

КРИВОРОЖСКИЙ ГОРНОРУДНЫЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи

УДК 549.12:549.5:553.31

Леонова Ирина Владимировна

МИНЕРАЛОГИИ И ОНТОГЕНИИ КВАРЦА ЖЕЛЕЗИСТЫХ

КВАРЦИТОВ КРИВБАССА

Специальность - 04.00.20 - минералогия

А в т о р е ф е р а т

диссертации на соискание ученой степени

кандидата геолого-минералогических наук

Кривой Рог - 1994



Работа выполнена на кафедре минералогии,
Криворожского горнорудного института.

Научный руководитель: заслуженный работник высшей школы Украины,
доктор геолого-минералогических наук,
профессор Б.И.Пирогов

Официальные оппоненты: академик АН Высшей школы Украины,
доктор геолого-минералогических наук,
профессор О.И.Матковский

/Львовский госуниверситет/

кандидат геолого-минералогических наук,
доцент В.Н.Тарасенко

/Криворожский горнорудный институт/

Ведущее предприятие: экспедиция Кривбассгеология

Защита состоится 11 октября 1994 года в 13 часов на заседании специализированного Совета К 16.01.02 Криворожского горнорудного института / адрес: г.Кривой Рог, ул. 22-го Партсъезда, 11 /.

ЛНБ ім. В. Стефаніка
АН України

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке КІРИ
/ 324002, г.Кривой Рог, ул.Пушкина, 37 /

Автореферат разослан " _____ " _____ " 1994 г.

Ученый секретарь
специализированного Совета
кандидат геолого-минералогических наук,
доцент

И.В.Холошин

Актуальность работы. Криворожский железорудный бассейн – уникальный регион месторождений докембрийских магнетитовых разновидностей железистых кварцитов, являющихся сегодня сырьевой базой многих крупнейших горнообогатительных комбинатов, производящих концентраты с содержанием 65–68% железа. В "хвостах" обогащения в качестве основного нерудного минерала выступает кварц, содержание которого колеблется в пределах 40–90%. Именно здесь, при значительных масштабах открытых горных работ, появляются большие возможности для глубоких минералого-генетических исследований не только самих железистых кварцитов железисто-кремнисто-сланцевой формации, но и детального, комплексного изучения минералов. Настоящая работа посвящена исследованию минералогии и онтогении главного нерудного минерала железистых кварцитов – кварца. Наиболее ярко все изменения кварца прослеживаются при сравнении железистых кварцитов фации зеленых сланцев Скелеватского (ЮЮК) и значительно метасоматически измененных – эпидот-амфиболитовой фации метаморфизма Первомайского (СевЮК) месторождений. Актуальность работы определяется, с одной стороны возможностью расширить конкретные представления о кварце железистых кварцитов в различной степени измененных процессами метаморфизма и метасоматоза, на основе комплексных минералогических исследований минерала с использованием онтогенического подхода для понимания природы самих железистых кварцитов, с другой – возможностью использования полученной информации для решения конкретных практических задач технологической минералогии и экологии в бассейне.

Диссертация является результатом личных наблюдений автора за период с 1986 до 1993 г.г. и обобщений наиболее известных работ по минералогии кварца вообще и кварца железистых кварцитов и руд Кривбасса.

Цель работы. Изучение минералогии кварца различных метаморфогенно-метасоматических минеральных ассоциаций железистых кварцитов Кривбасса. Выявление на основе онтогенического подхода с использованием комплекса современных физико-химических методов исследования типоморфных особенностей и эволюции морфологии, конституции и свойств минерала.

В работе решались следующие основные задачи:

- разработка специальной структурно-логической схемы исследования кварца железистых кварцитов, позволяющей выявить их основные типоморфные признаки и проследить общую эволюцию;
- изучение минералогии кварца в различных метаморфогенно-метасоматических ассоциациях зеленосланцевой и эпидот-амфиболитовой фаций с

учетом их геолого-структурной позиции;

- исследование особенностей конституции и свойств кварца с применением комплекса современных методов анализа (РЭМ, термолюминесценция, ИКспектроскопия, ЭПР, декрептометрия и др.) на основе выявления динамики изменения его морфологии и конституции в эволюции процессов минералообразования железистых кварцитов;
- изучение закономерностей изменчивости гранулометрии и морфологии зерен и агрегатов кварца, характера сростаний их с другими минералами с учетом минералого-геохимической зональности толщ по простиранию и на глубину;
- выявление и оценка типоморфных признаков кварца в минеральных ассоциациях железистых кварцитов зеленосланцевой и эпидот-амфиболитовой фаций метаморфизма;
- рассмотрение некоторых вопросов технологической минералогии кварца железистых кварцитов и др.

Фактический материал и методы исследований. Объектом исследований послужили кварцы из железистых кварцитов и жильных проявлений Скелеватского и Первомайского месторождений. Пробы были отобраны в соответствии с минералого-геохимической зональностью (в региональном плане) толщ железистых кварцитов. Образцы отбирались из забоев уступов карьеров ЮЮКа и СевЮКа по отдельным текстурно-минералогическим разновидностям. Всего изучено проб различных разновидностей - 312, в том числе 312 прозрачных и 408 полированных шлифов, 56 мономинеральных фракций, выполнено и обработано 93 спектральных, химических и др. анализов и проведено 56 специальных видов исследований (РЭМ, рентген и др.). Использованы все известные литературные данные по кварцу. Наиболее важные результаты получены при комплексном исследовании анатомии и конституции кварцевых индивидов.

В работе применялись в комплексе следующие методы: для выявления морфолого-структурных особенностей кварца применялся минералогопетрографический, на онтогенетической основе с использованием микроскопов типа МБС-9, МИН-8, МПС-2У4.2, МММ-9М, Neophot-2; для определения ориентировки и энантиоморфизма зерен - ФС-5; специальные исследования микроморфологии (РЭМ) на микроскопе типа МРЭМ-100; особенности конституции (ИКС, декрептометрия) на аппарате Spexord-75-JR, ВД-3, микротвердость на ПМТ-3 и другие методы.

