелезняковые роговики
3	Накопление осадков	Механическая осадочная дифференциация		Песчанистые, илистые и карбонатные осадочные толщи
4	Вторая фаза регионального метаморфизма	Общее повышение давления и температуры в условиях слабого стресса	II фаза (открытая складчатость северо-северо-западного направления)	Песчаники и кварциты, слюдястые и слюдисто-графититовые сланцы, кристаллические известняки и доломиты
5	Фаза локального метаморфизма	Местное повышение температуры в связи с дислокационными процессами		Хлоритоидные, дистеновые, гранатовые и ставролитовые сланцы и породы
6	Первая фаза жильных гидротерм	Пневмато-гидатогенные погоны кислой магмы		Гипотермальные кварцевые жилы
7	Фаза гидротермального метаморфизма	Щелочные гидротермы	III фаза („рудная“ складчатость широтного направления)	Джеспилиты, магнетитовые роговики и сланцы, богатые железные руды и сопровождающие их оруденелые породы
8	Вторая фаза жильных гидротерм	Пневмато-гидатогенные погоны кислой магмы		Существенно сульфидные жильные выделения с турмалином, слюдой и кварцем
9	Фаза внедрения диабазовой магмы	Диабазовая магма, контактный метасоматоз		Диабазовые дайки, весьма слабо выраженные зоны ороговикования и перекристаллизации в сланцах на контакте с диабазом
10	Фаза регрессивного метаморфизма (диафторез)	Понижение давления и температуры		Хлоритизированные и серицитизированные породы
11	Фаза глубинного выветривания (доглеточного)	Артезианская циркуляция грунтовых вод		Окисленные, „окраскованные“ и „выщелоченные“ породы и руды, „красковые“ руды

№ п/п	Этапы формирования и преобразования	Факторы образования и преобразования	Синхронные фазы тектогенеза (по Н. П. Семенову)	Продукты петрогенезиса
12	Третья фаза жильных гидротерм	Пневмато-гидатогенные погонь кислой (?) магмы	IV фаза (дизъюнктивные дислокации общего меридионального направления)	Редкие и незначительные существенно-пиритовые выделения в тектонических трещинах и пустотах
13	Фаза латеритного выветривания в нижнетретичное время	Влажный и теплый климат в прибрежной полосе олигоценового моря		Породы и руды, замещенные бурым железняком
14	Сиабитное выветривание в четвертичное время	Поверхностное выветривание в условиях современного климата		Весьма слабо отбеленные сланцы на выходах, обесцвеченные с поверхности роговики и джеспилиты

ЛИТЕРАТУРА

- Белевцев Я. Н. Новые данные о стратиграфии криворожских пород. Бюлл. НИГРИ, № 3—4, Кривой Рог, 1940.
- Выдрин Д. Н. и Елисеев Н. А. К вопросу об истории развития теории метаморфизма горных пород. Геолразведиздат, 1933.
- Гершойг Ю. Г. Залізіні руди Криворіжжя, ОНТВУ, 1932.
- Гершойг Ю. Г. Результаты свердління 1147-метровой свердл. № 120 на Криворіжжі. Геол. журн. АН УССР, т. III, вып. 3—4, 1936.
- Гершойг Ю. Г. Детализация стратиграфической схемы Криворожья. «Пробл. сов. геол.», № 4, 1937.
- Гершойг Ю. Г. Стратиграфия, тектоника и морфология рудных залежей Кривбасса, «Разведка недр», № 10, 1938.
- Гершойг Ю. Г. Тектоническая схема Криворожья. «Сов. геол.», № 10, 1938.
- Гершойг Ю. Г. Гидротермальные жилы Криворожского бассейна. «Сов. геол.», № 8, 1940.
- Грубенман и Ниггли. Метаморфизм горных пород. Общая часть. Пер. с 3 нем. изд., ОНТИ, 1933.
- Елисеев Н. А. Петрография Рудного Алтая и Калбы. Труды Петрограф. ин-та, серия 1, вып. 6, 1938.
- Контакевич. Геологическое описание окрестностей Кривого Рога. «Горный журнал», т. I, 1880, стр. 341—375.
- Ласкарев В. Д. Заметки по вопросу о тектонике Южно-Русской кристаллической площади. Изв. Геол. ком., т. XXIV, № 110, 1905.
- Лучицкий В. И. Петрографическое исследование кристаллических пород района Курской магнитной аномалии. Труды Ком. по исслед. КМА, вып. VII, 1926.
- Лучицкий В. И. Стратиграфия докембрия Украинского кристаллического массива. Воронежский кристаллический массив и район Курской магнитной аномалии. Стратиграфия СССР, т. I, АН СССР, 1939.
- Михальский А. О. О некоторых основных вопросах в геологии Кривого Рога. Труды Геол. ком., вып. 32, 1903.
- Перфильев В. В. Новые данные о роли микробов в рудообразовании. Изв. Геол. ком., т. X, № 7, 1926.
- Пустовалов Л. В. Геохимические фации. «Пробл. сов. геол.», № 1, 1933.
- Пятницкий П. П. Исследование кристаллических сланцев степной полосы юга России. Труды о-ва естест., Харьков, 1898.
- Пятницкий П. П. Докембрий. Материалы Укр. геол.-разв. ин-та, вып. 2, Киев, 1933.