Научная новизна заключается в широком использовании минералогического метода для познания кварца железистых кварцитов в связи с их эволюцией в различных фациях метаморфизма и при гидротермально-метасоматических процессах изменений; показана возможность приме-

нения онтогенического метода исследований индивидов и субиндивидов кварца с использованием травления ИГ, электронной микроскопии, теодолитного столика Е.С.Федорова и других методов для выявления минералого-генетических и типоморфных признаков минерала; выявлены на основе РСМ основные габитусные формы кристаллов кварца в слоях железистых кварцитов; выявлены и изучены механизмы кристаллизации и преобразований (перекристаллизация, блокирование, растворение и др.) кварца железистых кварцитов в связи с минералого-геохимической зональностью продуктивных толщ месторождений, обусловленной характером и глубиной метаморфизма и последующими гидротермально-метасоматическими изменениями.

Практическая ценность: результаты исследований дают новый фактический материал по минералогии и типоморфизму кварца железистых кварцитов в связи с изменением их вещественного состава и особенностями технологической минералогии. Впервые индивиды и субиндивиды породообразующего кварца рассмотрены как особая генетическая разновидность минерала (чрезвычайно мелкозернистого и морфологически неярко выраженного), что в свою очередь открывает новые возможности его различного использования в качестве кварцевых песков при классификации кварцевых "хвостов" ГОКов.

Геолого-структурная позиция Кривбасса. Криворожский железорудный бассейн расположен в пределах зоны сочленения двух разновозрастных блоков первого порядка Украинского щита - Кировоградского, сложенного гранитоидно-метаморфическими комплексами раннего протерозоя, и Приднепровского, геологический фон которого составляют плагиигранитоиды нижнего архея, вмещающие вернеархейские зеленокаменные структуры. В тектоническом отношении основная структура Кривбасса, согласно последним представлениям ряда исследователей (Каляев Г.И., 1984; Решетняк В.В., 1993) представляет собой моноклираль, усложненную шаржеподобными надвигами и складками высших порядков. В пределах структуры выделяется семь блоков, ограниченных разрывными нарушениями мантийно-корового и корового заложения: Восточно-Анновский, Первомайский, Саксаганский, Новокриворожский, Основной, Екатерининский и Лихмано-Тарапановский. Скелеватское месторождение расположено в пределах Основного блока Южного рудного поля, характеризующегося зеленосланцевой фацией метаморфизма и умеренным развитием тектонических нарушений. Первомайское месторождение приурочено к одноименному блоку, расположенному на стыке Саксаганского и Анновского районов, усложненного Девладовской зоной разломов и Терновской астроблемой. Вещественные особенности пород этого месторождения были обусловлены, с одной стороны, тектонической обстановкой, благо-

приятствующей развитию гидротермально-метасоматических процессов, и с другой – повышением степени метаморфизма до эпидот-амфиболитовой фации.

Состояние проблемы. Благодаря своим замечательным свойствам – постоянству состава в сочетании с физической и химической устойчивостью, а также частотой встречаемости в природе, кварц относится к наиболее изученным минералам. Строение кварцевых агрегатов, условия роста кристаллов, типоморфизм минерала, принцип кварцетрии исследовались Г.Г.Леммлейном, Д.П.Григорьевым, В.В.Букановым, А.Г.Мабиным, Е.К.Лазаренко, В.И.Павлишиным, Д.К.Возняком, В.А.Франк-Каменецким и др. Важным вкладом в исследования кварцевых агрегатов являются работы уральской школы – Э.Ф.Емлина, Г.А.Синкевича, В.И.Якшина, предложивших принципиально новый подход к изучению мелкозернистых агрегатов кварца. Данные о кварце железисто-кремнистых пород, в значительной степени представленных тонко- и мелкозернистыми агрегатами приводятся в большинстве работ посвященных геологии, петрографии и минералогии докембрийского комплекса пород Кривбасса. Среди них необходимо выделить работы Ю.Л.Ахкозова, Я.Н.Белевцева, А.А.Вальтера, Ю.Г.Гершойга, В.В.Беседина, Ю.А.Галабурды, Ю.Л.Гришала, Н.А.Елисеева, В.Д.Евтехова, С.Н.Зимы, П.М.Каниболоцкого, В.Г.Кушева, В.В.Кушеева, Е.К.Лазаренко, В.М.Малых, Ю.П.Мельника, В.М.Мицкока, А.П.Никольского, Б.И.Пирогова, Л.Т.Прохогина, П.И.Пятницкого, Н.И.Свитальского, Н.П.Свитальского, Н.П.Семененко, Г.В.Тохтуева, Ю.Ю.Юрка и многих других исследователей. Несмотря на это, следует отметить, что минералогия кварца железистых кварцитов, как самостоятельного минерала, особенно его морфологии и онтогении не были объектом специальных исследований. Нет таких исследований и в зарубежной литературе. Каждый из авторов, изучавших железистые кварциты, использовал, как правило, лишь традиционные петрографические методы исследования порообразующего кварца. Проблема взаимосвязи морфологии, конституции и свойств кварца остается актуальной, особенно изучение их с учетом геолого-структурной позиции и минералого-геохимической зональности месторождений. Практически отсутствуют исследования явлений механизма кристаллизации и изменений минерала, типоморфных признаков кварца различных ступеней метаморфизма.

Проведенные нами исследования позволяют обосновать следующие положения и выдвинуть их в качестве защищаемых:

1. МИНЕРАЛОГИЯ И ГЕТЕРОГЕННОСТЬ ВЫДЕЛЕНИЙ (ПОСЛОЙНЫЕ, ЕМЛЬНЫЕ И ДР.) КВАРЦА РАЗЛИЧНЫХ МЕТАМОРФОГЕННО-МЕТАСОМАТИЧЕСКИХ АССОЦИАЦИИ ЖЕЛЕЗИСТЫХ КВАРЦИТОВ КРИВБАССА ЯВЛЯЕТСЯ СЛЕДСТВИЕМ ЭВОЛЮЦИИ ГЕОЛО-

ГО-СТРУКТУРНОЙ ПОЗИЦИИ И МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКОЙ ЗОНАЛЬНОСТИ ТОЛЩ.

2. ОНТОГЕНИЯ ИНДИВИДОВ И АГРЕГАТОВ КВАРЦА НЕОКИСЛЕННЫХ ЖЕЛЕЗИСТЫХ КВАРЦИТОВ ОТРАЖАЕТ СПЕЦИФИКУ РОСТА КРИСТАЛЛОВ ИХ ПЕРЕКРИСТАЛЛИЗАЦИЮ И РЕКРИСТАЛЛИЗАЦИЮ НА ФОНЕ ИЗМЕНЕНИЯ СОСТАВА, СИММЕТРИИ СРЕДЫ И ЭТАПНОСТИ ПРОЦЕССОВ МИНЕРАЛООБРАЗОВАНИЯ ПРЕЖДЕ ВСЕГО В СВЯЗИ С ОСОБЕННОСТЯМИ МЕТАМОРФИЗМА И МЕТАСОМАТОЗА.

3. ОНТОГЕНИЧЕСКИЙ ПОДХОД С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПЛЕКСА СОВРЕМЕННЫХ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ АНАЛИЗОВ И ДАННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ МИНЕРАЛОГИИ КВАРЦА, ПОЗВОЛЯЮТ ВЫЯВИТЬ ЕГО ТИПОМОРФНЫЕ ПРИЗНАКИ (ГЕТЕРОГЕННОСТЬ МИНЕРАЛЬНЫХ ИНДИВИДОВ, ИЗМЕНЕНИЕ МОРФОЛОГИИ И ГРАНУЛОМЕТРИИ И Т.Д.) РАЗЛИЧНЫХ МЕТАМОРФОГЕННО-МЕТАСОМАТИЧЕСКИХ МИНЕРАЛЬНЫХ АССОЦИАЦИЙ ЖЕЛЕЗИСТЫХ КВАРЦИТОВ.

Апробация работы. Результаты работы докладывались на ежегодных научно-технических конференциях Криворожского горнорудного института (1987-1989 гг.), на совещании "Минералогия кварца" (17-19 ноября, 92 г., г.Сыктывкар). По теме диссертации депонированы две статьи и опубликованы тезисы доклада.

Объем и структура работы. Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав, заключения и выводов изложенных на 120 страницах машинописного текста с 47 рисунками и 11 таблицами, библиографии с 236 наименованиями. Во введении показана актуальность работы, сформулированы цель и задачи исследований, приведены данные об объемах и методах исследований, освещены научная новизна и практическая значимость полученных результатов. В первой главе рассмотрено состояние проблемы. Во второй главе - геолого-структурная позиция Кривбасса, позиция Скелеватского и Первомайского месторождений в его структуре, особенности минералого-геохимической зональности железистых кварцитов Скелеватского и Первомайского месторождений. Минералогия кварца железистых кварцитов изложена в третьей главе. В четвертой - рассмотрены онтогения, типоморфизм и некоторые особенности технологической минералогии кварца. В заключение подводятся итоги работы.

Самую глубокую признательность и искреннюю благодарность автор выражает своему научному руководителю, заслуженному работнику высшей школы Украины, доктору геолого-минералогических наук, профессору Б.И. Широкову за постоянную помощь, консультации и поддержку при выполнении и завершении работы.

В период работы автор пользовался помощью и консультациями

сотрудников кафедры минералогии Криворожского горнорудного института: доктора геолого-минералогических наук, профессора В.Д.Евтехова, доцента И.В.Холошина, кандидатов геолого-минералогических наук Х.Ф. Аркоса и А.Н.Трунина, за что бесконечно им признательна. Автор выражает благодарность кандидатам геолого-минералогических наук В.Д.Блохе и О.К.Валееву за практическую помощь в отборе проб. Искренне благодарю всех, кто способствовал выполнению работы.

ПОЛОЖЕНИЕ 1.

Характерной особенностью железистых кварцитов является ритмическая слоистость различного минерального состава, в пределах которой заметно изменяется как количество кварца, так и морфолого-структурные особенности его индивидов и агрегатов. В нерудных слоях содержание кварца изменяется от 60 до 95%, в рудных от 5 до 30%, промежуточные содержания характерны для смешанных слоев.

Минералогия кварца, как главного нерудного минерала железистых кварцитов, тесно связана с особенностями их вещественного состава, текстурно-структурных признаков, физико-механических свойств и отражает направленность изменений в ряду элементарные слои (последовательные выделения в монокварцевых – нерудных, смешанных – кварцево-рудных) → минеральные разновидности кварцитов (различные метаморфогенно-метасоматические ассоциации сосуществующих минералов) → железистые горизонты (переслаивание минеральных разновидностей кварцитов с учетом минералого-геохимической зональности толщ) → отдельные минеральные тела (жильные и гнездовые). Именно здесь прослеживаются наиболее контрастно основные особенности онтогении минерала и его свойств при переходе от железисто-кремнистых пород фации зеленых сланцев (Скелеватское месторождение, ЮГОК) к эпидот-амфиболитовой, с интенсивными метасоматическими изменениями (Первомайское месторождение, СевГОК). Между крупностью магнетита и кварца, принадлежащих к различным слоям, как отражение особенностей их седиментационно-диagenетических преобразований, прослеживается обратная зависимость (ЮГОК). В то же время неравномерно проявленные гидротермально-метасоматические изменения несколько стирают четкость этой зависимости (СевГОК). По составу в слоях железистых кварцитов Скелеватского месторождения развиты преимущественно тонко- и мелкозернистые плотные агрегаты непрозрачного молочно-белого и серого кварца, иногда окрашенного за счет твердых включений в красный цвет (тонкодисперсный гематит), зеленый и серовато-зеленый (тонкие включения хлорита, биотита, куммингтонита), темносерый и черный (тонкодисперсный магнетит); в жилах молочно-белый и серый сливной кварц, в пусто-

тах и трещинах - щетки водопрозрачного горного хрусталя. В зонах м-лонитизации гематит-магнетитовых кварцитов развиты агрегаты "пертертого" кварца с неравномерным пятнистым погасанием при значительном количестве разнообразных газовой-жидких и твердых включений.

Более существенно по составу отличаются кварцы железистых кварцитов Первомайского месторождения. Он уже более крупнозернистый, нередко сахаровидного облика, иногда сливной (особенно в зонах окварцевания). Кроме характерных для Склеватского месторождения тонкодисперсных включений гематита, здесь существенно развиты тонкие включения карбонатов, рибекита, куммингтонита, эгирина, гетита. Наряду с корочками кристалликов горного хрусталя, цитрина, мориона, в пустотах развиты друзы аметиста, реже других разновидностей кварца.