20. Пятницкий П. П. Генетические отношения криворожских месторождений. Труды ин-та прикл. минерал., вып. 1 и 2, 1934.
21. Свитальский Н. И. и др. Железородное месторождение Кривого Рога. Труды Геол.-разв. объедин., вып. 153, 1932.
22. Свитальский Н. И. Ближайшие задачи изучения докембрия Европейской части СССР. «Пробл. сов. геол.», № 5, 1935.
23. Семененко Н. П. Про магматичний процес у Криворіжжі. Геол. журн. УАН, т. V, вып. 3, 1933.
24. Семененко Н. П. Гранітні пегматити України. Геол. журн. УАН, т. VI, вып. 4, 1939.
25. Семененко Н. П. Фазы формування тектонічних структур Кривого Рога. Геол. журн. УАН, т. VIII, вып. 1, 1941.
26. Семененко Н. П. Структура рудних полей криворожских железорудных месторождений. Т. I, УССР, Киев, 1946.
27. Танатар И. И. Геологический очерк Криворожского железорудного бассейна. Сб. «Руда», 1922.
28. Танатар И. И. Новейшие данные по петрографии Криворожского железорудного бассейна. Наукові записки Катериносл. дослід. каф. геології, 1927.
29. Тарасенко В. Е. О гранитовых и диоритовых горных породах Криворожского рудоносного района. Труды Геол. ком., нов. сер., вып. 90, 1914.
30. Фаас А. Материалы по геологии третичных отложений Криворожского района. Труды Геол. ком., нов. сер., вып. 10, 1904.
31. Фаас А. Месторождения железной руды в районе Кривого Рога и р. Желтой. Материалы общей и прикл. геол., вып. 29, 1926.
32. Ферсман А. Е. Пегматиты. Труды СОПС АН СССР, 1931.
33. Харкер А. Метаморфизм. ОНТИ, 1937.
34. Чухров Ф. В. Коллоиды в земной коре. АН СССР, Ломоносовский ин-т, 1936.
35. Becke F. Über Diaphorite. T. M. P. M., Bd. 28, 1909.
36. Hise van and Leith. The Geology of the Lake Superior Region, 1911.
37. Gosselet. L'Ardenne. Mém. Carte Géol. Fran., 1888.
38. Gruner L. E. The Origin of Sedimentary Iron Formations. Econ. Geol., XVII, № 6, 1922.
39. Gruner L. E. Contrib. to the Geol. Mesabi Range. Bull. № 19, Min. Geol. Sur., 1924.
40. Hummel K. Die Entstehung eisenreicher Gesteine durch Halmyrolyse. Geol., Rundschau, Bd. XIII, H. 1, 1922.
41. Leith. Secondary Concentration of Lake Superior Iron Ores. Econ. Geol., № 3, 1931.
42. Moore E. C. and Maynard J. E. Solution, Transportation and Precipitation of Iron and Silica. Econ. Geol., V. 24, № 3—4—5, 1929, pp. 272—303, 365—402, 506—527.
43. Szymanowsky M. Kriwoi Rog et l'état actuel de l'industrie métallurgique dans le Midi de la Russie. Bull. Sos. l'industrie Min., 3 serie, t. XIV, 1900.