В таблице 1 приведены данные о средних, абсолютных количествах кварца и относительных (к SiO_2 общ.; $Fe_{общ.}$ и $Fe_{магн.}$) ЮЮКа и СевЮКа в связи с минералого-геохимической зональностью толщ железисто-кремнистых пород, щелочным и щелочно-земельным метасоматозом. Анализ таблицы позволяет сделать следующие выводы: 1 - кварц, как главный нерудный минерал различных минеральных ассоциаций железистых кварцитов, наряду с магнетитом и гематитом, оказывает существенное влияние на особенности их вещественного состава, а в конечном итоге и на их свойства; 2 - четко прослеживаются на Склеватском и Первомайском месторождениях изменения абсолютных и относительных содержаний SiO_2 кварца в собственно седиментационно-метаморфических ассоциациях минералов при переходе от гематит-магнетитовых кварцитов (центральная часть толщи горизонта) к малорудным кварцитам на контакте со сланцами. Более значимо изменяются все абсолютные и относительные характеристики в карбонат-силикат-магнетитовых (силикат-магнетитовых) и магнетит-силикат-карбонатных (магнетит-силикатных) разновидностях кварцитов. При этом следует иметь в виду, что силикатные ассоциации сменяются от биотит-хлоритовых, реже с куммингтонитом (ЮЮК) до биотит-куммингтонит-рибекит-эгириновых (СевЮК), а карбонаты соответственно от ряда сидерит-сидероплезит к доломит (в том числе железистый) -анкерит-кальцит. При этом щелочность среды минералообразования изменяется (рН) от 7-7,5 до 8-9,5; 3 - разнообразие наложенных гидротермально-метасоматических процессов обусловлено изменением как состава среды (возрастание щелочных процессов) минералообразования, так и геолого-структурной позицией. Если на ЮЮКе развиты преимущественно редкие крупные разрывные нарушения (Екатерининский, Склеватский надвиги), то для СевЮКа характерна интенсивная блоково-разрывная тектоника с массой мелких текто-

Таблица 1.

Перераспределение абсолютных и относительных содержаний кварца в различных минеральных ассоциациях железистых кварцитов(%)

Железистые кварциты				Сланцы
гематит-магнетитовые	магнетитовые	карбонат-силикат-магнетитовые	магнетит-силикат-карбонатные	
Скелеватское месторождение				
37,8; (0,98) ^X <u>0,98</u> 1,25 ^{XX} <i>окварцевание</i> 42,5; (0,97)	40; (0,98) <u>1,08</u> 1,19	34,4; (0,93) <u>0,93</u> 1,21	35; (0,90) <u>1,16</u> 2,69	12; (0,33) <u>0,48</u> 2,86
Первомайское месторождение				
гематит-магнетитовые	магнетитовые	силикат-магнетитовые	магнетит-силикатные	
38,4; (0,99) <u>0,96</u> 1,19 <i>окварцевание</i> 41,1; (0,94) <u>1,15</u> 1,35 <i>карбонатизация</i> 35,4; (0,96) <u>0,90</u> 1,39 <i>рибекитизация</i> 31,7; (0,80) <u>0,82</u> 1,01 <i>эгиринизация</i> 6,9; (0,20) <u>0,20</u> 0,34	38,7; (0,99) <u>0,95</u> 1,04 41,3; (0,94) <u>1,20</u> 1,30 36,3; (0,94) <u>0,94</u> 1,53 29,3; (0,77) <u>0,75</u> 1,01	25,4; (0,63) <u>0,67</u> 0,89 7; (0,15) <u>0,20</u> 0,58	34,7; (0,69) <u>1,24</u> 2,39	23; (0,52) <u>1,19</u> 5,68
<i>Кумингтонитизация</i>				

Примечание: SiO_2 кв. - 37,8% ; SiO_2 кв. : SiO_2 общ. = 0,98 ;

SiO_2 кв. : $Fe_{общ.}$ = 0,98 ; SiO_2 кв. : $Fe_{магн.}$ = 1,25;

нических нарушений, интенсивной трещиноватостью и кливажностью пород, обусловивших разнообразие текстурно-структурных признаков (милониты, брекчии и др.) и проявление различных наложенных процессов. Последние весьма существенно изменяют соотношения SiO_2 кварца с SiO_2 общего, $Fe_{общ.}$ и $Fe_{магн.}$, по величинам этих отношений видно, что желе-

зистые кварциты превращаются порой в типичные метасоматиты (эгирииниты, рибекит-эгирииниты, чисто кварцевые тела), существенно утрачивая характеристики вещественного состава типичных железистых кварцитов. Мелко- и тонкозернистые выделения магнетита, гематита, кварца участвуют во вновь образуемых силикатных, изменяя первичную гранулометрию этих минералов. В конце концов это четко фиксируется в изменениях средних величин удельной работы дробления: на ЮЮКе 16-18 кгм/см³ (при окварцевании 19-24 кгм/см³), на СевЮКе 10-12 кгм/см³ (при окварцевании 16-20 кгм/см³). Главную роль при этом несомненно играет кварц.

Кварц изучаемых железистых кварцитов подразделен нами на пять генераций, явно отличающихся морфологически, анатомически и конституционными признаками и относящимися к разным фазам зарождения, роста и изменений минерала (онтогенетический цикл) - кварц-1 - "роговиковый", кварц-2 - "ксеноморфный", кварц-3 - "торцовый", кварц-4 - "метасоматический", кварц-5 - жильный и гнездовой. Объемные соотношения этих генераций замечательным образом отражают динамику изменения среды минералообразования и роль состава гидротермально-метасоматических растворов. Кварца-1 на Первомайском месторождении в два раза меньше, чем на Скелеватском, что обусловлено с одной стороны механизмом кристаллизации минерала (в первую очередь растворяются более мелкие зерна), с другой, что особенно показательно, ускоренно протекающими за счет гидротермально-метасоматических процессов этих реакций. Кварц-4, являющийся наиболее поздней генерацией послынных выделений, в значительных количествах (33%) присутствует в железистых кварцитах Первомайского месторождения, и лишь единичные зерна встречаются на Скелеватском, что является отражением прежде всего по-разному наложенных процессов минералообразования, таких как окварцевание, карбонатизация, эгиринизация, куммингтонитизация, являющих собой фон сложной геолого-структурной ситуации (разрывная, глыбово-брекчиевая тектоника Первомайского месторождения). В то же время процессы щелочного метасоматоза способствуют появлению мелко- и тонкозернистых выделений вторичного кварца, связанных с рекристаллизацией предварительно деформированных индивидов. Гранулометрия зерен кварца железистых кварцитов Первомайского месторождения отличается, поэтому, более широким разбегом величин, по сравнению с кварцем Скелеватского месторождения: для Скелеватского месторождения от 0,0041 до 0,094 мм, при $\bar{x} = 0,043$ мм, для Первомайского от 0,021 до 0,152 мм, при $\bar{x} = 0,087$ мм. Чистые от рудных включений зерна кварца, для Скелеватского месторождения находятся в пределах от 0,03 до 0,05 мм, для Первомайского - от 0,04 до 0,08 мм (в более крупных зернах присутствуют включения силикатов).

Эволюция кварца железистых кварцитов отражена в гетерогенности их физических свойств (твердости и хрупкости), которые существенно отличаются в зависимости от ступени метаморфизма, минеральных ассоциаций и механизма кристаллизации. Твердость кварца послонных выделений варьирует в пределах от 8012 до 15573 МПа на Первомайском месторождении и от 7473 до 17481 МПа - на Скелеватском. Внутри безрудных и смешанных слоев твердость кварца агрегатов уменьшается от центра к периферии - границе с рудными слоями в пределах от 15573 до 8083 МПа на Первомайском, и от 17481 до 8771 МПа - на Скелеватском месторождениях. Изменение твердости отдельных зерен кварца разных генераций показало, что наименьшая твердость соответствует кварцу ксеноморфных структур - от 8083 до 10438 МПа, немного больше твердость кварца-1, от 9979 до 13286 МПа. Наибольшая твердость зерен кварца-3 - от 10438 до 17481 МПа. Это объясняется, видимо, относительным уменьшением количества дефектов кварца наиболее позднего преобразования. Кварц-4 обладает сравнительно низкой твердостью - 7194-9550 МПа, за счет большего количества минеральных включений и дефектов. Измерение твердости отдельных зерен послонного кварца разного генезиса показало ее снижение в следующем порядке:

кварц-3 → кварц-1 → кварц-2 → кварц-4
 в пересчете по Моосу соответственно :
 7,5 → 6,5 → 6,2 → 5,4

В смешанных слоях железистых кварцитов измерения твердости в центре отдельных зерен, а также на контакте их с другими минералами - карбонатами, магнетитом, силикатами и другими зернами кварца, выявили закономерное понижение твердости в следующем ряду сростаний: кварц → кварц-кварц → кварц-магнетит → кварц-силикаты → кварц-карбонаты

Сопоставление значений твердости кварца железистых кварцитов, кварца богатых руд и жил, генетически связанных с зеленосланцевой (Скелеватское месторождение) и эпидот-амфиболитовой (Первомайское месторождение) фациями, показало снижение его твердости с углублением метаморфизма.

Завершая доказательство 1-го положения, следует подчеркнуть, что выявление онтогении кварца различных генераций, несомненно, позволит наиболее четко определить его роль в формировании текстурно-структурных признаков железистых кварцитов различных фаций метаморфизма.

ПОЛОЖЕНИЕ 2.

Детальное изучение особенностей минералогии кварца позволяет говорить о том, что физико-химический характер среды кристаллизации

является определяющим для его онтогении. Гетерогенность и изменение симметрии среды минералообразования в толще железистых кварцитов просматривается на разных уровнях: а) микросреда - на уровне нерудного, рудного и смешанного слоев с учетом анизотропии физико-химических условий кристаллизации (растяжение-сжатие - переориентировка в связи с микротектоникой - складчатостью, квиваком, будинированием, разрывом и поворотом отдельных микроблоков слоев) на фоне проявления разнообразных по химизму процессов растворения, замещения, твердофазового преобразования ; б) макросреда - изменение интенсивности переслаивания различных по мощности минеральных разновидностей кварцитов в связи с минерало-геохимической зональностью толщ, с учетом характера и глубины метаморфогенно-метасоматических преобразований на фоне изменения геолого-структурной позиции месторождений с различным характером микроскладчатых структур, сбросово-сдвиговых явлений, крупных структурных изменений с разной по интенсивности жильной и гнездовой минерализацией вплоть до появления отдельных крупных кварцевых тел (например на СевЮКа) .

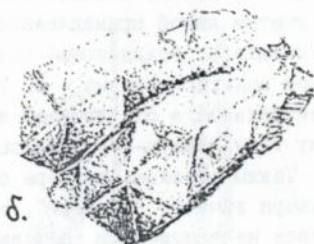
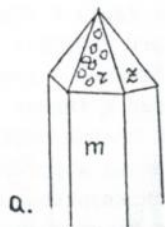
Нами широко был использован метод микроструктурного анализа зерен кварца с одновременным определением их анизотропии по разработкам минералогов уральской школы В.Ф.Емлина, Г.А.Синкевича, В.И.Якшина (1988 г.) для жильного гранулированного кварца Урала. Анализ диаграмм показал, что диаграммы ориентировки осей [0001] зерен кварца (в кварцевом агрегате) можно отнести к типу В-тектонита, хотя на СевЮКа встречаются также R- и S-тектониты. Общим для всех образцов по минеральным разновидностям железистых кварцитов ЮЮКа и СевЮКа является наличие неполного пояса, симметричного оси "в". На диаграммах железистых кварцитов ЮЮКа выделяются три-четыре максимума, расположенные на равном удалении друг от друга, а для СевЮКа максимумы сконцентрированы между осями "в" и "а". Существенные отличия тектонитов рекристаллизованного-гранулированного кварца слоев являются значительные вариации ориентировки зерен, особенно в условиях СевЮКа. По-видимому это связано с различным положением микроблоков в микрослоях.

Как уже отмечалось рядом авторов ранее, метаморфическая перекристаллизация кварца осуществлялась на фоне тектонических деформаций при наличии одностороннего сжатия. При этих условиях росли те индивиды кварца, которые были определенным образом ориентированы в направлении стресса. В то же время ориентировка кварца Первомайского месторождения с учетом рудовой его природы подтверждает высказанную ранее идею о ведущей роли растягивающих напряжений по восстанию пород. Особого внимания при этом заслуживают взаимоотношения кварца с магнетитом в рудных слоях. Здесь перекристаллизация кварца более

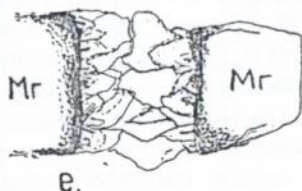
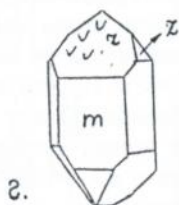
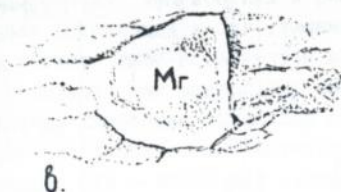
контрастно связано с переотложением вещества в виде удлиненных индивидов в благоприятных структурных микроформах — при кляваже растяжения, в межбудинных разрывах, "тнях давления" вокруг порфиروبластов магнетита (рис. 1, в). В условиях СевЮКа, наряду с удлиненными глубоко метаморфическими индивидами кварца в "тнях давления" порфиروبластов магнетита, в межбудинных пространствах и в участках кляважа растяжения, за счет гидротермально-метасоматических процессов, возникают удлиненные индивиды, связанные с проявлением тилитичных зон геометрического отбора, что является четким типоморфным признаком метасоматически измененных кварцитов в целом (рис. 1, е). В конечном итоге особенности минералогии и онтогении кварца в рудных магнетитовых слоях обусловлены прежде всего симметрией рудной микросреды. Чем морфологически совершеннее индивиды магнетита, тем ярче проявляется "совершенство" кварца, находящегося с ним в контакте — зерна имеют ровные границы, чисты от включений. В смешанных безрудных слоях, присутствие карбонатов обуславливает доминирование процессов растворения кварца, зерна приобретают "дырчатый" облик или "вспаханность" по краям; силикаты — процессы замещения кварца эгирином, рибекитом и др. с поглащением мелко- и среднезернистого кварца.

Энантиоморфизм кварца железистых кварцитов изучался с учетом его принадлежности к разным фациям, в связи с аутигенно-минералогической зональностью и по генерациям. К тому же учитывался и факт его принадлежности к монокварцевым, смешанным безрудным, смешанным рудно-кварцевым и собственно рудным слоям. Изучение характера распределения одноименных зерен в монокварцевых слоях позволяет выделить три основных типа их распределения в агрегате: крупные, от 6 до 20 зерен, одноименные группы правых или левых форм; группы с преобладанием зерен одного наименования, включающие в подчиненных количествах формы противоположного знака; паритетное распределение правых и левых зерен в пределах: а) кварца-2; б) для кварцевых зерен смешанных кварц-магнетитовых слоев; в) для смешанных безрудных, кварц-силикатных (рибекит, эгирин) слоев. Полученные результаты допускают такую интерпретацию. Первый случай определяется перерождением первичного крупнозернистого агрегата монокристаллических зерен. Одноименные коллективы гранул (зерен) соответствуют первичным индивидам. Второй и третий случай соответствуют грануляции сложно построенных индивидов, представленных, возможно бразильскими двойниками, или грануляции относительно более мелкозернистого исходного агрегата.

Однако, многократные циклы "деформация-рекристаллизация" приводят к последовательному увеличению равновероятности в распределении зерен разного знака. Тогда три наблюдаемых случая распределения зе-



Скелеватское м.



Первомайское м.

Рис. 1 Характерные габитусные формы кристаллов кварца в слоях железистых кварцитов и их взаимоотношение с магнетитом (электронно-микроскопические снимки). а - псевдогексагональный тип кристаллов кварца; б - призматический габитус кристаллов с гранями m $\{10\bar{1}0\}$, r $\{10\bar{1}1\}$ и z $\{0111\}$ (ув. 800); в - кварцевые "дворики" (ув. 750); г - тригональный тип; д - остро-ромбоэдрически-призматический облик (ув. 800) д - геометрический отбор.

рен правых и левых форм в кварцевых агрегатах соответствуют различным стадиям этого процесса. Статистическая обработка наблюдений энантиоморфизма с учетом явной принадлежности отдельных зерен к определенной генерации показало: подавляющее большинство зерен кварца-1 обладает левым типом энантиоморфизма - от 78 до 98 %. Кварц-2 - демонстрирует свою нейтральность отсутствием явной тенденции к какому либо энантиоморфному типу. Кварц-3 - обладает в основном правым типом - от 77 до 99 %. Таким образом, по мере совершенствования морфологии и структуры, кварц заметно "правеет", в то время как кварцевые агрегаты отличающиеся неравновесным состоянием обладают паритетностью левых и правых типов, как это характерно и для обычных гидротермальных кварцев. В целом, наблюдения показывают, что в железистых кварцитах фации зеленых сланцев левый кварц встречается чаще правого на 6 %, в эпидот-амфиболитовой - правого на 3 % больше чем левого.

Морфолого-структурные исследования послойных выделений кварца (генерации - 1,2,3) свидетельствуют о преимущественно агрегатно-зернистом их сложении. Как уже подчеркивалось, для ЮЮКа - это существенно тонко- и мелкозернистые, для СевЮКа - средне- и крупнозернистые агрегаты различной плотности и прочности. Электронно-микроскопическое исследование показало развитие на поверхности зерен кварца фигур естественного растворения. Наиболее многочисленны они на зернах кварца со следами пластической деформации (кварц-1 и 2, реже кварц-3). Нередко удается наблюдать фигуры травления на границах зерен, что соответствует выходам скоплений дислокаций вдоль границ микроблоков. Как отмечают В.В.Кувеев, Б.И.Пирогов, Ю.Л.Ахкозов и др. (1989 г.), блоки неправильной формы, а размеры составляют для кварца-1 - $8 \cdot 10^{-4}$ - $5 \cdot 10^{-5}$, для кварца-2 и кварца-3 - около $2 \cdot 10^{-2}$ мм. Проведенные нами исследования наиболее позднего послойного кварца-3 с помощью РЭМ позволило выявить в агрегатах кристаллы: ЮЮК - габитус псевдогексагональный, облик ромбоэдрически-призматический с проявлением тригональных ромбоэдров $\tau \{10\bar{1}1\}$, $\varepsilon \{1011\}$ и гексагональной призмы $m \{10\bar{1}0\}$ (рис.1, б); реже кристаллы со слабым проявлением призмы псевдоизометрические и короткопризматические; двойники, преимущественно дофинейские, встречаются редко; СевЮК - габитус кристаллов тригональный, облик остроромбоэдрически-призматический (рис.1, д); дофинейские двойники встречаются чаще, особенно в кварце тектонических зон. В связи с проявлением на месторождении астроблемы, в кварце прослеживаются многообразные планарные структуры с ориентировкой планарных элементов по $\omega - \{10\bar{1}3\}$, реже по $\pi - \{10\bar{1}2\}$ ромбоэдрам (Вальтер, 1989 г.).

Изучение анатомических срезов зерен и кристаллов послойного кварца-

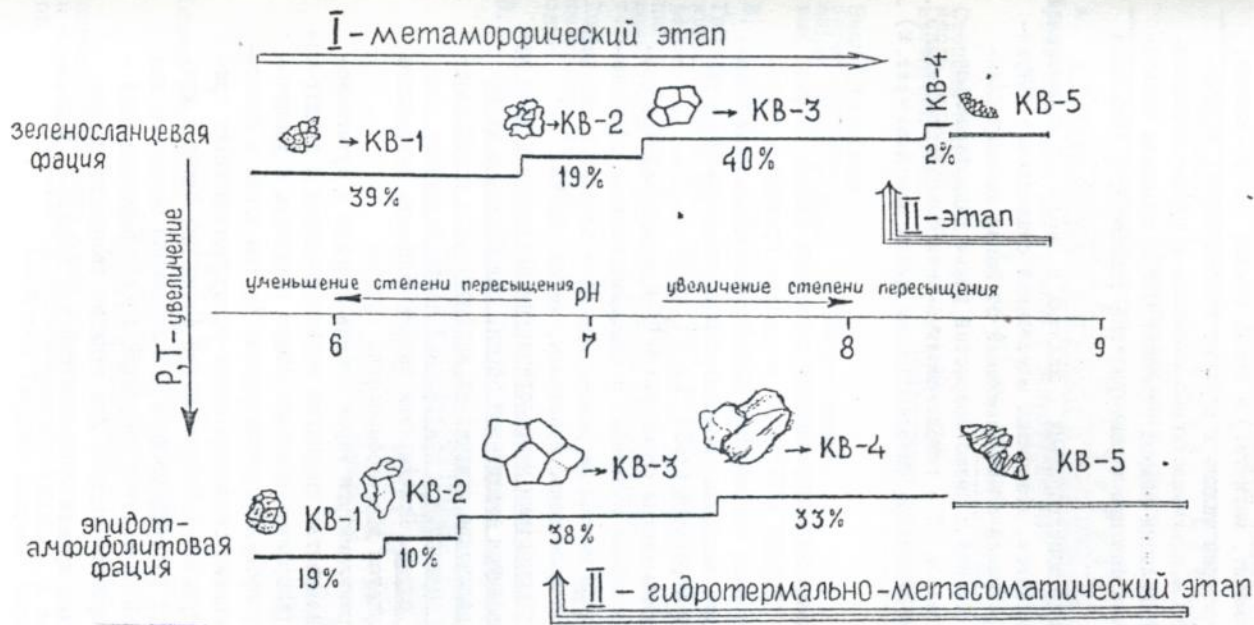


Рис.3 Онтогенетические циклы кварца

ІНБ ім. В. Стефаника
АН України

ца позволило выявить зональность и секториальность в 10-15% на ЮЮКе и до 30-35% на СевЮКе. Твердые включения в первом случае преимущественно пылевидные (гематит, магнетит) и очень мелкие газово-жидкие; во втором случае характерны мелкие и крупные газово-жидкие включения, твердые включения - преимущественно силикаты и рудные минералы. Жильные и гнездовые выделения кварца отражают общую эволюцию послонных изменений и рассмотрены при характеристике типоморфных признаков минерала.

Изучение послонных монокварцевых, жильных и гнездовых образований кварца железистых кварцитов, возникших в условиях существенно твердофазовых (1 - метаморфический этап) изменений от фации зеленых сланцев до эпидот-амфиболитовой с резко возросшей ролью гидротермально-метасоматических растворов (2 - гидротермально-метасоматический этап), позволяет наметить эволюционные онтогенетические циклы минерала (рис.2).

ПОЛОЖЕНИЕ 3.

Детальное исследование минералогии и онтогенети кварца на фоне сложной генетической природы железистых кварцитов Кривбасса, определили в качестве основных типоморфных признаков - морфологию, гранулометрию, особенности анатомии, конституции и некоторые свойства кварцевых индивидов и агрегатов (табл. 2).

Индивиды и агрегаты кварца формируются ^{как} в условиях зажатой среды кристаллизации (послонные выделения и сплошные жильные образования) так и при свободном механизме роста. При этом возникают как зернистые агрегаты, так и собственно кристаллы, щетки, друзы.

В целом четким типоморфным морфологическим признаком кварца железистых кварцитов является укрупнение зерен, освобождение их от рудных включений и увеличение степени их идиоморфности в направлении от рудных, через смешанные к центральной части безрудных существенно кварцевых слоев. Причем, чем больше мощность безрудного слоя, тем ярче проявляется эта особенность.

Исследование гранулометрии зерен кварца в связи с аутигенно-минералогической зональностью кварцитов зеленосланцевой и эпидот-амфиболитовой фаций метаморфизма показали общую тенденцию к увеличению размера зерен с углублением метаморфизма (в том числе и локально). Характерно изменение геометрии самих гранулометрических кривых: в железистых кварцитах зеленосланцевой фации они ближе к кривым закона нормального распределения с левосторонним эксцессом для кварца-1 и кварца-3. В железистых кварцитах эпидот-амфиболитовой - кривые имеют правосторонний эксцесс для этих же генераций кварца. Синусоидальный характер кривых гранулометрии для кварца-4, подчер-

Типоморфные особенности кварца железистых кварцитов Кривбасса

Типоморфные особенности	фа́ция метаморфизма	
	зеленосланцевая фа́ция	эпидот-амфиболитовая фа́ция

Морфолого - структурные особенности

А. АГРЕГАТЫ МИНЕРАЛА В НЕРУДНЫХ И СМЕШАННЫХ СЛОЯХ

Гранулометрия зерен	тонко- и мелкозернистые от 0,041 до 0,094 мм; \bar{x} - 0,043 мм	средне- и крупнозернистые от 0,021 до 0,0152 мм; \bar{x} - 0,087мм
---------------------	---	---

↑

Степень равновесности агрегатов по изменению угла $\pm (120 - \alpha)$	$\pm (120^\circ - 170^\circ)$ возрастание равновесности	$\pm (20 - 80)$
--	--	-----------------

↑

Эnantиморфизм зерен соотношение левых и правых типов	больше левого переориентировка зерен	больше правого
--	--------------------------------------	----------------

↑

Б. ИНДИВИДЫ МИНЕРАЛА В СЛОЯХ

Габитус и облик кристаллов в агрегате, формирующихся на завершающем этапе их онтогенеза	габитус псевдогексагональный; облик ромбоэдрически-призматический. Кристаллы со слабым проявлением призм, иногда короткопризматические.	тригональный; остроромбоэдрически-призматический. Острые ромбоэдры и удлиненные призматические кристаллы.
---	---	---

Двойники преимущественно двойные	Встречаются редко	Встречаются чаще, особенно в кварце тектонических зон
----------------------------------	-------------------	---

В. КВАРЦ ЖИЛЬНЫЙ И ТНЕЗДОВОЙ (щетки, друзы)

Сливные мелко- и среднезернистые (преимущественно жилы растяжения), редкие мелкозернистые щетки горного хрусталя и дымчатого кварца. Встречаются жилы с карбонатами, гематитом, пиритом.	Средне- и крупнозернистые (преимущественно жилы выполнения пространства с геометрическим отбором), часты щетки и друзы горного хрусталя и дымчатого кварца, амethysta, реже цитрина, в том числе в пустотах и цементе орекчий. Часто жилы комплексные по составу: с карбонатами, силикатами, сульфидами, гематитом и мушкетовитом.
--	--

Конституционные

Химизм минерала	наиболее чистые фракции от 0,04 до 0,07 мм 95-98% (при выходе из хвостов магнитной сепарации - 20 - 25%)	наиболее чистые фракции от 0,04 до 0,07 мм (при выходе 30-35%) и от 0,07 до 0,12 мм (при выходе 15-20%)
Анатомические срезы зерен и кристаллов	слабо проявлены зональность и секториальность (до 10-15%) зерен	хорошо проявлены зональность и секториальность (до 30-35% зерен), характерны мелкие и

1	2	3
	ния преимущественно пылевидные (гематит, магнетит), очень мелкие газопо-жидкие включения.	крупные газопо-жидкие включения, твердые включения - преимущественно силикаты и рудные минералы.
Термолюминесценция	в области 200-250° (наличие центров Al^{-0})	в области 300-350° (наличие центров Fe^{+3} , Ti^{+3})
	интенсивность свечения →	
Типы центров (с учетом выводов В.И. Павлишина, 1983 г.)	В зернах кварца-1 и кварца-2 агрегатов, за счет изоморфизма $Si \leftarrow Al + H^+$, как правило центры окраски не создаются; в кварце-3, кварце-4, кварце-5 преобладают следующие центры:	
	Al^{-0}	сниж. т° ↓ Al^{-0}/Na^+ , Li^+ , H^+ Ti^{+3} центры Fe^{-0} центры
Криометрические исследования включений минералообразующей среды в кварце (Минералогия Кривбасса, 1977 г.)	Температура замерзания растворов включений, $^{\circ}C$ Прожилковый кварц $K_2^{4*}NKIOKa$ от -4,2 до 0,8; роговиковый кварц K_2^{6x} ш. "Саксагань" - 2,5°.	Кристаллы кварца с гетитом (м. Первомайское) от -20 до 0
	Концентрация раствора включений, (%) $NaCl$ - эквивалент	
	$NKIOK$: 7,1 - 1,3 ш. "Саксагань" : 4,6	23 - 0; при вытжек 7,5-7,2. В кварце метасоматических зон резко повышено содержание ионов Ca^{+2} и уменьшается Na^+ ; содержится также HCO_3^- резко преобладающее над SO_4^{-2} и Cl^- . Содержатся также Mg^{+2} , Li^+ .
	С в о й с т в а	
Микротвердость	от 8771 до 17481 МПа	от 8083 до 15573 МПа в центре зерен
Удельная работа дробления $кгм/см^3$ косвенный признак по кварцу самих железистых кварцитов	16 - 18	6 - 12
	уменьшение →	
	В целом наблюдается увеличение при окварцевании	
	19 - 24	16 - 20

кивает значительную их гетерогенность и несколько иной механизм кристаллизации в различных собственно метаморфогенных и метаморфогенно-мета-

соматических минеральных ассоциациях. Так, наименьшим размером обладают зерна кварца в рудных слоях гематит-магнетитовых разновидностей железистых кварцитов – для фации зеленых сланцев, в среднем – 0,03 мм, в эпидот-амфиболитовой – 0,04 мм; наибольшие по величине зерна находятся в нерудных слоях малорудных кварцитов – 0,08 мм и 0,1 мм, соответственно.

В целом необходимо отметить, что структурно-типоморфные свойства кварца непременно коррелируются условиями внешней среды.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изучение минералогии и онтогении кварца железистых кварцитов, как главного нерудного минерала, позволяет более глубоко оценить минералого-генетические особенности самих пород и рассмотреть ряд конкретных вопросов технологической минералогии кварца и его роль в экологии Кривбасса. В работе показано, что в конечном итоге особенности морфологии, конституции и свойств индивидов и агрегатов кварца изменяются в зависимости от характера ассоциаций сосуществующих минералов с учетом минералого-геохимической зональности; условий и механизма кристаллизации кварца: переотложение кремнистого материала, кристаллизация, рекристаллизация, полигонизация и пр. и его приуроченности к породам различных ступеней метаморфизма.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Исследование физических свойств кварца пород и руд Криворожского бассейна. КГРИ, Кривой Рог, 1992. Деп. в УкрЕНТЭИ. Соавтор Б.И. Пирогов.
2. Некоторые особенности морфологии кварца железистых кварцитов Криворожского бассейна. КГРИ, Кривой Рог, 1994. Деп. в ИГТБ Украины.
3. Исследование твердости кварца слабо метаморфизованных железистых кварцитов Кривбасса. Тезисы докладов совещания "Минералогия кварца" 17-19 ноября 1992 г., г. Ськтывкар. Соавтор Б.И. Пирогов.

Соискатель

 И. В. Леонова

Заказ, № 6560, тираж 75 экз.,
"Криворожсталь" KS 5026
11.08.94 г.

AB 30.833

AB 30.833